

# MỤC LỤC

## KHOA HỌC KỸ THUẬT VÀ CÔNG NGHỆ

A stochastic gradient descent logistic regression software program for civil engineering data classification developed in .NET framework Phần mềm phân loại dữ liệu trong ngành xây dựng sử dụng thuật toán hồi quy logistic phát triển trên nền tảng .NET	Nhat Duc Hoang Huy Thanh Nguyen	3
User selection for secure communication in QoS-based non-orthogonal multiple access networks over Nakagami- $m$ fading Lựa chọn người dùng cho truyền thông bảo mật trong mạng đa truy cập phi trực giao dựa trên QoS qua kênh truyền pha-đỉnh Nakagami- $m$	Duc Dung Tran Dac Binh Ha Mai Duyen Nguyen Le Ba Cuong Huynh	8
Application of biochar in removing heavy metals: a mini review Tổng quan về ứng dụng than sinh học trong xử lý kim loại nặng	Tran Thi Kieu Ngan Le Thi Thanh Nhi Le Van Thuan	20
A mini review on carrier development for delivery of anti-cancer oligonucleotide Tổng quan về nghiên cứu phát triển hệ mang cho các oligonucleotide chống ung thư	Le Thanh Do Pham Thi Thuy Linh Nguyen Thi Ha	28
Giá trị chẩn đoán của điện tâm đồ trong nhồi máu cơ tim thất phải ở người cao tuổi tại Bệnh viện C Đà Nẵng Diagnostic value of electrocardiogram in elderly patients with right ventricular myocardial infarction at Da Nang C Hospital	Võ Thị Hà Hoa Nguyễn Thị Khánh Linh	36
FR-DE Excel Solver: Differential Evolution with Deb's feasibility rules for solving constrained optimization problems in civil engineering Sử dụng thuật toán tiến hóa vi phân kết hợp các quy tắc của Deb để giải các bài toán tối ưu hóa có điều kiện ràng buộc trong ngành xây dựng	Hoàng Nhật Đức	44
Hiệu năng mạng hợp tác đa truy cập phi trực giao cho đường lên với cơ chế khuếch đại và chuyển tiếp Performance analysis of uplink cooperative non-orthogonal multiple access networks with amplify-and-forward relaying strategy	Trương Văn Trương Võ Minh Thông	49

## KHOA HỌC TỰ NHIÊN

The effect of band gap of a-SiGe:H intrinsic layer in heterojunction 3Silicon solar cells Ảnh hưởng của độ rộng vùng cấm của lớp bán dẫn thuần a-SiGe:H trong pin mặt trời dị thể Silic	Thanh Thuy Trinh Jaehyun Cho Sangho Kim Junsin Yi Vinh Ai Dao	58
--	---	----

Removal of Nitrophenol in aqueous solution using zeolite ZSM-5 Loại bỏ nitrophenol trong dung dịch nước bằng cách sử dụng vật liệu zeolite ZSM-5	Phạm Thị Hường Kim Jitae	64
Nghiên cứu hành vi vượt quá vận tốc trong linh kiện bán dẫn p-GaAs bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo tập hợp tự hợp Investigation of velocity overshoot behavior in p-GaAs semiconductor by the ensemble Monte Carlo simulations	Nguyễn Phước Thế Huỳnh Ngọc Toàn Võ Thị Hoa Hồ Khắc Hiếu	70
Cạnh tranh các trạng thái ngưng tụ trong cấu trúc vi hốc Competition of condensation states in microcavity	Ninh Quốc Huy Phan Văn Nhâm	75
The effects of refractive index and defects in silicon oxide films on the passivation qualities in c-Si solar cells Ảnh hưởng của chiết suất và sai hỏng mạng trong màng mỏng Silic oxide lên pin mặt trời dị thể Silic	Thanh Thuy Trinh Jaewoo Choi Jinjoo Park Cheolmin Park Minkyu Ju Seunghwan Lee Jungmo Kim Junsin Yi Vinh Ai Dao	80

## **KHOA HỌC XÃ HỘI VÀ NHÂN VĂN**

Đóng góp của Phan Khôi đối với sự phát triển tiếng Việt và Văn học đầu thế kỷ XX Phan Khoi's contributions to the development of Vietnamese language and Literature in the early 20th century	Hoàng Thị Hường	86
Các nhân tố ảnh hưởng đến chất lượng thông tin trong báo cáo tài chính của doanh nghiệp kinh doanh bất động sản niêm yết trên thị trường chứng khoán Việt Nam Factors affecting the information quality in financial statements of real estate company listed on Vietnam stock market	Lê Nguyễn Nguyên Nguyên Nguyễn Thị Thủy Hương	95
Thực trạng phát triển hoạt động bảo hiểm liên kết đầu tư tại Việt Nam và một số giải pháp hoàn thiện Current situation of the development of investment - linked insurance activities in Vietnam and some complete solutions	Huỳnh Thị Minh Duyên	102

# A stochastic gradient descent logistic regression software program for civil engineering data classification developed in .NET framework

Phần mềm phân loại dữ liệu trong ngành xây dựng sử dụng thuật toán hồi quy logistic phát triển trên nền tảng .NET

Nhat Duc Hoang<sup>a\*</sup>, Huy Thanh Nguyen<sup>b</sup>  
Hoàng Nhật Đức, Nguyễn Huy Thành

<sup>a</sup> Institute of Research and Development, Duy Tan University, Danang, Vietnam  
Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ cao, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

<sup>b</sup> Da Nang road and bridge Management Company, Danang, Vietnam  
Công ty Quản lý Cầu đường Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

(Ngày nhận bài: 31/05/2019, ngày phản biện xong: 06/06/2019, ngày chấp nhận đăng: 20/8/2019)

## Abstract

This study constructs a Stochastic Gradient Descent Logistic Regression (SGD-LR) used for data classification. A software program based on the SGD-LR has been developed by the authors in Visual C# and .NET Framework 4.6.2. The program capability has been demonstrated by case studies in this work.

*Keywords:* Data classification, Logistic Regression, Civil Engineering, Visual C#, .NET Framework.

## Tóm tắt

Nghiên cứu này xây dựng mô hình phân loại dữ liệu dựa trên mô hình hồi quy logistic và thuật toán stochastic gradient descent. Mô hình có tên là SGD-LR được phát triển bằng ngôn ngữ C# trên nền tảng NET Framework 4.6.2. Khả năng phân tích dữ liệu của mô hình được minh chứng qua các dữ liệu thử nghiệm trong bài báo.

*Từ khóa:* Phân loại dữ liệu, Hồi quy logistic, Xây dựng, Ngôn ngữ C#, Nền tảng .NET

## 1. Introduction

Data classification is a widely encountered task in civil engineering [1,2]. This task typically involves the establishment of the mathematical relationship between a set of influencing factors and a modeled variable. The influencing factors are used as input information for the established mathematical model; the output of interest is the class label corresponding to the provided input information (see Fig. 1).

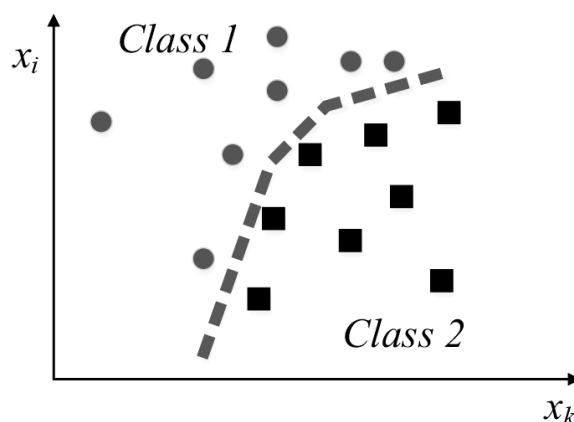


Fig. 1 The data classification process

The classification model can significantly help the efficiency of the decision making processes in the civil engineering field. Thus, data classification models are widely employed in civil engineering such as liquefaction prediction [3], groutability estimation [4-6], slope stability analysis [7], pavement distress recognition [8], etc. Among the classification models, the Logistic Regression (LR) is widely employed due to its fast model construction phase and good prediction performance [8,9]. Thus, this study aims at developing a software program based on the LR model and the Stochastic Gradient Descent (SGD) training algorithm. The SGD algorithm is used due to its effectiveness demonstrated in previous studies [8].

The software program, named as SGD-LR, has been developed in Visual C# .NET framework 4.6.2. A Graphical User Interface (GUI) has been constructed by the authors to ease the program implementation. The rest of the paper is organized as follows: the second section briefly mentions the formulation of the SGD-LR; two application cases of the software program are demonstrated in the third section; concluding remarks of this paper are stated in the final section.

## 2. Stochastic Gradient Descent Logistic Regression

The LR model can help to build a classification model that separates samples belonging to two possible categories namely the negative and positive classes. This machine learning model is straightforward to implement and its structure is also easy to interpret [10]. Successful applications of LR have been reported in various studies [11,12].

For the purpose of data modeling, the output of a LR model ( $y$ ) is often denoted as 1 for positive cases and 0 for negative cases [8]. An input feature is given in the form of  $x_i = x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}$  where  $D$  is the number of the features used for classification.  $\theta = \theta_0, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_D$  represents the model parameters. The quantity  $h_\theta(x_i)$  is employed to express the probability of the positive class output of raveling.

$h_\theta(x_i)$  is calculated as follows [13]:

$$h_\theta(x_i) = h_\theta(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}) = \frac{1}{1 + \exp(-\eta_i)} = \frac{1}{1 + \exp(-\theta^T x_i)} \quad (1)$$

where  $\eta_i = \theta_0 + \theta_1 x_{i1} + \theta_2 x_{i2} + \dots + \theta_D x_{iD} = \theta^T x_i$ .

$g(\eta_i) = \frac{1}{1 + \exp(-\eta_i)}$  is known as the logistic

function; its derivative is given as follows [14]:

$$g'(\eta_i) = g(\eta_i) \times (1 - g(\eta_i)) \quad (2)$$

The probabilities of the positive ( $y = 1$ ) and negative ( $y=0$ ) classes are given as follows:

$$P(y_i = 1 | x_i, \theta) = h_\theta(x_i) \quad (3)$$

$$P(y_i = 0 | x_i, \theta) = 1 - h_\theta(x_i) \quad (4)$$

Hence, the output probability can be given as follows [14]:

$$P(y_i = 0 | x_i, \theta) = (h_\theta(x_i))^{y_i} (1 - h_\theta(x_i))^{1-y_i} \quad (5)$$

Thus, the likelihood of the parameters can be expressed as follows [14]:

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^M (h_\theta(x_i))^{y_i} (1 - h_\theta(x_i))^{1-y_i} \quad (6)$$

where  $M$  represents the number of data samples.

In order to determine the set of model parameters  $\theta$ , one has to maximize the following log likelihood function:

$$l(\theta) = \log(L(\theta)) = \sum_{i=1}^M y_i \log(h_\theta(x_i)) + (1 - y_i)(1 - \log(h_\theta(x_i))) \quad (7)$$

The SGD algorithm (see **Fig. 2**) is employed in this study to identify the set of model parameters  $\theta$ . Using the SGD, the parameter  $\theta$  is updated according to the following rule:

$$\theta_k = \theta_k + \alpha(y_i - h_\theta(x_i))x_{i,k} \quad (8)$$

---

### Procedure SGD

Randomly create  $\theta$

Setting MaxEpoch // the maximum number of epochs

Setting  $\alpha$  // the learning rate parameter

**For**  $ep = 1$  to MaxEpoch

Shuffle the training data set

**For**  $i = 1$  to  $M$  //  $M =$  number of data samples

**For**  $k = 0$  to  $D$

$$\theta_k = \theta_k + \alpha \frac{\partial l(\theta_k)}{\partial \theta_k}$$

**End For**

**End For**

**End For**

**Return**  $\theta$

---

**Fig. 2** The SGD algorithm for training the LR model

### 3. The SGD-LR Software Program Applications

To automatically implement the LR model employing the SGD algorithm, a software program has been developed in .NET framework 4.6.2. The Graphical user interface (GUI) of the software program is shown in Fig. 3. The current program supports a single run of model training and testing phase. The training input file and its corresponding label file (TrainInput.csv and TrainLabel.csv) are stored in .csv file. Similarly, the testing input file and its corresponding label file should be named as TestInput.csv and TestLabel.csv. The user needs to provide the number of training epoch and the learning rate shown in the panel of Model Training Parameters.

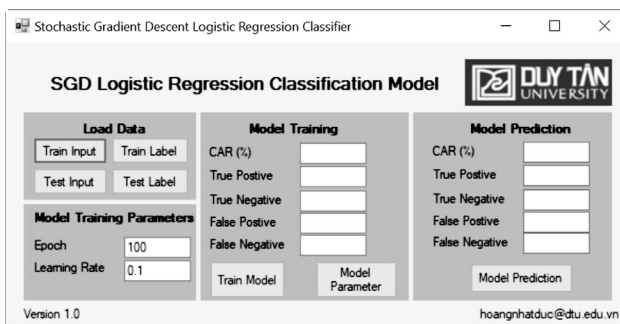


Fig. 3 The SGD-LR software program

Notably, the input features of the data set should be normalized by the Z-score equation given as follows:

$$X_{ZN} = \frac{X_o - m_X}{s_X} \quad (9)$$

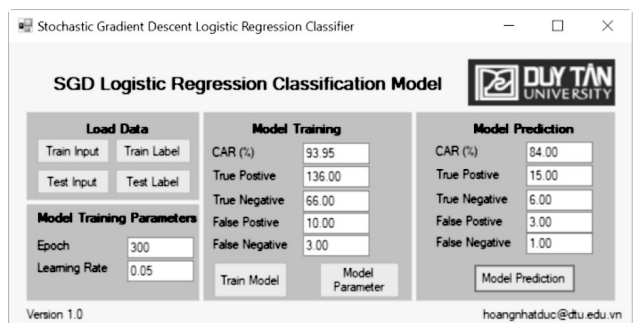
where  $X_o$  and  $X_{ZN}$  denote an original and a normalized input feature, respectively.  $m_X$  and  $s_X$  denote the mean and the standard deviation of the original input feature, respectively.

A common practice is to randomly divide the collected dataset into two sets of training (90%) and testing data (10%). The training set is used to construct the SGD-LR model; the testing set is used for evaluating the model generalization capability. To evaluate a LR model performance, the Classification Accuracy Rate (CAR) is often employed:

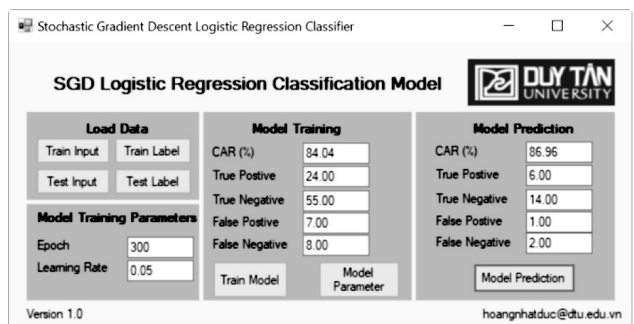
$$CAR = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \times 100\% \quad (10)$$

where TP, TN, FP, and FN denote the true positive, true negative, false positive, and false negative values, respectively.

To demonstrate the operation of the newly developed software program, two case studies related to groutability estimation are employed. Data in first case study is collected from the previous work of [6]. In the latter case study, data presented in the previous work of [4,15] is employed. In both case studies, a set of input features is employed to predict the state of groutability (either groutable which is the positive class or ungroutable which is the negative class). The prediction results of the two case studies are reported in Fig. 4, 5, and 6. Good CAR values are observed for both case studies (84.00% and 86.96%).

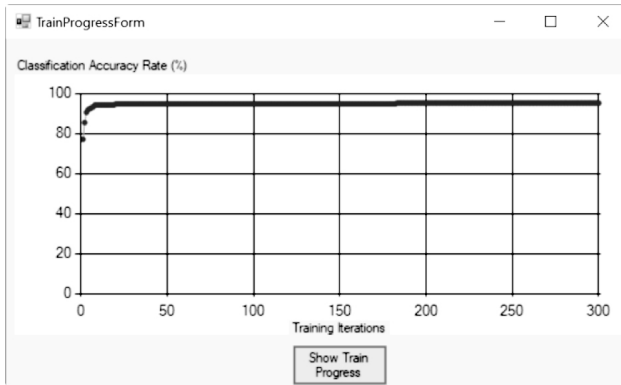


(a)

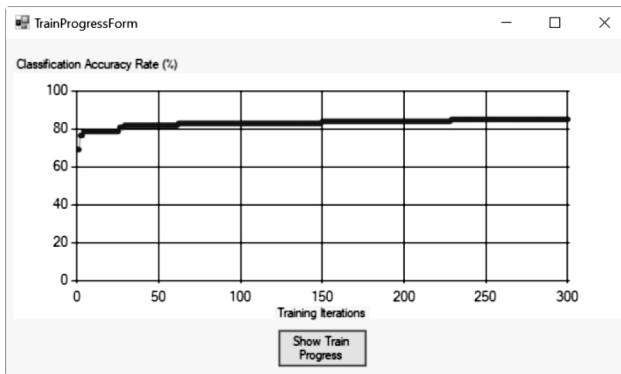


(b)

Fig. 4 Prediction results: (a) Case study 1 and (b) Case study 2

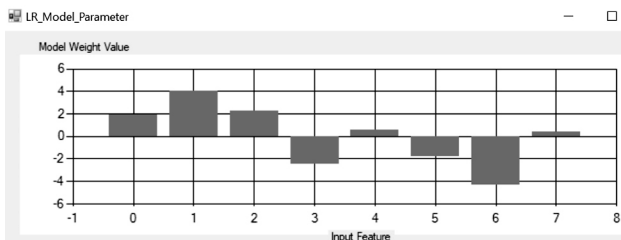


(a)

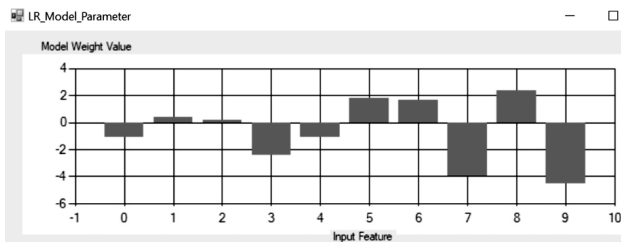


(b)

Fig. 5 The model training progress:  
(a) Case study 1 and (b) Case study 2



(a)



(b)

Fig. 6 The model parameters:  
(a) Case study 1 and (b) Case study 2

#### 4. Conclusion

Data classification is an important task in civil engineering. This study develops a software program based on the LR algorithm and the

SGD training algorithm. The applicability of the software program has been illustrated by two case studies using collected data sets of the groutability estimation. Good predictive results show that the SGD-LR software program can be a useful tool to assist decision makers in civil engineering.

#### Supplementary materials

The software program can be downloaded via: [https://github.com/NhatDucHoang/SGD\\_LR\\_Software](https://github.com/NhatDucHoang/SGD_LR_Software)

#### References

- [1] Huang H, Burton HV. Classification of in-plane failure modes for reinforced concrete frames with infills using machine learning. *Journal of Building Engineering* 25:100767. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100767>, 2019.
- [2] Chang M, Maguire M, Sun Y. Stochastic Modeling of Bridge Deterioration Using Classification Tree and Logistic Regression. *Journal of Infrastructure Systems* 25 (1):04018041. doi:10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000466, 2019.
- [3] Hoang N-D, Bui DT. Predicting earthquake-induced soil liquefaction based on a hybridization of kernel Fisher discriminant analysis and a least squares support vector machine: a multi-dataset study. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 77 (1):191-204. doi:10.1007/s10064-016-0924-0, 2018.
- [4] Tekin E, Akbas SO. Predicting groutability of granular soils using adaptive neuro-fuzzy inference system. *Neural Computing and Applications*. doi:10.1007/s00521-017-3140-3, 2017.
- [5] Hoang N-D, Tien Bui D, Liao K-W. Groutability estimation of grouting processes with cement grouts using Differential Flower Pollination Optimized Support Vector Machine. *Applied Soft Computing* 45:173-186. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.04.031>, 2016.
- [6] Liao K-W, Fan J-C, Huang C-L. An artificial neural network for groutability prediction of permeation grouting with microfine cement grouts\_DataFile. *Computers and Geotechnics* 38 (8):978-986. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2011.07.008>, 2011.
- [7] Zhou LY, Shan FP, Shimizu K, Imoto T, Lateh H, Peng KS. A comparative study of slope failure prediction using logistic regression, support vector machine and least square support vector machine models. *AIP Conference Proceedings* 1870 (1):060012. doi:10.1063/1.4995939, 2017.



- [8] Hoang N-D. Automatic detection of asphalt pavement raveling using image texture based feature extraction and stochastic gradient descent logistic regression. *Automation in Construction* 105:102843. doi:<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102843>, 2019.
- [9] Kim K, Kim J, Kwak T-Y, Chung C-K. Logistic regression model for sinkhole susceptibility due to damaged sewer pipes. *Natural Hazards* 93 (2):765-785. doi:10.1007/s11069-018-3323-y, 2018.
- [10] Piegorsch WW. *Statistical Data Analytics: Foundations for Data Mining, Informatics, and Knowledge Discovery*. John Wiley & Sons, Ltd, ISBN 978-1-118-61965-0, 2015.
- [11] Saha TK, Pal S. Exploring physical wetland vulnerability of Atreyee river basin in India and Bangladesh using logistic regression and fuzzy logic approaches. *Ecological Indicators* 98:251-265. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.009>, 2019.
- [12] Kim H, Hong T, Kim J. Automatic ventilation control algorithm considering the indoor environmental quality factors and occupant ventilation behavior using a logistic regression model. *Building and Environment*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.02.032>, 2019.
- [13] Agresti A. *An introduction to categorical data analysis*. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, NJ 07030, USA, ISBN 9781119405283, 2019.
- [14] Ng A. *Lecture notes. CS229 Machine Learning*. Stanford University, <http://cs229.stanford.edu/notes/cs229-notes1.pdf> (Last Access 12/13/2018), 2018.
- [15] Cheng M-Y, Hoang N-D. Groutability prediction of microfine cement based soil improvement using evolutionary LS-SVM inference model. *Journal of Civil Engineering and Management* 20 (6):839-848. doi:10.3846/13923730.2013.802717, 2014.

## User selection for secure communication in QoS-based non-orthogonal multiple access networks over Nakagami- $m$ fading

Lựa chọn người dùng cho truyền thông bảo mật trong mạng đa truy cập phi trực giao dựa trên QoS qua kênh truyền pha-đỉnh Nakagami- $m$

Duc Dung Tran, Dac Binh Ha, Mai Duyen Nguyen Le, Ba Cuong Huynh  
Trần Đức Dũng, Hà Đắc Bình, Nguyễn Lê Mai Duyên, Huỳnh Bá Cường

*Faculty of Electrical & Electronics Engineering, Duy Tan University, Danang, Vietnam  
Khoa Điện - Điện tử, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam*

*(Ngày nhận bài: 08/04/2019, ngày phản biện xong: 08/08/2019, ngày chấp nhận đăng: 20/08/2019)*

### Abstract

In this paper, we investigate the secure communication of a non-orthogonal multiple access (NOMA) system based on users' quality of service (QoS) requirements, in which Nakagami- $m$  fading channel and user selection are analyzed. The network consists of one source, two legitimate user (LU) clusters with different priority, in the presence of one passive eavesdropper. Given this context, a user selection solution is considered, where a user with the best channel quality in each cluster is selected for transmission. To analyze the secrecy performance, we derive tight and asymptotic closed-form expressions of secrecy outage probability. Monte-Carlo simulations are also provided to confirm our theoretical results. The results show that the secrecy performance can be improved by increasing the number of users in two clusters and our communication protocol outperforms conventional one in terms of secrecy performance.

*Keywords:* NOMA, physical layer security, secrecy capacity, secrecy outage probability.

### Tóm tắt

Trong bài báo này, chúng tôi xem xét vấn đề truyền thông bảo mật của hệ thống đa truy cập phi trực giao (NOMA) dựa trên những đòi hỏi chất lượng dịch vụ (QoS) của người dùng, trong đó kênh truyền pha-đỉnh Nakagami- $m$  và sự lựa chọn người dùng được phân tích. Mạng khảo sát bao gồm một trạm nguồn, hai nhóm người dùng hợp pháp có độ ưu tiên khác nhau, trong sự hiện diện của một máy nghe lén thụ động. Trong hệ thống này, giải pháp lựa chọn người dùng được xem xét, trong đó một người dùng với chất lượng kênh truyền tốt nhất trong mỗi nhóm được lựa chọn cho quá trình truyền thông. Để phân tích hiệu năng bảo mật, chúng tôi tính toán các công thức gần đúng và tiệm cận cho thông số xác suất dừng bảo mật. Mô phỏng Monte-Carlo được chúng tôi sử dụng để xác nhận tính chính xác của kết quả phân tích. Các kết quả đạt được chỉ ra rằng hiệu năng bảo mật có thể được cải thiện bằng cách tăng số lượng người dùng trong hai nhóm và giao thức truyền thông được đề xuất mang lại hiệu năng bảo mật tốt hơn so với giao thức trước đây.

*Từ khóa:* NOMA, bảo mật lớp vật lý, dung lượng bảo mật, xác suất dừng bảo mật.

### Introduction

Non-orthogonal multiple access (NOMA), a promising multiple access solution can bring the better spectral efficiency and user fairness

compared with traditional orthogonal multiple access (OMA) methods such as time division multiple access (TDMA) and frequency division multiple access (FDMA), has received a great



attention in recent years [1-5]. Different from OMA, this technique explores the power domain to serve multiple users at the same time/frequency/code [2, 6]. NOMA can be performed by superposing all users' messages at source before transmission [7, 8] or dividing all users into multiple small groups and carrying out NOMA in each group [9]. User grouping can bring better performance and reduce co-channel interference as well as the complexity of signal processing [9].

Besides, information security is a crucial challenge in wireless communications due to the broadcast nature of wireless medium [10]. In this context, physical layer security (PLS) has been emerging as a promising method to improve the security of wireless systems [11, 12]. To do this, PLS is carried out by exploiting the dynamic characteristics of wireless channels. This is different from the conventional information security methods, such as cryptographic techniques which were designed to guarantee the security in the upper layers (e.g., the network layer) based on the ideal assumption of error-free physical link [13].

Recently, there have been a lot of works studying PLS in NOMA networks [14-18]. Specifically, in [14], a secure single-input single-output (SISO) NOMA network was considered. Based on the users' quality of service (QoS) requirements, the authors derived the closed-form expression of an optimal power allocation policy to provide the maximum secrecy sum rate of the NOMA system. In [15], PLS in large-scale NOMA systems was investigated under the scenario that users are randomly deployed. To evaluate the secrecy performance, exact and asymptotic expressions of secrecy outage probability (SOP) were derived. In [16], Y. Liu *et al.* proposed a communication protocol to improve the security of large-scale NOMA networks, in which multiple antennas, artificial

noise and protected zone were considered. However, the works [14-16] only considered the scenario that NOMA is carried out based on the ordered channel conditions and Rayleigh fading channel.

Considering the works [17, 18], the authors analyzed the secrecy performance of QoS-based NOMA systems by deriving exact and approximate expressions of SOP. In this context, NOMA is performed based on the users' QoS requirements instead of their channel conditions. However, these works [17, 18] only examined the NOMA networks with two users. Furthermore, user selection solutions for secure NOMA transmission have not been considered yet.

Motivated by the above discussions, in this paper, we investigate the PLS of a multi-user (more than two users) QoS-based NOMA system, where user selection solution and Nakagami- $m$  fading are considered. Nakagami- $m$  is depicted as a general channel model since it includes the well-known Rayleigh and Rician distributions. In this setting, a source intends to transmit information to two legitimate user (LU) clusters with different priority in the presence of a passive eavesdropper. Specifically, users in the first cluster require higher QoS than those in second one. Here, user pairing is utilized for NOMA transmission, as discussed in [9]. Moreover, a user selection method where one user in each cluster that has the best channel condition is chosen for transmission, is considered to strengthen the system security. Thus, the main contributions of our paper are as follows:

- A secure communication protocol for multi-user QoS-based NOMA networks is proposed, in which user selection and Nakagami- $m$  fading are considered.

- Analytical and asymptotic expressions for SOP of LUs and overall system, and secrecy diversity order are derived.

- Effects of various system parameters,

such as the average transmit signal-to-noise ratio (SNR), the number of users in two clusters, and fading parameters, on the secrecy performance of the system are investigated.

□ A secrecy performance comparison of our proposed communication protocol and conventional one is performed to indicate the benefits of our solution.

The rest of this paper is organized as follows. The system model is presented in Section 2.

Secrecy performance analysis of the considered system is provided in Section 3. The numerical results are shown in Section 4. Finally, Section 5 is to identify the conclusion of our paper.

*Notation:*  $\mathbf{CN}(0, N_0)$  indicates a scalar complex Gaussian distribution with zero mean and variance  $N_0$ .  $|\cdot|$  represents the absolute value.  $E[\cdot]$  denotes the expectation operator.  $\Gamma(\cdot)$  is the gamma function.

## 2. System model

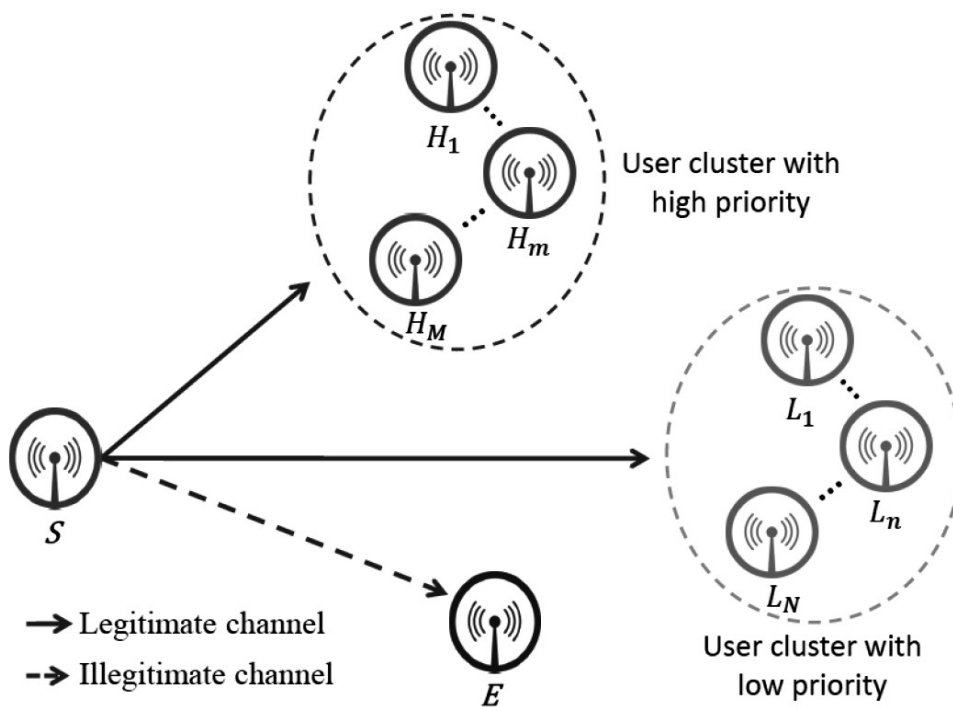


Fig. 1. Model of PLS in a QoS-based NOMA system

In this paper, secrecy communication in multi-user NOMA system is considered, as depicted in Fig. 1. The network consists of one source, denoted by  $S$ , one cluster of  $M$  users with high priority, denoted by  $H = \{H_1, \dots, H_M\}$ , one cluster of  $N$  users with low priority, denoted by  $L = \{L_1, \dots, L_N\}$ , and one passive eavesdropper, denoted by  $E$ . All of these devices are equipped with a single antenna and operate in half-duplex mode.

Let  $h_{sx} (X \in \{H_m, L_n, E\}, 1 \leq m \leq M, 1 \leq n \leq N)$  is the channel coefficient of  $S \rightarrow X$  link. It is assumed that  $h_{sx}$  follows independent identically

distributed (i.i.d) Nakagami- $m$  fading with parameter  $m_{sx}$ . In addition, the distance and path loss exponent of  $S \rightarrow X$  channel are denoted by  $d_{sx}$  and  $\theta_{sx}$ , respectively.

Prior to transmission, a user  $H_m \in H$  ( $1 \leq m \leq M$ ) and a user  $L_n \in L$  ( $1 \leq n \leq N$ ) are selected for pairing to perform QoS-based NOMA transmission (the detail of user selection will be presented in 2.1). Specifically, source  $S$  treats user  $H_m$  with a higher priority than user  $L_n$  [19]. Meanwhile, eavesdropper  $E$  tries to passively extract information transmitted from source  $S$ .

### 2.1. User Selection Scheme

In this subsection, we present user selection solution proposed for NOMA transmission in detail. Specifically, a user  $\hat{H} \in H$  and a user  $\hat{L} \in L$  that have the best channel conditions (BH-BL) are chosen for transmission, i.e.,

$$\hat{H} = \arg \max_{1 \leq m \leq H} \left\{ |h_{SH_m}|^2 \right\}, \quad (1)$$

$$\hat{L} = \arg \max_{1 \leq n \leq L} \left\{ |h_{SL_n}|^2 \right\}, \quad (2)$$

where,  $h_{SH_m}$  and  $h_{SL_n}$  are channel coefficients of  $S \rightarrow H_m$  and  $S \rightarrow L_n$  links, respectively.

### 2.2. Communication Process

With NOMA, source  $S$  broadcasts the mixed message

$$x = \sqrt{P_S a_{\hat{H}}} x_{\hat{H}} + \sqrt{P_S a_{\hat{L}}} x_{\hat{L}}, \quad (3)$$

to  $\hat{H}$  and  $\hat{L}$ . In which,  $P_S$  is the transmit power,  $a_{\hat{H}}$  and  $a_{\hat{L}}$  ( $a_{\hat{H}} + a_{\hat{L}} = 1$ ) denote the power allocation coefficients, as well as  $x_{\hat{H}}$  and  $x_{\hat{L}}$  represent the messages for users  $\hat{H}$  and  $\hat{L}$ , respectively. Since user  $\hat{H}$  has a higher priority than user  $\hat{L}$ , this implies  $a_{\hat{H}} > a_{\hat{L}} > 0$ . Thus, the received signal at user  $V$  ( $V \in \{\hat{H}, \hat{L}\}$ ) has the following form

$$y_V = \left( \sqrt{a_{\hat{H}} P_S} x_{\hat{H}} + \sqrt{a_{\hat{L}} P_S} x_{\hat{L}} \right) h_{SV} + w_V, \quad (4)$$

where,  $w_V \sim \mathbf{CN}(0, N_0)$  denotes the additive white Gaussian noise (AWGN) at user  $V$ .

At user  $\hat{H}$ , it decodes its own signal, i.e.,  $x_{\hat{H}}$ , by treating the signal  $x_{\hat{L}}$  as noise due to  $a_{\hat{H}} > a_{\hat{L}}$ . From (4), the instantaneous signal-to-interference-and-noise ratio (SINR) at user  $\hat{H}$  to detect  $x_{\hat{H}}$  is written as

$$\gamma_{S\hat{H}}^{x_{\hat{H}}} = \frac{a_{\hat{H}} \gamma_S |h_{S\hat{H}}|^2}{a_{\hat{L}} \gamma_S |h_{S\hat{H}}|^2 + 1}, \quad (5)$$

where  $\gamma_S = \frac{P_S}{N_0}$  is the average transmit SNR according to LUs.

At user  $\hat{L}$ , it first decodes the signal  $x_{\hat{H}}$ , then subtracts this component from the received signal

to detect its own signal  $x_{\hat{L}}$  by using successive interference cancellation (SIC)<sup>(1)</sup>. This is clear since  $a_{\hat{H}} > a_{\hat{L}} > 0$ . Thus, the instantaneous SNR at  $\hat{L}$  to detect its signal  $x_{\hat{L}}$  can be expressed as

$$\gamma_{S\hat{L}} = a_{\hat{L}} \gamma_S |h_{S\hat{L}}|^2. \quad (6)$$

At eavesdropper  $E$ , the signal received from source  $S$  is written as

$$y_E = \left( \sqrt{a_{\hat{H}} P_S} x_{\hat{H}} + \sqrt{a_{\hat{L}} P_S} x_{\hat{L}} \right) h_{SE} + w_E, \quad (7)$$

where  $w_E \sim \mathbf{CN}(0, N_E)$  denotes the additive white Gaussian noise (AWGN) at eavesdropper  $E$ . It is assumed that eavesdropper also uses SIC to detect received multi-user data stream. Thus, after decoding the message  $x_{\hat{H}}$ , eavesdropper  $E$  removes it from the received signal before detecting the message  $x_{\hat{L}}$ . Accordingly, the instantaneous SINR and SNR at eavesdropper  $E$  to detect  $x_{\hat{H}}$  and  $x_{\hat{L}}$  are, respectively, given by

$$\gamma_{SE}^{x_{\hat{H}}} = \frac{a_{\hat{H}} \gamma_E |h_{SE}|^2}{a_{\hat{L}} \gamma_E |h_{SE}|^2 + 1}, \quad (8)$$

$$\gamma_{SE}^{x_{\hat{L}}} = a_{\hat{L}} \gamma_E |h_{SE}|^2, \quad (9)$$

where,  $\gamma_E = \frac{P_S}{N_E}$  stands for the average transmit SNR according to eavesdropper  $E$ .

For Nakagami- $m$  fading, the cumulative distribution function (CDF) of  $|h_{S\hat{H}}|^2$  has the following form [20]

$$F_{|h_{S\hat{H}}|^2}(x) = \left( 1 - \sum_{s=\hat{H}} \frac{s\hat{H}}{s\hat{H}} x e^{-\frac{m_{S\hat{H}} x}{s\hat{H}}} \right). \quad (10)$$

By using binomial expansion [[21], Eq. 1.111], i.e.  $(a+x)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^k a^{n-k}$ , and multinomial theorem,  $F_{|h_{S\hat{H}}|^2}(x)$  is rewritten as

$$F_{|h_{S\hat{H}}|^2}(x) = 1 + \sum_{i=1}^M \sum_{U_{\hat{H}}=i} \Psi_{\hat{H}} x^{o_{\hat{H}}} e^{-\frac{im_{\hat{H}} x}{\lambda_{S\hat{H}}}}, \quad (11)$$

<sup>(1)</sup> In this paper, it is assumed that perfect SIC is obtained at user  $\hat{L}$ , as well used in [16, 17]. In fact, this assumption can bring the positive results of secrecy performance for user  $\hat{L}$  but may be difficult to obtain in practical scenario.

where  $U_{\hat{H}} = \sum_{j=0}^{m_{\hat{H}}-1} u_{\hat{H},j}$ ,  $\varphi_{\hat{H}} = \sum_{j=0}^{m_{\hat{H}}-1} j u_{\hat{H},j}$ ,

$$\Psi_{\hat{H}} = \binom{M}{i} (-1)^i \binom{i}{u_{\hat{H},0}, \dots, u_{\hat{H},m_{\hat{H}}-1}} \left[ \prod_{j=0}^{m_{\hat{H}}-1} \left( \frac{m_{\hat{H}}^j}{j! \lambda_{S\hat{H}}^j} \right)^{u_{\hat{H},j}} \right]$$

$$\lambda_{S\hat{H}} = \frac{\mathbb{E} \left[ |h_{S\hat{H}}|^2 \right]}{d_{S\hat{H}}^{\theta_{S\hat{H}}}}$$

Similarly, the CDF of  $|h_{S\hat{L}}|^2$  is given by

$$F_{|h_{S\hat{L}}|^2}(x) = 1 + \sum_{i=1}^N \sum_{U_i=i} \Psi_{\hat{L}} x^{\varphi_i} e^{-\frac{im_i x}{\lambda_{S\hat{L}}}}, \quad (12)$$

where  $U_{\hat{L}} = \sum_{j=0}^{m_{\hat{L}}-1} u_{\hat{L},j}$ ,  $\varphi_{\hat{L}} = \sum_{j=0}^{m_{\hat{L}}-1} j u_{\hat{L},j}$ ,

$$\Psi_{\hat{L}} = \binom{N}{i} (-1)^i \binom{i}{u_{\hat{L},0}, \dots, u_{\hat{L},m_{\hat{L}}-1}} \left[ \prod_{j=0}^{m_{\hat{L}}-1} \left( \frac{m_{\hat{L}}^j}{j! \lambda_{S\hat{L}}^j} \right)^{u_{\hat{L},j}} \right]$$

$$\lambda_{S\hat{L}} = \frac{\mathbb{E} \left[ |h_{S\hat{L}}|^2 \right]}{d_{S\hat{L}}^{\theta_{S\hat{L}}}}$$

For eavesdropper, the probability density function (PDF) and CDF of  $|h_{SE}|^2$  are, respectively, expressed as

$$f_{|h_{SE}|^2}(x) = \frac{m_E^{m_E} x^{m_E-1}}{\Gamma(m_E) \lambda_{SE}^{m_E}} e^{-\frac{m_E x}{\lambda_{SE}}}, \quad (13)$$

$$F_{|h_{SE}|^2}(x) = 1 - \sum_{k=0}^{m_E-1} \frac{m_E^k}{k! \lambda_{SE}^k} x^k e^{-\frac{m_E x}{\lambda_{SE}}}, \quad (14)$$

where,  $\lambda_{SE} = \frac{\mathbb{E} \left[ |h_{SE}|^2 \right]}{d_{SE}^{\theta_{SE}}}$ .

From (11), (12), and (14), the CDF of  $\gamma_{S\hat{H}}^{x_{\hat{H}}}$ ,  $\gamma_{S\hat{L}}^{x_{\hat{L}}}$ ,  $\gamma_{SE}^{x_{\hat{H}}}$ , and  $\gamma_{SE}^{x_{\hat{L}}}$  can be derived through the following Lemmas 1, 2, 3, and 4.

**Lemma 1.** Under Nakagami- $m$  fading, the CDF of  $\gamma_{S\hat{H}}^{x_{\hat{H}}}$  is given by

$$F_{\gamma_{S\hat{H}}^{x_{\hat{H}}}}(x) = \begin{cases} 1, & x \geq \alpha \\ 1 + \sum_{i=1}^M \sum_{U_i=i} \Psi_{\hat{H}} \left( \frac{g_x}{\gamma_S} \right)^{\varphi_{\hat{H}}} e^{-\frac{im_{\hat{H}} g_x}{\lambda_{S\hat{H}} \gamma_S}}, & x < \alpha \end{cases}, \quad (15)$$

where  $\alpha = \frac{a_{\hat{H}}}{a_{\hat{L}}}$ ,  $g_x = \frac{x}{a_{\hat{H}} - a_{\hat{L}} x}$ .

*Proof:* Using (5),  $F_{\gamma_{S\hat{H}}^{x_{\hat{H}}}}(x)$  is expressed as

$$F_{\gamma_{S\hat{H}}^{x_{\hat{H}}}}(x) = \Pr \left( \frac{a_{\hat{H}} \gamma_S |h_{S\hat{H}}|^2}{a_{\hat{L}} \gamma_S |h_{S\hat{H}}|^2 + 1} < x \right)$$

$$= \begin{cases} 1, & x \geq \alpha \\ \Pr \left[ |h_{S\hat{H}}|^2 < \frac{g_x}{\gamma_S} \right], & x < \alpha \end{cases} \quad (16)$$

$$= \begin{cases} 1, & x \geq \alpha \\ F_{|h_{S\hat{H}}|^2} \left( \frac{g_x}{\gamma_S} \right), & x < \alpha \end{cases}$$

The final expression of  $F_{\gamma_{S\hat{H}}^{x_{\hat{H}}}}(x)$  can be achieved as in (15) by substituting (11) into (16) and the proof is completed.

**Lemma 2.** Under Nakagami- $m$  fading, the CDF of  $\gamma_{S\hat{L}}^{x_{\hat{L}}}(x)$  has the following form

$$F_{\gamma_{S\hat{L}}^{x_{\hat{L}}}}(x) = 1 + \sum_{i=1}^N \sum_{U_i=i} \Psi_{\hat{L}} \left( \frac{x}{a_{\hat{L}} \gamma_S} \right)^{\varphi_{\hat{L}}} e^{-\frac{im_L x}{\lambda_{S\hat{L}} a_{\hat{L}} \gamma_S}}. \quad (17)$$

*Proof:* By means of (6), the CDF of  $F_{\gamma_{S\hat{L}}^{x_{\hat{L}}}}(x)$  is written as

$$F_{\gamma_{S\hat{L}}^{x_{\hat{L}}}}(x) = \Pr \left( a_{\hat{L}} \gamma_S |h_{S\hat{L}}|^2 < x \right)$$

$$= \Pr \left( |h_{S\hat{L}}|^2 < \frac{x}{a_{\hat{L}} \gamma_S} \right) \quad (18)$$

$$= F_{|h_{S\hat{L}}|^2} \left( \frac{x}{a_{\hat{L}} \gamma_S} \right).$$

To this end, substitute (12) into (18) to obtain  $F_{\gamma_{S\hat{L}}^{x_{\hat{L}}}}(x)$  as in (17).

**Lemma 3.** Under Nakagami- $m$  fading, the PDF of  $\gamma_{SE}^{x_{\hat{H}}}(x)$  is presented as

$$f_{\gamma_{SE}^{x_{\hat{H}}}}(x) = \begin{cases} 0, & x \geq \alpha \\ \sum_{k=0}^{m_E-1} \frac{m_E^k a_{\hat{H}}^k g_x^{k-1} e^{-\frac{m_E g_x}{\lambda_{SE} \gamma_E}}}{k! \lambda_{SE}^k \gamma_E^k (a_{\hat{H}} - a_{\hat{L}} x)^2} \left[ \frac{m_E g_x}{\lambda_{SE} \gamma_E} - k \right], & x < \alpha \end{cases}. \quad (19)$$

*Proof:* Using (8) and (14), we derive the CDF of  $\gamma_{SE}^{x_{\hat{H}}}(x)$  as follows:

$$\begin{aligned}
 F_{\gamma_{SE}^{x_{\hat{H}}}}(x) &= \Pr\left(\frac{a_{\hat{H}}\gamma_E|h_{SE}|^2}{a_L\gamma_E|h_{SE}|^2+1} < x\right) \\
 &= \begin{cases} 1, & x \geq \alpha \\ F_{|h_{SE}|^2}\left(\frac{g_x}{\gamma_E}\right), & x < \alpha \end{cases} \quad (20) \\
 &= \begin{cases} 1, & x \geq \alpha \\ 1 - \sum_{k=0}^{m_E-1} \frac{m_E^k}{k! \lambda_{SE}^k} \left(\frac{g_x}{\gamma_E}\right)^k e^{-\frac{m_E g_x}{\lambda_{SE} \gamma_E}}, & x < \alpha \end{cases}
 \end{aligned}$$

The PDF of  $\gamma_{SE}^{x_{\hat{H}}}(x)$  is defined as

$$f_{\gamma_{SE}^{x_{\hat{H}}}}(x) = \frac{dF_{\gamma_{SE}^{x_{\hat{H}}}}(x)}{dx} \quad (21)$$

By calculating the derivative of  $F_{\gamma_{SE}^{x_{\hat{H}}}}(x)$  with respect to  $x$ ,  $f_{\gamma_{SE}^{x_{\hat{H}}}}(x)$  is obtained as in (19).

**Lemma 4.** Under Nakagami- $m$  fading, the PDF of  $\gamma_{SE}^{x_L}(x)$  is given by

$$f_{\gamma_{SE}^{x_L}}(x) = \frac{m_E^{m_E}}{\Gamma(m_E)(a_L\gamma_E\lambda_{SE})^{m_E}} x^{m_E-1} e^{-\frac{m_E x}{a_L\gamma_E\lambda_{SE}}} \quad (22)$$

*Proof:* The proof of this Lemma is similar to Lemma 3, in which  $\gamma_{SE}^{x_L}$  in (9) is used instead of  $\gamma_{SE}^{x_{\hat{H}}}$  in (8).

### Secrecy Performance Analysis

In this section, we provide the secrecy performance analysis of the considered system in terms of SOP.

The capacity of legitimate user  $V$  ( $V \in \{\hat{H}, \hat{L}\}$ ) and that of eavesdropper  $E$  to detect  $x_V$  are, respectively, given by

$$C_V = \log_2(1 + \gamma_{SV}^{x_V}), \quad (23)$$

and

$$C_{EV} = \log_2(1 + \gamma_{SE}^{x_V}). \quad (24)$$

From (23) and (24), the secrecy capacity of user  $V$  is defined as [20]

$$\begin{aligned}
 C_{SV} &= \max\{0, C_V - C_{EV}\} \\
 &= \max\left\{0, \log_2\left(\frac{1 + \gamma_{SV}^{x_V}}{1 + \gamma_{SE}^{x_V}}\right)\right\}, \quad (25)
 \end{aligned}$$

and the SOP at user  $V$  is given by [16]

$$\begin{aligned}
 P_V &= \Pr[C_{SV} < R_V] \\
 &= \int_0^\infty f_{\gamma_{SE}^{x_V}}(x) F_{\gamma_{SV}^{x_V}}[2^{R_V}(1+x)-1] dx. \quad (26)
 \end{aligned}$$

### 3.1. Secrecy Outage Probability Analysis

By means of (26), the SOP at users  $\hat{H}$  and  $\hat{L}$  can be derived as follows.

#### 3.1.1. At user $\hat{H}$

The SOP of user  $\hat{H}$  is calculated through the following theorem.

**Theorem 1.** Under Nakagami- $m$  fading channel, the secrecy outage probability at user  $\hat{H}$  with QoS-based NOMA transmission can be approximated as

$$P_{\hat{H}} \approx 1 + \sum_{i,U,k,l} \Psi \cdot W_{\hat{H}} \left[ \frac{(\delta + )\beta}{\lambda_{SE}\gamma_E} \right], \quad (27)$$

where  $\sum_{i,U,k,l} = \sum_{i=1}^M \sum_{U=i}^M \sum_{k=0}^{m_E-1} \sum_{l=0}^T$ ,

$$W_{\hat{H}}(x) = \frac{g_x^{k-1} g_{v,x,\hat{H}}^{q_{\hat{H}}}}{(a_{\hat{H}} - a_L x)^2} e^{-\frac{im_{\hat{H}} g_{v,x,\hat{H}}}{\lambda_{S\hat{H}}\gamma_S} - \frac{m_E g_x}{\lambda_{SE}\gamma_E}} \left( \frac{m_E g_x}{\lambda_{SE}\gamma_E} - k \right),$$

$$\delta_l = \cos\left[\frac{(2l-1)\pi}{2T}\right], \Psi_{\hat{H}} = \frac{\pi\beta m_E^k a_{\hat{H}} \Psi_{\hat{H}} \sqrt{1-\delta_l^2}}{k! 2^T \lambda_{SE}^k \gamma_E^k \gamma_S^{q_{\hat{H}}}}$$

$$\beta = \frac{\alpha+1}{2^{R_{\hat{H}}}} - 1, \quad v_{x,\hat{H}} = 2^{R_{\hat{H}}} x + 2^{R_{\hat{H}}} - 1,$$

$T$  is a complexity-accuracy tradeoff parameter.

*Proof:* See Appendix A.

#### 3.1.2. At user $\hat{L}$

The SOP of user  $\hat{L}$  is provided in theorem 2 as below.

**Theorem 2.** Under Nakagami- $m$  fading channel, the secrecy outage probability at user  $\hat{L}$  with QoS-based NOMA transmission is given by

$$P_{\hat{L}} \approx 1 + \sum_{i,U,k} \binom{\varphi_i}{k} \frac{m_E^{m_E} \Gamma(m_E+k) (\gamma_E \lambda_{SE})^k \lambda_{SE}^{m_E+k} \Psi_L 2^{kR_L} (2^{R_L} - 1)^{q_L-k} e^{-\frac{im_L(2^{R_L}-1)}{\lambda_{SE}\gamma_S}}}{\Gamma(m_E) a_L^{q_L-k} \gamma_S^{q_L-m_E-k} (im_L \gamma_E \lambda_{SE} 2^{R_L} + m_E \lambda_{SE} \gamma_S)^{m_E+k}}, \quad (28)$$

where  $\sum_{i,U,k} = \sum_{i=1}^N \sum_{U=i}^N \sum_{k=0}^{\varphi_i}$ .



*Proof:* See Appendix B.

In the considered system, the overall secrecy outage probability is defined as the probability that secrecy outage event occurs either at user  $\hat{H}$  or at user  $\hat{L}$ . Mathematically, it is written as

$$P_{\text{overall}} = 1 - (1 - P_{\hat{H}})(1 - P_{\hat{L}}). \quad (29)$$

### 3.2. Asymptotic Secrecy Outage Probability Analysis

To obtain the asymptotic expressions of SOP, we first use the series representation of  $e^x$  in [21]

$$e^x = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{x^k}{k!}, \quad (30)$$

to derive the asymptotic CDF of  $|h_{S\hat{H}}|^2$  and  $|h_{S\hat{L}}|^2$  as follows:

$$F_{|h_{S\hat{H}}|^2}^{\text{asym}}(x) \approx \left[ \frac{(m_{\hat{H}}x / \lambda_{S\hat{H}})^{m_{\hat{H}}}}{m_{\hat{H}}!} \right]^M, \quad (31)$$

$$P_{\hat{H}}^{\text{asym}} = \int_0^{\infty} f_{\gamma_{SE}^{x_{\hat{H}}}}(x) F_{\gamma_{SH}^{x_{\hat{H}}}}^{\text{asym}}[v_{x,\hat{H}}] dx \quad (32)$$

$$\approx \sum_{k=0}^{m_E-1} \frac{m_E^k}{k! \lambda_{SE}^k} \left( \frac{\mathbf{g}\beta}{\gamma_E} \right)^k e^{-\frac{m_E \mathbf{g}\beta}{\gamma_E \lambda_{SE}}} + \sum_{k=0}^{m_E-1} \sum_{l=0}^T \Psi_{\hat{H}}^{\text{asym}} W_{\hat{H}}^{\text{asym}} \left[ \frac{(\delta_l + 1)\beta}{2} \right],$$

where  $\Psi_{\hat{H}}^{\text{asym}} = \frac{\pi \beta m_E^k a_{\hat{H}} m_{\hat{H}}^{m_{\hat{H}}M}}{k! 2^T \Gamma(m_{\hat{H}}!)^M (\lambda_{SE} \gamma_E)^k (\gamma_S \lambda_{S\hat{H}})^{m_{\hat{H}}M}} \sqrt{1 - \delta_l^2}$ ,  $W_{\hat{H}}^{\text{asym}}(x) = \frac{\mathbf{g}_x^{k-1} \mathbf{g}_{v_{x,\hat{H}}}^{m_{\hat{H}}M}}{(a_{\hat{H}} - a_L x)^2} e^{-\frac{m_E \mathbf{g}_x}{\lambda_{SE} \gamma_E}} \left[ \frac{m_E \mathbf{g}_x}{\lambda_{SE} \gamma_E} - k \right]$ .

The secrecy diversity order at user  $\hat{H}$  is defined as

$$D_{\hat{H}} = - \lim_{\gamma_S \rightarrow \infty} \frac{\log P_{\hat{H}}^{\text{asym}}}{\log \gamma_S}. \quad (36)$$

Using  $P_{\hat{H}}^{\text{asym}}$  in (35), we obtain  $D_{\hat{H}} = 0$ .

#### 3.2.2. At user $\hat{L}$

Similarly, the asymptotic SOP of user  $\hat{L}$  can be derived by using  $f_{\gamma_{SE}^{x_{\hat{L}}}}$  in (22) and  $F_{\gamma_{SL}^{x_{\hat{L}}}}$  in (34) as follows:

$$P_{\hat{L}}^{\text{asym}} = \int_0^{\infty} f_{\gamma_{SE}^{x_{\hat{L}}}}(x) F_{\gamma_{SL}^{x_{\hat{L}}}}^{\text{asym}}[v_{x,\hat{L}}] dx \quad (37)$$

$$= \sum_{k=0}^{m_L N} \binom{m_L N}{k} \frac{(2^{R_L} - 1)^{m_L N - k} 2^{k R_L} m_L^{m_L N} \Gamma(m_E + k) (\gamma_E \lambda_{SE})^k}{\Gamma(m_E) (m_L!)^N m_E^k a_L^{m_L N - k} (\gamma_S \lambda_{S\hat{L}})^{m_L N}}.$$

and

$$F_{|h_{S\hat{L}}|^2}^{\text{asym}}(x) \approx \left[ \frac{(m_L x / \lambda_{S\hat{L}})^{m_L}}{m_L!} \right]^N. \quad (32)$$

From (31) and (32), the asymptotic CDF of  $\gamma_{S\hat{H}}^{x_{\hat{H}}}$  and  $\gamma_{S\hat{L}}^{x_{\hat{L}}}$  can be given by

$$F_{\gamma_{SH}^{x_{\hat{H}}}}^{\text{asym}}(x) \approx \begin{cases} 1, & x \geq \alpha \\ \left[ \frac{(m_{\hat{H}} \mathbf{g}_x / \gamma_S \lambda_{S\hat{H}})^{m_{\hat{H}}}}{m_{\hat{H}}!} \right]^M, & x < \alpha \end{cases}, \quad (33)$$

and

$$F_{\gamma_{SL}^{x_{\hat{L}}}}^{\text{asym}}(x) \approx \frac{[m_L x / (a_L \gamma_S \lambda_{S\hat{L}})]^{m_L N}}{(m_L!)^N}, \quad (34)$$

respectively.

#### 3.2.1. At user $\hat{H}$

With the aim of  $f_{\gamma_{SE}^{x_{\hat{H}}}}$  in (19),  $F_{\gamma_{SH}^{x_{\hat{H}}}}$  in (33) and after some algebraic manipulations similar to the proof of Theorem 1, the asymptotic SOP of this user can be given by

From this result, the secrecy diversity order of user  $\hat{L}$  is given by

$$D_{\hat{L}} = - \lim_{\gamma_S \rightarrow \infty} \frac{\log P_{\hat{L}}^{\text{asym}}}{\log \gamma_S} = m_L N. \quad (38)$$

Based on (29), (35), and (37), the overall SOP is asymptotically expressed as

$$P_{\text{overall}}^{\text{asym}} = 1 - (1 - P_{\hat{H}}^{\text{asym}})(1 - P_{\hat{L}}^{\text{asym}}), \quad (39)$$

and overall secrecy diversity order is

$$D_{\text{overall}} = - \lim_{\gamma_S \rightarrow \infty} \frac{\log P_{\text{overall}}^{\text{asym}}}{\log \gamma_S} = 0. \quad (40)$$



From the above asymptotic results, some useful comments are provided as indicated in the following remark.

**Remark 1.** *The secrecy diversity order of the selected user with low priority ( $\hat{L}$ ) is  $m_l N$ . This means that the secrecy performance of user  $\hat{L}$  can be improved by increasing the fading parameter of  $S \rightarrow \hat{L}$  link ( $m_l$ ) and the number of users with low priority ( $N$ ). Meanwhile, the zero secrecy diversity order is obtained for user  $\hat{H}$  and overall system. This reveals that the secrecy performance of user  $\hat{H}$  and overall system are unchanged as  $\gamma_s \rightarrow \infty$ . More details will be discussed in Section 4.*

**4. Numerical result**

In this section, we provide numerical results of secrecy outage probability (SOP)

to evaluate the secrecy performance. It is assumed that the distances from source  $S$  to cluster  $H$  (users in cluster  $H$  have the same coordinates) and from source  $S$  to cluster  $L$  (user in cluster  $L$  have the same coordinate) are set to unity [22, 23]. Furthermore, we assume that  $\theta_{SH} = \theta_{SL} = \theta_{SE} = \theta_0 = 2$ ,  $R_{\hat{H}} = R_{\hat{L}} = R$  (bps/Hz), and  $T = 100$ .

Fig. 2 depicts SOP of user  $\hat{L}$ , i.e.,  $P_{\hat{L}}$ , versus  $\gamma_s$ , in which different values of  $N$  are considered. From this figure, we can see that the improvement in the secrecy performance of user  $\hat{L}$  ( $P_{\hat{L}}$  decreases) can be observed as  $\gamma_s$  and  $N$  increase. Furthermore, the results of secrecy diversity order of user  $\hat{L}$  in (38) and this figure indicate when  $m_l$  and  $N$  increase, the secrecy performance of user with low priority can be significantly improved in case of  $\gamma_s \rightarrow \infty$ .

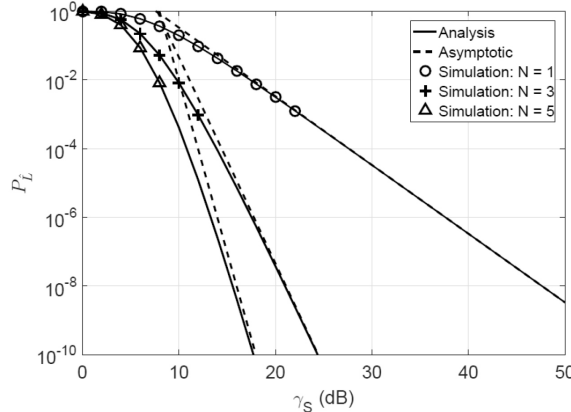


Fig. 2.  $P_{\hat{L}}$  v.s.  $\gamma_s$  with different values of  $N$ , where  $\gamma_E = 5$  (dB),  $a_{\hat{H}} = 0.7$ ,  $a_{\hat{L}} = 0.3$ ,  $M = 2$ ,  $m_{\hat{H}} = m_{\hat{L}} = m_E = m_0 = 2$ .

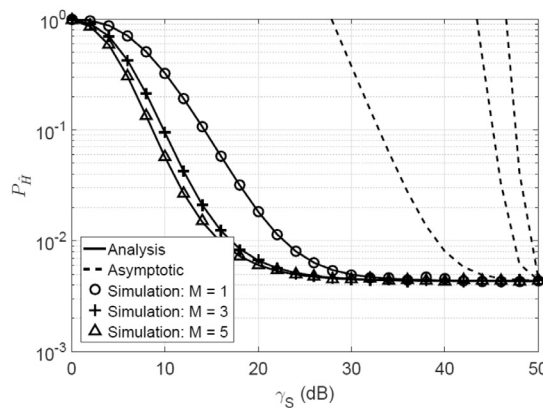


Fig. 3.  $P_{\hat{H}}$  v.s.  $\gamma_s$  with different values of  $M$ , where  $\gamma_E = 5$  (dB),  $a_{\hat{H}} = 0.7$ ,  $a_{\hat{L}} = 0.3$ ,  $N = 2$ ,  $m_{\hat{H}} = m_{\hat{L}} = m_E = m_0 = 2$ .

Fig. 3 shows SOP of user  $\hat{H}$ , i.e.,  $P_{\hat{H}}$ , as a function of  $\gamma_s$  for different values of  $M$ . This figure indicates that the secrecy performance of user  $\hat{H}$  is saturated (i.e.,  $P_{\hat{H}}$  is unchanged) when  $\gamma_s \rightarrow \infty$ . This phenomenon validates our calculation of the zero secrecy diversity order of user  $\hat{H}$ , as depicted in Subsection 3.2.1. Moreover, in low  $\gamma_s$  regime, we can observe from Fig. 3 that the increase in  $\gamma_s$  and  $M$  brings the better secrecy performance for user  $\hat{H}$  (i.e.,  $P_{\hat{H}}$  decreases). From Figs. 2 and 3, we conclude that user  $\hat{L}$  has the better secrecy performance compared with user  $\hat{H}$  since perfect SIC is obtained at user  $\hat{L}$ .

Next, we consider the effects of  $M$  and  $N$  on the overall secrecy performance, i.e.,  $P_{overall}$ , as shown in Fig. 4. Specifically, one can see that the increase in  $M$  and  $N$  leads to the reduction of  $P_{overall}$ , where  $M$  has larger effect on  $P_{overall}$  than  $N$ . In the other words, the number of users with high priority (cluster  $H$ ) have the higher impact on overall secrecy performance than that with low priority (cluster  $L$ ). Furthermore, similar to the result in Fig. 3, the overall secrecy performance achieves the saturation status when  $\gamma_s \rightarrow \infty$ .

To examine the impact of fading parameters  $\{m_{\hat{H}}; m_{\hat{L}}; m_E\}$  on overall secrecy performance, Fig. 5 is provided. One can observe that the overall secrecy performance can be improved by increasing values of fading parameters of  $S \rightarrow \hat{H}$  and  $S \rightarrow \hat{L}$  legitimate links, i.e.,  $\{m_{\hat{H}}; m_{\hat{L}}\}$ , and decreasing that of  $S \rightarrow E$  illegitimate link, i.e.,  $m_E$ . It can be explained that the better legitimate channel conditions and the worse illegitimate channel condition are obtained as  $\{m_{\hat{H}}; m_{\hat{L}}\}$  scales up and  $m_E$  scales down. Specifically, when  $m_v = 1$  ( $V \in \{\hat{H}, \hat{L}, E\}$ ),  $S \rightarrow V$  channel is in the worst case, i.e., Rayleigh fading. Meanwhile, when  $m_v > 1$ ,  $S \rightarrow V$  channel becomes Nakagami with parameters  $m_v$  or approximate Rician with parameters  $K_v$ , in which  $m_v = (K_v + 1)^2 / (2K_v + 1)$ .

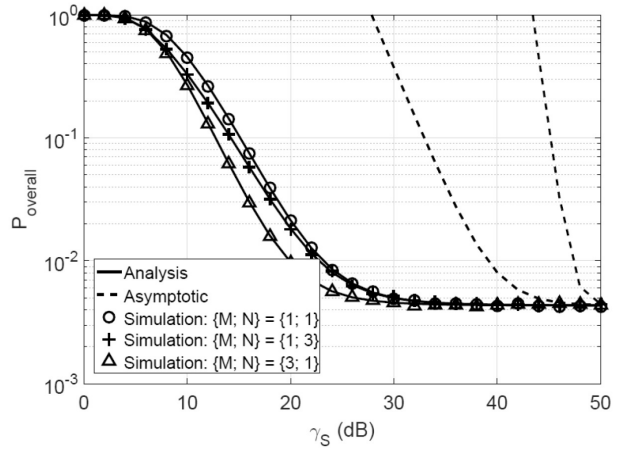


Fig. 4.  $P_{overall}$  v.s.  $\gamma_s$  with different values of  $M$  and  $N$ , where  $\gamma_E = 5$  (dB),  $a_{\hat{H}} = 0.7$ ,  $a_{\hat{L}} = 0.3$ ,  $m_{\hat{H}} = m_{\hat{L}} = m_E = m_0 = 2$ .

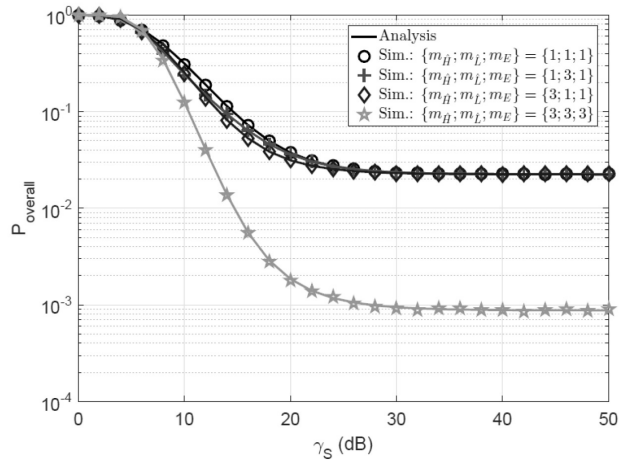


Fig. 5.  $P_{overall}$  v.s.  $\gamma_s$  with different values of  $\{m_{\hat{H}}; m_{\hat{L}}; m_E\}$ , where  $\gamma_E = 5$  (dB),  $a_{\hat{H}} = 0.7$ ,  $a_{\hat{L}} = 0.3$ ,  $M = N = 2$ .

In Fig. 6, we carry out the comparison between our proposed user selection solution, i.e., best high-priority user - best low-priority user (BH-BL), and other methods, i.e., BH - worst low-priority user (BH-WL), worst high-priority user - BL (WH-BL), and random high-priority user - random low-priority user (RH-RL). It is obvious to see from this figure that the best secrecy performance is obtained by using BH-BL. In contrast, the worst secrecy performance is observed in case of utilizing WH-BL. This reveals that the effect of user  $\hat{H}$  on the overall secrecy performance is larger than that of user  $\hat{L}$ .

To clarify the benefits of our proposed

communication protocol compared with conventional one in [16], Fig. 7 is provided. From this figure, one can observe that our protocol outperforms the method in [16] in terms of the overall secrecy performance. This is because in our protocol, eavesdropper is assumed to be affected by the interference originated from superposed signals in multi-user data decodability process. Meanwhile, the protocol in [16] is performed under the ideal assumption that eavesdroppers are not impacted by this interference, and this leads to the decrease in secrecy performance.

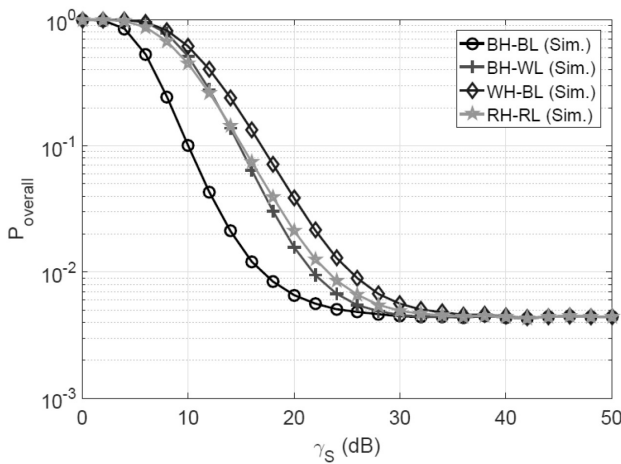


Fig. 6. Overall secrecy performance comparison between user selection solutions.

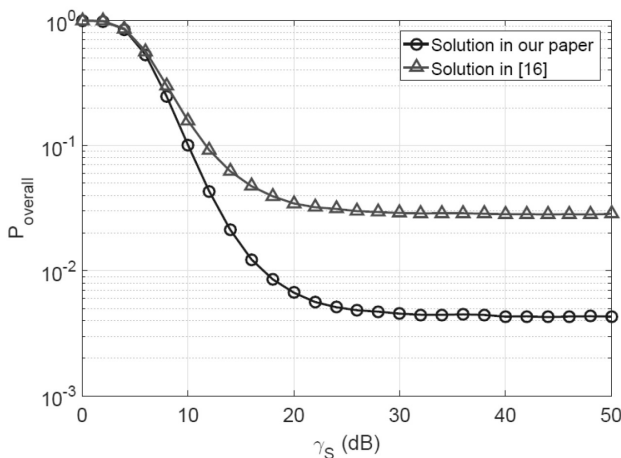


Fig. 7. Overall secrecy performance comparison between communication protocols.

## 5. Conclusion

In this paper, we have studied a secure communication protocol in a QoS-based NOMA system, where Nakagami- $m$  fading and user selection solution are investigated. Specifically, we have considered a circumstance that the source broadcast the mixed messages to two LUs clusters with different priority, i.e., high-priority LU cluster  $H$  and low-priority LU cluster  $L$ , in the presence of a passive eavesdropper. To strengthen the secrecy performance, we have considered a user selection solution for two-user NOMA transmission, in which one user in cluster  $H$  and one user in cluster  $L$ , which have the best channel conditions, are chosen. To characterize the secrecy performance, we have derived the analytical and asymptotic expressions of the secrecy outage probability and carried out the secrecy diversity order analysis for LUs and overall system. Our analytical results verified by Monte-Carlo simulation have indicated that the better secrecy performance can be obtained in case of increasing the number of users of two LU clusters and our proposed protocol achieves higher secrecy performance compared with the conventional scheme.

## Appendix A

### Proof of Theorem 1

From (26), the SOP of user  $\hat{H}$  is expressed as

$$P_{\hat{H}} = \int_0^{\infty} f_{\gamma_{S\hat{H}}^{x,\hat{H}}}(x) F_{\gamma_{S\hat{H}}^{x,\hat{H}}}(2^{R_{\hat{H}}}x + 2^{R_{\hat{H}}} - 1) dx, \quad (41)$$

where  $F_{\gamma_{S\hat{H}}^{x,\hat{H}}}(v_{x,\hat{H}})$  is given by

$$F_{\gamma_{S\hat{H}}^{x,\hat{H}}}(v_{x,\hat{H}}) = \begin{cases} 1, & x \geq \beta \\ 1 + \sum_{i=1}^M \sum_{U=i} \Psi_{\hat{H}} \left( \frac{g_{v_{x,\hat{H}}}}{\gamma_S} \right)^{\phi_{\hat{H}}} e^{-\frac{im_{\hat{H}} g_{v_{x,\hat{H}}}}{\lambda_{S\hat{H}} \gamma_S}}, & x < \beta \end{cases}, \quad (42)$$

where  $\beta = \frac{\alpha + 1}{2^{R_{\hat{H}}}} - 1$ ,  $v_{x,\hat{H}} = 2^{R_{\hat{H}}}x + 2^{R_{\hat{H}}} - 1$ .

By substituting (42) into (41),  $P_{\hat{H}}$  can be rewritten as

$$\begin{aligned}
 P_{\hat{H}} &= \int_0^{\beta} f_{\gamma_{SE}^{x_{\hat{H}}}}(x) F_{\gamma_{SH}^{x_{\hat{H}}}}(v_{x,\hat{H}}) dx + \int_{\beta}^{\alpha} f_{\gamma_{SE}^{x_{\hat{H}}}}(x) F_{\gamma_{SH}^{x_{\hat{H}}}}(v_{x,\hat{H}}) dx \\
 &= 1 + \sum_{i=1}^M \sum_{U=i} \sum_{k=0}^{m_E-1} \frac{m_E^k a_{\hat{H}} \Psi_{\hat{H}}}{k! (\gamma_E \lambda_{SE})^k \gamma_S^{\phi_{\hat{H}}}} \int_0^{\beta} \underbrace{\frac{g_x^{k-1} g_{v_{x,\hat{H}}}^{\phi_{\hat{H}}}}{(\gamma_S \lambda_{SE})^k} e^{-\frac{im_{\hat{H}} g_{v_{x,\hat{H}}}}{\gamma_S \lambda_{SE}} - \frac{m_E g_x}{\gamma_E \lambda_{SE}} \left[ \frac{m_E g_x}{\gamma_E \lambda_{SE}} - k \right]}}_{W_{\hat{H}}(x)} dx,
 \end{aligned} \tag{43}$$

where (\*) is obtained under the condition that  $\beta \leq \alpha$ ,  $\forall R_{\hat{H}} \geq 0$ . It is challenging to obtain the exact expression for the integral in (43). Therefore, an approximation is proposed by employing the following Gaussian-Chebyshev quadrature [24]

$$\int W_{\hat{H}}(x) dx \approx \frac{\pi \beta}{2} \sum W_{\hat{H}} \left[ \frac{\beta(\delta)}{2} \right] \sqrt{1-}. \tag{44}$$

Finally, the final expression of  $P_{\hat{H}}$  is obtained as in (27) by applying (44) to (43). The proof is completed.

### Appendix B

#### Proof of Theorem 2

Based on (26), the SOP of user  $\hat{L}$  is expressed as

$$\begin{aligned}
 P_{\hat{L}} &= \int_0^{\infty} f_{\gamma_{SE}^{x_{\hat{L}}}}(x) F_{\gamma_{SL}^{x_{\hat{L}}}}(2^{R_L} x + 2^{R_L} - 1) dx \\
 &= 1 + \frac{m_E^{m_E}}{\Gamma(m_E) (a_{\hat{L}} \gamma_E \lambda_{SE})^{m_E}} \sum_{i,U,k} \binom{\phi_{\hat{L}}}{k} \frac{\Psi_{\hat{L}} 2^{kR_L} (2^{R_L} - 1)^{\phi_{\hat{L}} - k} e^{-\frac{im_{\hat{L}} (2^{R_L} - 1)}{\lambda_{SL} a_{\hat{L}} \gamma_S}}}{(a_{\hat{L}} \gamma_S)^{\phi_{\hat{L}}}} \int_0^{\infty} x^{m_E + k - 1} e^{-\left( \frac{im_{\hat{L}} 2^{R_L}}{\lambda_{SL} a_{\hat{L}} \gamma_S} + \frac{m_E}{a_{\hat{L}} \gamma_E \lambda_{SE}} \right) x} dx.
 \end{aligned} \tag{44}$$

The final expression for  $P_{\hat{L}}$  is achieved as in (28) by using upper incomplete Gamma function [21, Eq. 8.350.2] to calculate the integral in (45).

#### Acknowledgment

This work was supported by Vietnam National Foundation for Science and Technology Development (NAFOSTED) under Grant 102.04-2017.301.

#### References

- [1] Y. Saito, Y. Kishiyama, A. Benjebbour, T. Nakamura, *et al.*, "Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access," in *Proc. Vehi. Tech. Conf. (VTC Spring)*, June 2013.
- [2] L. Dai, B. Wang, Y. Yuan, S. Han, C.-L. I, Z. Wang, "Nonorthogonal multiple access for 5G: Solutions, challenges, opportunities, and future research trends," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, pp. 74-81, 2015.
- [3] Y. Liu, Z. Ding, M. ElKashlan, H.V. Poor, "Cooperative nonorthogonal multiple access with simultaneous wireless information and power transfer," *IEEE Journal on Selected Areas in Commun.*, vol. 34, no. 4, pp. 938-953, 2016.
- [4] A. Gupta, R.K. Jha, "A survey of 5G network: Architecture and emerging technologies," *IEEE Access*, vol. 3, pp. 1206-1232, 2015.
- [5] E. Hossain, M. Hasan, "5G cellular: Key enabling technologies and research challenges," *IEEE Instrum. Meas. Mag.*, vol. 18, no. 3, pp. 11-21, 2015.
- [6] T. Nakamura, A. Benjebbour, Y. Kishiyama, S. Suyama, *et al.*, "5G radio access: Requirements, concept, experimental trials," *IEICE Trans. Commun.*, vol. 98, no. 8, pp. 1397-1406, 2015.
- [7] Z. Ding, Z. Yang, P. Fan, H.V. Poor, "On the performance of non-orthogonal multiple access in 5G systems with randomly deployed users," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 21, no. 12, pp. 1501-1505, 2014.
- [8] Z. Ding, M. Peng, H.V. Poor, "Cooperative non-orthogonal multiple access in 5G systems," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 19, no. 8, pp. 1462-1465, 2015.
- [9] Z. Ding, P. Fan, H.V. Poor, "Impact of user pairing

- on 5G non-orthogonal multiple access downlink transmission,” *IEEE Trans. Vehi. Tech.*, vol. 65, no. 8, pp. 6010-6023, 2016.
- [10] M. Bloch, J. Barros, M.R. Rodrigues, S.W. McLaughlin, “Wireless information-theoretic security,” *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 54, no. 6, pp. 2515-2534, 2008.
- [11] N. Yang, P.L. Yeoh, M. ElKashlan, R. Schober, I.B. Collings, “Transmit antenna selection for security enhancement in MIMO wiretap channels,” *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 61, no. 1, pp. 144-154, 2013.
- [12] D.-D. Tran, D.-B. Ha, V.-T. Ha, E.-K. Hong, “Secrecy analysis with MRC/SC-based eavesdropper over heterogeneous channels,” *IETE Journal of Research*, vol. 61, no. 4, pp. 363-371, 2015.
- [13] C.E Shannon, “Communication theory of secrecy systems,” *Bell System Technical Journal*, vol. 28, pp. 65-715, 1949.
- [14] Y. Zhang, H. M. Wang, Q. Yang, and Z. Ding, “Secrecy sum rate maximization in non-orthogonal multiple access,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, no. 5, pp. 930-933, 2016.
- [15] Z. Qin, Y. Liu, Z. Ding, Y. Gao, M. ElKashlan, “Physical layer security for 5g non-orthogonal multiple access in large-scale networks,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, May 2016.
- [16] Y. Liu, Z. Qiu, M. ElKashlan, Y. Gao, L. Hanzo, “Enhancing the physical layer security of non-orthogonal multiple access in large-scale networks,” *IEEE Trans. on Wire. Commun.*, vol. 16, no. 3, pp. 1656-1672, 2017.
- [17] H. Lei, J. Zhang, K.H. Park, P. Xu, *et al.*, “On secure NOMA systems with transmit antenna selection schemes,” *IEEE Access*, vol. 5, pp. 17450-17464, 2017.
- [18] D.-D. Tran, D.-B. Ha, “Secrecy Performance Analysis of QoS-based Non-Orthogonal Multiple Access Networks Over Nakagami- $m$  Fading,” in *Proc. Int. Conf. Recent Advances in Signal Processing, Telecommunication & Computing (SigTelCom)*, Ho Chi Minh City, Vietnam, 2018.
- [19] Z. Ding, H. Dai, H.V. Poor, “Relay selection for cooperative NOMA,” *IEEE Wire. Commun. Lett.*, vol. 5, no. 4, pp. 416-419, 2016.
- [20] X. Zhang, X. Zhou, M.R. McKay, “Enhancing secrecy with multi-antenna transmission in wireless ad hoc networks,” *IEEE Trans. on Forensics and Security*, vol. 8, no. 11, pp. 1802-1814, 2013.
- [21] Gradshteyn, and I. Ryzhik, “Table of Integrals, Series, and Products,” 7th ed., *Academic Press*, 2007.
- [22] L. Fan, N. Yang, T.Q. Duong, M. ElKashlan, G.K. Karagiannidis, “Exploiting direct links for physical layer security in multiuser multirelay networks,” *IEEE Trans. Wire. Commun.*, vol. 15, no. 6, pp. 3856-3867, 2016.
- [23] H. Chen, Y. Li, J.L. Rebelatto, B.F. Ucha-Filho, B. Vucetic, “Harvest-then-cooperate: Wireless-powered cooperative communications,” *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 63, no. 7, pp. 1700-1711, 2015.
- [24] F.B. Hildebrand, “Introduction to numerical analysis,” *Dover Publications*, 1987.



# Application of biochar in removing heavy metals: a mini review

## Tổng quan về ứng dụng than sinh học trong xử lý kim loại nặng

Tran Thi Kieu Ngan<sup>a</sup>, Le Thi Thanh Nhi<sup>b</sup>, Le Van Thuan<sup>b,\*</sup>  
Trần Thị Kiều Ngân, Lê Thị Thanh Nhi, Lê Văn Thuận

<sup>a</sup>Faculty of Environmental and Chemical Engineering, Duy Tan University, Danang, Vietnam

Khoa Môi trường & Công nghệ Hóa, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

<sup>b</sup>Center for Advanced Chemistry, Institute of Research and Development, Duy Tan University, Danang, Vietnam

Trung tâm Hóa học tiên tiến, Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ cao, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

(Ngày nhận bài: 15/07/2019, ngày phản biện xong: 20/07/2019, ngày chấp nhận đăng: 20/8/2019)

### Abstract

Biochar derived from biomass can be used as a valuable material for soil improvement, water treatment, renewable energy production and carbon sequester. It is potential adsorbent which is widely used to eliminate heavy metals due to its large specific surface area, pore structure, low cost, simple preparation, easy modification and availability of raw materials. The aim of this paper is to demonstrate general methods for producing biochar, recent development and findings on application of biochar synthesized from biowaste for removal of heavy metals in wastewater. Adsorption ability and removal mechanisms of biochar for heavy metals are also tabulated for ease of reference, followed by future prospect of biochar application for wastewater treatment in Vietnam.

*Keywords:* Biochar, heavy metals, wastewater treatment, adsorption, biomass

### Tóm tắt

Than sinh học (TSH) được chế tạo từ quá trình cacbon hóa sinh khối là vật liệu có giá trị cao trong việc cải tạo nguồn đất, xử lý nước cũng như sản xuất năng lượng tái tạo và cô lập cacbon. TSH được sử dụng rộng rãi trong loại bỏ kim loại nặng trong nước thải do sở hữu những tính chất đặc biệt như có cấu trúc xốp, diện tích bề mặt riêng lớn, dễ biến tính, giá thành thấp, dễ tổng hợp và nguồn nguyên liệu có sẵn trong tự nhiên. Mục đích của bài báo này là tóm lược những phương pháp phổ biến dùng để sản xuất TSH và những nghiên cứu gần đây về loại bỏ kim loại nặng bằng TSH được tổng hợp từ phế thải nông nghiệp. Dung lượng hấp phụ và cơ chế hấp phụ của TSH đối với kim loại nặng được thảo luận chi tiết. Ngoài ra, tiềm năng ứng dụng loại vật liệu này cho xử lý nước thải ở Việt Nam cũng được đề cập.

*Từ khóa:* Than sinh học, kim loại nặng, xử lý nước thải, hấp phụ, sinh khối

### 1. Introduction

Water pollution caused by heavy metals is one of the major environmental issues all over the world. Common heavy metals like zinc (Zn), nickel (Ni), copper (Cu), lead (Pb), chromium (Cr), cadmium (Cd), arsenic (As) are originated from various industrial sources such as battery

assembling, textile processing, chemical manufacturing, mining, electroplating, etc. [1]. They are considered a major risk associated with several health diseases such as multiple sclerosis, Parkinson's disease, Alzheimer's disease, muscular dystrophy, and even cancer [2]. There are various methods to remove heavy metals from



wastewater including chemical precipitation, coagulation, filtration, ion exchange, membrane separation, flotation, and chemical neutralization [3]. These technologies encounter typical disadvantages of high energy consuming, high operating and maintenance cost, and incomplete treatment [1]. Adsorption is known as one of alternative treatment procedures with many benefits, for example, this is simple, convenient, cost-effective and eco-friendly method [4]. Numerous types of adsorbents like zeolite, commercial activated carbon and metal organic frameworks have been explored for heavy metal treatment. However, the application of these materials is faced with several disadvantages of secondary pollution, complex production procedures and high cost. Therefore, it is necessary to find accordant materials with wide application for wastewater treatment system.

Biomass has shown as considerable potential adsorbent material for heavy metal removal from aqueous solution [5]. Using biomass for water treatment has some of the advantages such as good adsorption capacity, low cost, free availability and easy regeneration. A wide variety of biomass has been prepared from different materials utilizing agricultural wastes as well as industrial, municipal wastes and natural sources [6]. However, the high moisture content of biomass makes it difficult to store, transport and handle. Moreover, the removal efficiency of raw biomass materials is pretty low [7]. Such problems do not exist in biochar, which is a carbon - rich material fabricated from low-priced biomass residues. In the recent years, biochar has been used extensively in water contamination control due to its high levels of chemical and mechanical stability, qualified porosity, large specific surface area and abundance of different surface functional groups [8]. Due to such outstanding characteristics, biochar expresses high capacity for heavy metal removal from aqueous solution. Using of biochar as low-cost

adsorbent not only reduces the cost of waste disposal but also contributes environmental protection [8]. Furthermore, biochar can be reused several times after regeneration to enable to reduce treatment cost [9]. In this article, the preparation methods and application of biochar in removing heavy metals were discussed. At the same time, mechanism of heavy metal removal using biochar and prospect of biochar application in Vietnam was also reviewed.

## 2. Production of biochar

Biochar production from various types of biomass allows to give the products carrying different physical and chemical properties. Temperature, content of fixed carbon, ash, and volatile components can be considered important factors which affect the final product properties. There are four main ways to prepare biochar from biomass including pyrolysis, torrefaction, gasification and hydrothermal carbonization [11]. With pyrolysis, biomass is heated from 300 to over 650°C in the absence of oxygen. Three products generated from this procedure are carbon – rich solid, a condensed liquid phase and non – condensable gas ( $H_2$ , CO,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ). Based on pyrolysis temperature, time and heating rate, pyrolysis can be divided into slow pyrolysis, rapid pyrolysis and “flash” pyrolysis [8]. With lower temperature and slower heating rate, the content of solid product is up to 35%.

Gasification is a process of combustion of biomass at high temperature 600 – 1200°C. This process produces about 10% biochar and mixture of gases such as CO,  $H_2$ ,  $CO_2$ . Torrefaction is thermal method which can produce biomass in lower temperature (200 – 300°C) with a period of time from 30 minutes to 2 hours. It is also known as mild pyrolysis. Products of this way are not truly biochar, and have properties between biomass and biochar. In other way, hydrothermal carbonization also known as wet pyrolysis, occurs at temperature from 180°C to 250°C in biomass – water mixture

under elevated pressure for 1 to 12 hours. Products of this process include solid particles – hydrochar, biooil mixed with water and small fraction of gas (mainly CO<sub>2</sub>) [11]. Its limitation is high preparation cost for high speed pressure and high temperature of expensive reactor [8]. Therefore, it is difficult to popularize in industrial scale.

### 3. Recent studies on adsorption of heavy metals onto materials based on biochar

Heavy metal removal in aqueous solution has received much attention from many researchers due to their serious effects on human beings, other living organisms and environment. Most

of heavy metals are non-biodegradable and bioaccumulative in living organisms, extending their impact on the environment even at low concentration. Among them, Ni, Cu, Cd, Pb are considered to be the riskiest contaminants and necessary to treat properly before entering environment [12].

The recent studies on adsorption of Ni(II), Cu(II), Pb(II), Cd(II) into materials based on biochar are listed in Table 1. It is evident that biochar, low-cost materials, has demonstrated outstanding heavy metal removal capacity from aqueous solution in recent researches.

**Table 1.** Adsorption of heavy metals on biochar derived from biomass

Biochar based adsorbent	Contaminant	Q <sub>c</sub> (mg/g)	Reference
Discarded mushroom-stick biochar	Pb (II)	21.00	[13]
	Cu (II)	18.80	
	Cd (II)	11.20	
	Ni (II)	9.80	
Ferromanganese binary oxide–biochar composites	Cu (II)	64.90	[14]
	Cd (II)	101.00	
Na <sub>2</sub> S-modified biochar	Ni(II)	15.40	[15]
Hydroxyapatite-biochar nano-composite	Pb(II)	961.54	[16]
	Cu(II)	854.70	
	Zn(II)	980.39	
Hierarchical birnessite-type MnO <sub>2</sub> /biochar composites	Cu(II)	154.00	[17]
Urea Functionalization of Ultrasound-Treated Biochar	Ni(II)	90.90	[12]
Montmorillonite-biochar composite	Cu(II)	25.53	[19]
Rice straw biochar	Cu(II)	17.70	[20]
KMnO <sub>4</sub> and KOH-modified peanut shell biochar	Ni(II)	87.15	[21]
Rice straw biochar	Pb(II)	198.18	[22]
Banana peel biochar	Cu(II)	59.60- 77.10	[23]
Chitosan modified magnetic kelp biochar	Cu (II)	63.52 – 69.37	[24]
Date seed derived biochar	Cu(II)	26.94	[25]
	Ni(II)	19.64	

For example, Poo et al. reported that biochars from *S. Jabonica* (SJB), *S. Fusiforme* (SFB)

and Pinewood sawdust (PSB) were effective in removing Cu(II), Cd(II), Zn(II) mainly through

precipitation and complexation mechanism. Biochar from SJB revealed the largest adsorption capacity for heavy metals compared the rest of biochars. Maximum adsorption capacity of SJB was revealed at 84.30 mg Zn(II)/g, 98.60 mg Cu(II)/g and 60.60 mg Cd(II)/g while removing three heavy metals using SFB obtained 43.00 mg Zn(II)/g, 94.10 mg Cu(II)/g, 37.20 mg Cd(II)/g. The Zn(II), Cu(II) and Cd(II) removal capacities of PSB were only 5.15 mg/g, 8.86 mg/g and 5.04 mg/g, respectively [12].

Shen et al. found that the pyrolysis temperature has affected on the adsorption characteristics and mechanism of Pb (II) on rice straw biochar (RSB). In detail, Pb(II) removal capacities of biochars prepared at 300°C, 500°C and 700°C were 100.28 mg/g, 164.62 mg/g and 198.18 mg/g, respectively. The results showed that the higher pyrolysis temperatures caused the higher Pb(II) removal capacities and faster adsorption kinetics. The higher pyrolysis temperature boosted the carbonization process of RSB, leading to form of more alkaline minerals which supported the precipitation of metals to biochar surfaces. Precipitation was a main mechanism to immobilize Pb(II) ions on RSB [22].

Lee et al. examined the heavy metal adsorption efficiency of biochars derived from the ginkgo (*spiraea blumei*) leaf (GB), peanut shell (PB) and metasequoia leaf (MB). They suggested that GB adsorbed Pb(II) and Cu(II) better than others. Particularly, the maximum adsorption capacities of GB for Pb(II) and Cu(II) were 138.90 mg/g and 59.90 mg/g, respectively. The Pb(II) removal mechanism involved adsorption with surface precipitation while the Cu(II) removal was achieved by adsorption of Cu(II) ions on oxygen containing functional groups [3].

The study performed by Mahdi et al. provided an adsorption capacity of Ni(II) and Cu(II) on date seed derived biochar at different temperatures (350-550°C), 1- 3h heating times and different particle

sizes [25]. Batch experiments revealed that the maximum adsorption capacities of biochar prepared at 550°C and heating time of 3h with particle size range of 0.6 – 1.4 mm towards Cu(II) and Ni(II) ions were 26.94 mg/g and 19.64 mg/g, respectively. Jung et al. synthesized hierarchically structured birnessite-type MnO<sub>2</sub>/biochar composites ( $\delta$  – MnO<sub>2</sub>/BCs) using hydrothermal method. The synthesized  $\delta$  – MnO<sub>2</sub>/BCs were used to adsorb Cu(II) from aqueous media at different temperatures (15, 25, 35, 45°C) and gave a maximum capacity of 230 mg/g at 45°C. The study also reported the regeneration of the  $\delta$  – MnO<sub>2</sub>/BCs for the removal of Cu(II) from solution. As a result, without regeneration, the adsorption capacity of the  $\delta$  – MnO<sub>2</sub>/BCs significantly decreased to 8.48 mg/g, which was indicative of binding site saturation while there was no significant reduction of adsorption performance in the regeneration process where adsorption capacity of the  $\delta$  – MnO<sub>2</sub>/BCs only reduced by 3% after five cycles of adsorption – desorption [17].

Zhou also improved the adsorption of Cu(II) and Cd(II) ions on ferromanganese binary oxide–biochar composites (FMBC) prepared by impregnation/sintering methods. The FMBC obtained maximum heavy metal adsorption capacity of 64.90 mg Cu(II)/g and 101.00 mg Cd(II)/g. Besides, the X-ray photoelectron spectroscopy and Fourier transform infrared analysis indicated that inner sphere complexation was the main mechanism for uptake of these heavy metals on FMBC composites [14]. Remarkably, Wang et al. reported that a hydroxyapatite–biochar nanocomposite (HAP-BC) could seek as an excellent material for prospective application in Pb(II), Cu(II) and Zn(II) treatment. HAP-BC was fabricated based on biochar derived from rice straw. The measured adsorption amounts of HAP –BC were 961.54 mg Pb(II)/g, 854.70 mg Cu(II)/g and 980.39 mg Zn(II)/g [16]. Hu et al. used of Na<sub>2</sub>S-modified biochar prepared from corncob at 450

°C (MCC) for Ni(II) adsorption with the highest capacity being 15.40 mg/g. The ion exchange and physical adsorption were the dominant adsorption mechanism for Ni(II) on MCC biochar. The results showed that Evolich model fit adsorption process in which the chemical equilibrium was attained within 24-hour reaction period. The adsorption performance was affected by pH, temperature and coexisting ions [15].

Gazi used co-precipitation method to prepare magnetic biocomposite (MB) from palm seed – based biochar in the existence of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> particles. This study revealed that MB could remove Ni(II) with maximum capacity of 28.00 mg/g at pH3. This material can be separated from the treated solution due to micro-mesoporous character and high saturation magnetization [26].

An et al. synthesized biochar from peanut shell and modified it with KMnO<sub>4</sub> and KOH. It was found that KMnO<sub>4</sub> and KOH modified peanut shell biochar (MBC) can display excellent Ni(II) adsorption (87.15 mg/g). It is confirmed that MBC can be used as promising adsorbent to remove heavy metals, especially Ni(II) removal. The adsorption mechanism of this modified biochar was mainly co-precipitation (complexed NiO) and complexation (-NH<sub>2</sub>-Ni) [21]. Wang et al. explored that the mixed heavy metals (Cu, Pb, Cd, Ni) can be removed by using discarded mushroom-stick biochar (DMB). The DMB was prepared at the different temperatures from 300°C to 800°C. The study showed that the maximum adsorption capacities of Pb(II), Cu(II), Cd(II) and Ni(II) obtained by DMB (800°C) were 21.0, 18.8, 11.2 and 9.8 mg/g, respectively [13].

Overall, it may be concluded that biochar, high efficiency, environmental- friendly and low-cost adsorbent has attracted much attention in water treatment field. So it can be considered to be a bright material to treat wastewater. The directions were made for the better handlings of biochar in the future.

#### 4. Heavy metal removal mechanism of biochar

Different removal mechanisms of heavy metals on biochar can be listed including surface adsorption, electrostatic interaction, ion exchange, precipitation and complexation [27] (Table 2). Surface adsorption is known to be physical adsorption. This is a factor involving a diffusion of metal ions into the adsorbent pores to form chemical bonds. This mechanism controls and attributes the maximum adsorption capacity of metals on biochar. For example, according to Jiang et al., the surface adsorption may be involved in Zn(II) and Cu(II) adsorption on soft wood and hard wood biochars [28]. The density of negative charge on the carbon surface increased by increasing solution pH. This increase of negative charge has caused the adsorption of heavy metals on the surface.

Moreover, electrostatic interaction is affected by point of zero charge (pzc) of biochar and the solution pH. Electrostatic interaction between charged biochar and heavy metals help to limit the mobilization of heavy metals. In study of Shen et al., this interaction was also observed to be a main mechanism for Ni(II) adsorption on biochar prepared from mixed soft wood pellets and Miscanthus straw pellets [29].

**Table 2.** Removal mechanism of heavy metals onto materials based on biochar

Feedstock	Heavy metals	Adsorption mechanism	Adsorption capacity (mg/g)	Pyrolysis temperature (°C)	Reference
Rape straw	Cd(II)	Ion exchange	81.10	600	[30]
Corn stem	As(III)	Surface adsorption	8.25	620	[31]



Celery bio-mass	Pb(II)	Ion exchange, complexation, precipitation	288.00- 304.00	350-500	[20]
Rice straw	Cr(V)	Electrostatic attraction	40.00	400	[33]
Pine cone	Ni(II)	Precipitation Electrostatic attraction	106.40-117.70	500	[34]
Banana peel	Cu(II)	Electrostatic attraction	59.60- 77.10	200-600	[23]
Banana peel	Pb(II)	Ion exchange Complexation	100.69 -241.94	600	[35]
Marine algal biomass	Cu(II)	Ion exchange	63.52 – 69.37	500	[24]

Ion exchange is an exchange of ions between two electrolytes or between an electrolyte solution and a complex. Bond characteristic, charge difference and ionic radii are considered to be important for this process. Cation exchange is a significant measure for metal adsorption mechanism [28]. Complexation is another mechanism involving the arrangement of mutilation formation such as complexes with specific metal ligand. Functional groups such as carboxyl, phenolic, lactonic demonstrated high binding with heavy metals. The formation of complexes of heavy metals is more convenient for biochar from plant than the one prepared from an animal feed stock [27].

### 5. The prospect of heavy metal treatment using biochar in Vietnam

Vietnam is one of the developing countries where economic development has heavily depended on the agriculture. Releasing a large amount of agricultural waste such as farm wastes, manure, the remains from the production and harvest of grains, vegetables and fruits annually has caused a big environmental problem to be settled in this country. For example, according to General Statistics Office of Vietnam, Vietnam rice production in 2018 was about 83 million tons with estimated rice straw generation of 26.55

million dry tons. Similarly, in 2018, coffee husk generated from the processing of coffee was also estimated to contribute to the agricultural waste, 0.77 million tons. So, utilizing these resources for biochar production has both environmental significance and economic benefits. Many reports have shown that using materials based on biochar for removal of heavy metals has received a widely attention from many researchers all over the world. Especially, for developing or poor countries, including Vietnam, efforts to develop low-priced adsorbents using abundant industrial, agricultural wastes, and natural materials are worthy of respect.

### 6. Conclusion

Our review presents the methods to produce biochar from agricultural, natural and industrial waste; recent researches and mechanism of heavy metal removal; and the prospect of using biochar in Vietnam. In general, it can be concluded that biochars are promising materials for removal of heavy metals in wastewater as a result of high surface area, excellent removal capacity for heavy metals, their high levels of chemical and mechanical stability, qualified porosity, and different surface functional groups. Such materials for the treatment of heavy metals could be a potential approach to replace the traditional,

high-priced, unavailable materials. Vietnam is well-endowed with biomass resources, which can be used to produce biochar. Unfortunately, environmental pollution in this country has been increasingly worsened. Thus, the utilization of biomass waste to produce biochar for wastewater treatment will bring tremendous economic benefits.

## Reference

- [1] Shaheen SM, Niazi NK, Hassan NE, Bibi I, Wang H, Tsang DC, et al. Wood-based biochar for the removal of potentially toxic elements in water and wastewater: a critical review. *International Materials Reviews*. 2018;1:32.
- [2] Mathew B. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. 2014. 60-72 p.
- [3] Lee M-E, Park JH, Chung JW. Comparison of the lead and copper adsorption capacities of plant source materials and their biochars. *Journal of environmental management*. 2019; 236:118-24.
- [4] Jin J, Li S, Peng X, Liu W, Zhang C, Yang Y, et al. HNO<sub>3</sub> modified biochars for uranium (VI) removal from aqueous solution. *Bioresource technology*. 2018; 256:247-53.
- [5] Iqbal M, Khera RA. Adsorption of copper and lead in single and binary metal system onto *Fumaria indica* biomass. *Chem Int*. 2015; 1(3):157b-63b.
- [6] Zwain HM, Vakili M, Dahlan I. Waste material adsorbents for zinc removal from wastewater: a comprehensive review. *International Journal of Chemical Engineering*. 2014;
- [7] Basu P. Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction: practical design and theory: Academic press; 2018.
- [8] Deng Y, Zhang T, Wang Q. Biochar adsorption treatment for typical pollutants removal in livestock wastewater: a review. *Engineering applications of biochar*. 2017:71.
- [9] Zhang H, Yu Z, Huang Q. A Review: Utilization of Biochar for Wastewater Treatment. *Application of Adsorbents for Water Pollution Control*. 2012:413.
- [10] Dai Y, Zhang N, Xing C, Cui Q, Sun Q. The adsorption, regeneration and engineering applications of biochar for removal organic pollutants: A review. *Chemosphere*. 2019.
- [11] Bamdad H, Hawboldt K, MacQuarrie S. A review on common adsorbents for acid gases removal: focus on biochar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;81:1705-20.
- [12] Poo K-M, Son E-B, Chang J-S, Ren X, Choi Y-J, Chae K-J. Biochars derived from wasted marine macroalgae (*Saccharina japonica* and *Sargassum fusiforme*) and their potential for heavy metal removal in aqueous solution. *Journal of environmental management*. 2018; 206:364-72.
- [13] Wang X, Li X, Liu G, He Y, Chen C, Liu X, et al. Mixed heavy metal removal from wastewater by using discarded mushroom-stick biochar: adsorption properties and mechanisms. *Environmental Science: Processes & Impacts*. 2019.
- [14] Zhou Q, Liao B, Lin L, Qiu W, Song Z. Adsorption of Cu (II) and Cd (II) from aqueous solutions by ferromanganese binary oxide–biochar composites. *Science of the total environment*. 2018; 615:115-22.
- [15] Hu, Xiaolan; Xue, Yingwen; Liu, Lina; Zeng, Yifan; Long, Li. Preparation and characterization of Na<sub>2</sub>S-modified biochar for nickel removal. *Environmental Science & Pollution Research* . 2018, Vol. 25 Issue 10, p9887-9895. 9p.
- [16] Wang Y-Y, Liu Y-X, Lu H-H, Yang R-Q, Yang S-M. Competitive adsorption of Pb (II), Cu (II), and Zn (II) ions onto hydroxyapatite-biochar nanocomposite in aqueous solutions. *Journal of Solid State Chemistry*. 2018;261:53-61.
- [17] Jung K-W, Lee SY, Lee YJ. Hydrothermal synthesis of hierarchically structured birnessite-type MnO<sub>2</sub>/biochar composites for the adsorptive removal of Cu (II) from aqueous media. *Bioresource technology*. 2018; 260:204-12.
- [18] Sajjadi B, Broome JW, Chen WY, Mattern DL, Egiebor NO, Hammer N, et al. Urea functionalization of ultrasound-treated biochar: A feasible strategy for enhancing heavy metal adsorption capacity. *Ultrasonics sonochemistry*. 2019; 51:20-30.
- [19] Zhang J, Lu M, Wan J, Sun Y, Lan H, Deng X. Effects of pH, dissolved humic acid and Cu<sub>2</sub><sup>+</sup> on the adsorption of norfloxacin on montmorillonite-biochar composite derived from wheat straw. *Biochemical engineering journal*. 2018;130:104-12.
- [20] Yang Z, Xing R, Zhou W. Adsorption of ciprofloxacin and Cu<sub>2</sub><sup>+</sup> onto biochars in the presence of dissolved organic matter derived from animal manure. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019:1-11.
- [21] An Q, Jiang Y-Q, Nan H-Y, Yu Y, Jiang J-N. Unraveling sorption of nickel from aqueous solution by KMnO<sub>4</sub> and KOH-modified peanut shell biochar: Implicit mechanism. *Chemosphere*. 2019; 214:846-54.
- [22] Shen Z, Hou D, Jin F, Shi J, Fan X, Tsang DC, et al. Effect of production temperature on lead removal mechanisms by rice straw biochars. *Science of the Total Environment*. 2019; 655:751-8.



- [23] Ahmad Z, Gao B, Mosa A, Yu H, Yin X, Bashir A, et al. Removal of Cu (II), Cd (II) and Pb (II) ions from aqueous solutions by biochars derived from potassium-rich biomass. *Journal of cleaner production*. 2018;180:437-49.
- [24] Son E-B, Poo K-M, Chang J-S, Chae K-J. Heavy metal removal from aqueous solutions using engineered magnetic biochars derived from waste marine macro-algal biomass. *Science of the Total Environment*. 2018;615:161-8.
- [25] Mahdi Z, Yu QJ, El Hanandeh A. Investigation of the kinetics and mechanisms of nickel and copper ions adsorption from aqueous solutions by date seed derived biochar. *Journal of environmental chemical engineering*. 2018;6(1):1171-81.
- [26] Gazi M, Oladipo AA, Azalok KA. Highly efficient and magnetically separable palm seed-based biochar for the removal of nickel. *Separation Science and Technology*. 2018; 53(7):1124-31.
- [27] Abbas Z, Ali S, Rizwan M, Zaheer IE, Malik A, Riaz MA, et al. A critical review of mechanisms involved in the adsorption of organic and inorganic contaminants through biochar. *Arabian Journal of Geosciences*. 2018; 11(16):448.
- [28] Jiang S, Huang L, Nguyen TA, Ok YS, Rudolph V, Yang H, et al. Copper and zinc adsorption by softwood and hardwood biochars under elevated sulphate-induced salinity and acidic pH conditions. *Chemosphere*. 2016; 142:64-71.
- [29] Shen Z, Zhang Y, Jin F, Alessi DS, Zhang Y, Wang F, et al. Comparison of nickel adsorption on biochars produced from mixed softwood and Miscanthus straw. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018; 25(15):14626-35.
- [30] Li H, Dong X, da Silva EB, de Oliveira LM, Chen Y, Ma LQ. Mechanisms of metal sorption by biochars: biochar characteristics and modifications. *Chemosphere*. 2017; 178:466-78.
- [31] Lin L, Qiu W, Wang D, Huang Q, Song Z, Chau HW. Arsenic removal in aqueous solution by a novel Fe-Mn modified biochar composite: characterization and mechanism. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2017; 144:514-21.
- [32] Zhang T, Zhu X, Shi L, Li J, Li S, Lü J, et al. Efficient removal of lead from solution by celery-derived biochars rich in alkaline minerals. *Bioresource technology*. 2017; 235:185-92.
- [33] Qian L, Zhang W, Yan J, Han L, Chen Y, Ouyang D, et al. Nanoscale zero-valent iron supported by biochars produced at different temperatures: Synthesis mechanism and effect on Cr (VI) removal. *Environmental pollution*. 2017; 223:153-60.
- [34] Dawood S, Sen TK, Phan C. Synthesis and characterization of slow pyrolysis pine cone bio-char in the removal of organic and inorganic pollutants from aqueous solution by adsorption: kinetic, equilibrium, mechanism and thermodynamic. *Bioresource technology*. 2017; 246:76-81.
- [35] Ahmed MB, Zhou JL, Ngo HH, Johir MAH, Sornalingam K. Sorptive removal of phenolic endocrine disruptors by functionalized biochar: Competitive interaction mechanism, removal efficacy and application in wastewater. *Chemical Engineering Journal*. 2018; 335:801-11.
- [36] Trakal L, Veselská V, Šafařík I, Vítková M, Číhalová S, Komárek M. Lead and cadmium sorption mechanisms on magnetically modified biochars. *Bioresource technology*. 2016; 203:318-24.

## A mini review on carrier development for delivery of anti-cancer oligonucleotide

Tổng quan về nghiên cứu phát triển hệ mang cho các oligonucleotide chống ung thư

Le Thanh Do<sup>a,\*</sup>, Pham Thi Thuy Linh<sup>b</sup>, Nguyen Thi Ha<sup>a</sup>  
Lê Thành Đô, Phạm Thị Thùy Linh, Nguyễn Thị Hà

<sup>a</sup>Center for Molecular Biology, Institute of Research and Development, Duy Tan University, Da Nang, Vietnam  
Trung tâm Sinh học phân tử, Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ cao, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

<sup>b</sup>Department of Medicinal Chemistry, Faculty of Pharmacy, Duy Tan University, Danang, Vietnam  
Bộ môn Hóa dược, Khoa Dược, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

(Ngày nhận bài: 29/06/2019, ngày phản biện xong: 09/07/2019, ngày chấp nhận đăng: 20/8/2019)

### Abstract

Research on oligonucleotide-based drug (OND) development in the last three decades has achieved certain success, with some drugs licensed by the US Food and Drug Administration (FDA). Although research on developing anti-cancer ONDs has not yet resulted in any commercial drug, it has revealed many potential anti-cancer sequences. The results prompted scientists to look for new potential sequences and develop different delivery forms and carriers. In this study, we briefly review approaches in essential steps of anti-cancer OND development. Studies on miR-34a, one of the most interesting oligonucleotide (ON) types and spherical form of ONs, that showed distinct and good properties, are presented in more detail.

*Keywords: miR-34a, micro-RNA-based drug, oligonucleotide carrier, spherical nucleic acid.*

### Tóm tắt

Nghiên cứu phát triển thuốc có bản chất onligonucleotide trong ba thập kỷ gần đây đã đạt được những thành công nhất định, một số thuốc đã được cấp phép bởi Cục quản lý Thực phẩm và Dược phẩm Hoa Kỳ (FDA). Mặc dù nghiên cứu phát triển thuốc oligonucleotide chống ung thư chưa đạt được những thành công như mong đợi nhưng đã bộc lộ nhiều trình tự kháng ung thư tiềm năng. Các kết quả bước đầu đã thôi thúc các nhà khoa học nghiên cứu tìm kiếm thêm những trình tự tiềm năng mới và phát triển các dạng đưa dẫn khác nhau. Trong công bố này, chúng tôi tóm tắt sơ lược kết quả nghiên cứu ở các bước quan trọng trong nghiên cứu phát triển thuốc oligonucleotide chống ung thư. Các nghiên cứu về miR-34a, một trong những dạng trình tự đáng chú ý theo hướng làm thuốc và dạng cầu của các oligonucleotide, dạng đưa dẫn ưu thế, được trình bày cụ thể hơn trong công bố này.

*Từ khóa: miR-34a, thuốc micro-RNA, hệ mang oligonucleotide, dạng cầu của oligonucleotide.*

### 1. Introduction

Oligonucleotide-based drug (OND) is a new type of drug that has just been developed in the past few decades. ONDs attack the specific target RNA in cells and are used to treat genetic diseases

that cannot be cured by conventional drugs. Despite holding a great potential, achievements in their development researches are still limited. There are several obstacles that need to be overcome in OND development including (1)

they are naturally degraded quickly by nucleases; (2) they can be captured by serum proteins and quickly cleared from circulation system; (3) they are not able to penetrate into cells; and (4) they may be “off target” and cause side effects. The first obstacle has been addressed by different chemical modifications on the sugar-phosphate backbone. The oligonucleotides (ONs) were also further modified with polymers or chemical groups reducing their interaction with serum proteins and prolonging their circulation time. To enhance the stability, the penetration, and targeting of ON, scientists have been developing carriers and targeting ligands. Several ONs were approved by FDA, to date, for treatment of virus, high blood cholesterol, or muscular disorders. However, achievements in delivery of ONs in anti-cancer therapy are still limited. Therefore, cancer targeting is hot topic on front-line researches. In this study, we briefly review approaches in carrier development for delivery of ONs into cancer cells.





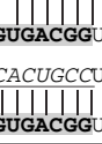
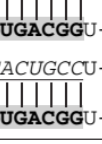
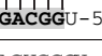
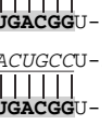
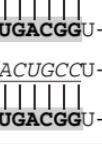

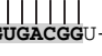
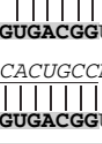
## **2. Oligonucleotides in drug development studies**


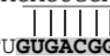
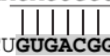

In the last three decades, a new generation of drugs, OND, has been developed. The OND has distinct mechanisms of actions in comparison with conventional drugs [1]. The ONDs target the processing of specific mRNAs, pre-mRNAs or micro-RNAs to alter the gene expression. Therefore, ONDs can be used to treat genetic or metabolic disorders. Different forms of nucleic acids have been used for drug development (figure 1). Among those, ON groups used in drug development researches are named after their mechanisms of actions. Most of the studied ONs are antisense ONs, small interfering RNAs, splice switching ONs, micro-RNAs and antagomirs. They are short double- or single-strand ONs with about 20 to 25 nucleotides in length. For an in-depth overview on the development history of ONDs, please see Lundin K.E. et al. [2].

The first generation of ONs, unmodified RNA or DNA, suffered from quick degradation by cellular nucleases. Moreover, due to their negative

charge in physical conditions, ONs are thus prevented from cellular internalization. To address these problems, scientists have modified ONs in different ways [3]. The chemical modification on ONs can provide them a good protection from nucleases and reduce their interaction with serum proteins. However, ONs still require more complex modifications or cationic carriers for targeting and cellular internalization [4; 5].

There are various steps in the development of ONDs including designing and screening for potential ON, synthesis and chemical modification, carrier development and clinical investigation. In carrier development, scientists use suitable ON for comparison and evaluation of investigated carriers. Referential ONs may be well-known ONs that were developed for switching expression of an expression system (Ex. ON 654, ON 705). However, most of the referential ONs were candidates in previous studies that showed great potential to be future drugs for the treatment of related diseases. The carriers are developed for referential ONs with the hope that they also work for the others. Optimized carriers for specific ONs can also be developed for other ONs with minor changes. Among the most interesting ONs to dates, human microRNA-34a (miR-34a) is dysregulated in various cancers [6; 7; 8]. Restoring its function might inhibit proliferation of cancer cells and promote apoptosis, enhance pharmacological effects of chemo agents [9; 10]. Studies on mechanisms of action of miR-34a [11] have revealed that miR-34a inhibits expression of proteins that support survival of cancer cells and contemporaneously increases the expression of apoptotic proteins [8; 12; 13; 14]. Possessing a key role in cell cycle and apoptosis regulation, miR-34a has been an attractive subject and different miR-34a mimics have been produced [15; 16]. miR-34a mimics can also be used to evaluate delivery efficiency of new delivery forms or carriers into cancer cells. A list of known miR-34a's target sequences and their functions is showed in Table1 [10].

Table 1	Sequences of miR34a's targets and their functions (adapted from Hermeking, 2010).	
Target genes	Complementary sequences of target mRNA (upper) and miR-34a (lower)	Expected biological effect after miR-34a-mediated repression
Bcl-2	5'-UCGAAUCAGCUAUUUACUGCCA-3' 3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 	Apoptosis
CCND1	5'-UUUACA AUGUCAUAUACUGCCA-3' 3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 	G1-arrest
CCNE2	5'-CAAUUCACAAGUUAACACUGCCA-3' 3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 	G1-arrest
CDK4	5'-GUGAGCAAUGGAGUGGUCUGCCA-3' 3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 	G1-arrest
CDK6	5'-UAUAACUACAUAUUGACUGCCA-3' 3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 5'-GCAGUGUGGAAAUUCACUGCCU-3' 3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 	G1-arrest
DLL1	5'-CCGGCCGCCUGCGGCACUGCCU-3' 3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 5'-AUUAGAAACACAAACACUGCCU-3' 3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 	Influence on Notch signaling
E2F3	5'-AAUUAUUUUGUAAACACUGCCA-3' 3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 	Inhibition of proliferation, senescence
MET	5'-UCCAAUGGUUUUUUACACUGCCU-3' 3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 5'-AAUUAAGAUACUUGUCACUGCCU-3' 3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 	G1-arrest, inhibition of invasion and migration
N-MYC	5'-CAAAACUGGACAGUCACUGCCA-3' 3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 5'-UGUACUAAUUCUUACACUGCCU-3' 3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 	G1-arrest
SIRT1	5'-CCAGCUAGGACCAUUAACUGCCA-3' 3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 	Increased p53 acetylation and activation (positive feedback loop)
<b>Genes downregulated after ectopic miR-34 expression</b>		
CDC25C	5'-AAGUCACCAAAAAGACACUGCAG-3' 3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 	G2-arrest
E2F5	5'-UUGUCUUAUAUUUUUACUGCCA-3' 3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 5'-UCCAAACAGACGUUCACUGCCA-3' 3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 	Transcriptional activation

HDMX	5'-CCACUGCACUUGGCCACUGCCA-3'  3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5'	Increased p53 activity
HMGA2	5'-UUGAAGGGAGAAGACACUGCAG-3'  3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5'	Inhibition of proliferation, senescence
Notch1	5'-AUUUUACACAGAAAACACUGCCU-3'  3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5' 5'-UUUCUGGGGAAAGACACUGCCU-3'  3'-UGUUGGUCGAUUCUGUGACGGU-5'	Inhibition of proliferation, apoptosis

### 3. Synthetic carriers for delivery of oligonucleotide-based drugs

Several main obstacles in cellular delivery of ONs are related to membrane barriers including cell membrane, the membrane of intracellular vesicles, and nucleus membrane. In order to ensure a successful delivery, ONs must firstly be internalized by endocytosis into cells and released into the cytosol. Different carriers have been studied for cellular internalization, elongating circulation time and tissue targeting of ONs. Among studied carriers, cationic dendrimers, cationic polymers, and cationic lipids showed advantages for these purposes. Commonly used dendrimers for development of ON carriers and therapeutic agents are poly(amidoamine) (PAMAM), poly(propyleneimine) (PPI) and dendritic poly-L-lysine [17; 18]. They are stepped branching synthesized and have primary amine functional groups on their surfaces. The stepped branching synthesis is suitable for the production of spherical supra-macromolecules that have well-defined structures like the dendrimers. Branching structures of dendrimers provide good loading carriers for small molecular drugs. Surface groups on dendrimers provide a chemical base for wide ranges of modifications for targeting and control releases. In terms of ON delivery, the complex of ONs and dendrimers (figure 1) showed dense oriented effects of ONs, those are new and desirable properties. These good effects were retained in the dendritic form of ONs and will be further discussed in “dendritic nucleic acid” section. However,

the crown atoms and chemical groups inside dendrimer spheres do not allow the ONs to insert into the spheres. The ONs instead only interact with the cationic surfaces and wrap outside the spheres. Hence, the ONs might cover the functional groups and reduce both passive and active cellular internalizations of those mediated by the cationic groups or conjugated ligands. Interactions of ONs and carriers with serum proteins are the other main challenges. These interactions cause off-target and shorten circulation time of ONs. Different polymers, molecules such as polyethylene glycol (PEG), poly(acrylic acid), pluronic acids, etc., have been used to modify carriers to reduce their interaction with serum proteins and achieve better results, especially with PEG. Nevertheless, modifications might also cause increasing sizes of the particles and affect cellular delivery.

Cationic polymers and cationic lipids are also common carriers in the studies on delivery of ONs [19; 20; 21]. From those studies, several commercial products have been developed and are commonly used for delivery of nucleic acids *in vitro* such as lipofectamine, superfect, polyethylenimines, etc. They also showed high potential in clinical applications and have been reviewed in several papers [22; 23]. However, there are still a few challenges such as (1) those cationic lipids are eliminated quickly from circulation by the reticuloendothelial system and that they possibly cause liver damages; and (2) the polymers are also accumulated in the liver and may cause some undesirable effects.



Besides the advantages/disadvantages discussed above, all carriers including dendrimers, polymers, and lipids have a common weakness: the mass ratio of ON to carrier is very low. It means that along with delivery of ONs, large amounts of carriers are also accumulated inside cells/body. Due to the chemical natures of these carriers, they are not readily biodegradable and their toxicity seems to never be completely eliminated.

Many small peptides have been studied for targeted delivery of drugs [24]. The bigger recombinant peptides have also been studied as carriers for delivery of nucleic acids. Among those, histone proteins had been used in several studies for delivery of plasmids [25; 26; 27; 28; 29].

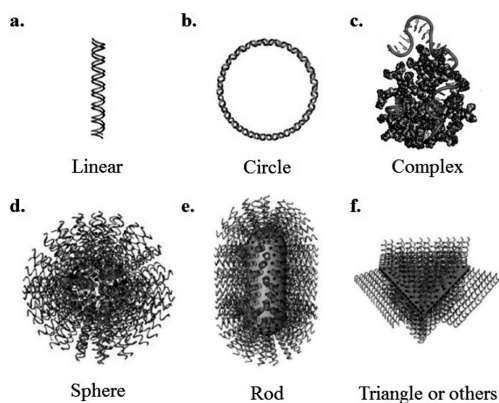


Figure 1. General forms of nucleic acid in drug development: linear form of single or double strand RNA or DNA (a); cycle form of plasmids those express bioactive RNA (b); the complexes of oligonucleotides or plasmids with dendrimers (c); conjugating or assembling oligonucleotides into a sphere (d); conjugation of oligonucleotides onto rod (e), triangle or other templates (f). The final three produce particles that have dense orientation effects.

#### 4. Dendritic nucleic acids

After a long and difficult time dealing with the fast degradation and low cellular internalization, the therapeutic ONs have achieved very important milestones with the approval of several drugs by FDA and others in different clinical trials [1; 30; 31; 32; 33]. In recent years, a new way for delivery of ONs has been developed called the spherical nucleic acids (SNAs) (figure 1). As its name indicates, ONs were conjugated or absorbed onto a nano core and arranged as a sphere. The

dense arrangement of ONs in SNAs improves their resistance to nucleases and enhances their functional properties. One important new property of dense oriented ONs is that they themselves are able to trigger receptor-mediated endocytosis and do not require additional transfection agents [34]. Moreover, studies on SNAs with inorganic cores including Au, Ag, and Silica showed that this form had low toxicity and immune response [35; 36]. The enhanced activities (better properties) of SNAs are somehow core-independent [37]. Beside inorganic core, the polymer and liposome have also been used to produce dendritic forms of ONs. The ONs were conjugated with hydrophobic polymers or tocopherol. The hydrophobic parts serve as the hydrophobic core [38] or insert into hydrocarbon layer of the liposome, arranging ONs into a spherical form [39; 40]. Dendritic forms of ONs can serve as a drug carrier for dual delivery [41] or can be modified with targeting ligands, antibodies for targeting delivery [42]. The dendritic forms of ONs are very interesting and highly potential subjects for the discovery of oligonucleotide-based therapeutics. Some schemes for producing SNA are shown in figure 2.

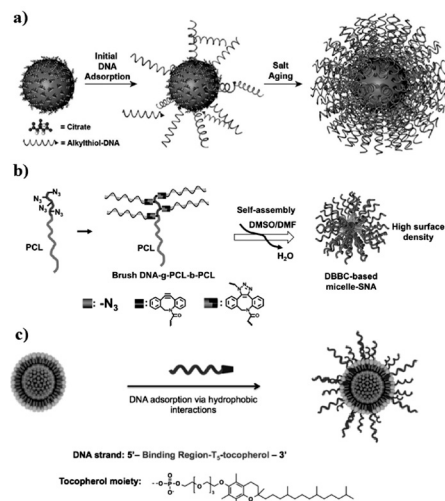


Figure 2. Different ways for preparing spherical nucleic acids. a) conjugation of oligonucleotide on spherical gold or other inorganic templates [35]; b) micelle formation by conjugating oligonucleotide on polycaprolactone or other hydrophobic polymers [38]; and c) conjugating oligonucleotide with tocopherol or similar molecules for insertion of oligonucleotide onto liposome to form spherical nucleic acids [39].



Among templates for producing SNA, organic polymers and dendrimers are commercially available with relatively low cost. Different synthetic methods have been developed to produce conjugates between ONs and polymers, dendrimers by covalent bonds. However, the conjugation of ONs and organic carriers are still a critical challenge due to the complexity of many active groups and a large amount of by-products in each reaction [43; 44]. Up to date, there is no protocol for producing SNAs by conjugating ON and dendrimer, and commercial dendrimers, which have stable spherical structure with well-known chemical bonds and groups, can provide the perfect organic core for production of SNAs but have not yet been used.

### **5. Cellular internalization and trafficking of oligonucleotides**

Some reviews have summarized mechanisms of endocytosis and their effects on the pharmacology of ONs [45; 46; 47]. The best-known pathway of endocytosis is a complex series of events with participation of a G protein couple receptor, clathrin. Through that process, ligand-bound receptors are concentrated on a small area of the cell membrane and then the cells take up the activated receptors and their binding ligands [48]. Other pathways rely on a transmembrane protein caveolin [49] including endocytosis mediated by some members of the integrin receptor family [50].

### **6. Targeting receptors and ligands**

The carriers and ONs themselves can not distinguish different cell types within the body; the ligands of receptors which are conjugated with carriers or directly with ONs instead take the role. Targeting ONs to a specific tissue or cell type is basically based on its distinct expression levels of receptors. To date, more than one hundred cell penetrating/ targeting peptides have been commercially available. Some known important receptor families for the “target” are discussed below.

Integrins are adhesion receptors mediating the binding of cells to an extracellular matrix and serve as signal transduction components for both inside-out and outside-in signals. They are heterodimeric transmembrane proteins consisting of an alpha and a beta subunit. So far, 18 alpha subunits and 8 beta subunits are known. Integrins are highly expressed in the tissues which are undergoing angiogenesis and tumors [51; 52; 53]. A group of peptides has been studied for enhancing cellular internalization, namely cell penetrating peptides (CPPs). Many of their amino acid sequences have been shown as good candidates for the purpose [54]. RGD peptides are CPPs that possess an “RGD” sequence. They can be found in several matrix proteins such as fibronectin, fibrinogen, osteopontin, vitronectin, gelatin, and thrombospondin. Some integrin receptors recognize and bind to RGD peptides with high affinity, especially integrin  $\alpha\beta3$ . Furthermore, integrin  $\alpha\beta3$  receptor is over-expressed in highly metastatic cancer such as melanoma, pancreatic, prostate, breast, ovarian and cervical cancers [55; 56]. Therefore, targeting integrin  $\alpha\beta3$  can solve two problems, tumor targeting and cellular internalization at the same time. Various RGD peptides have been used to modify carriers for tumor targeting delivery including RGDyK, RGDyC, RGDfK, etc., and more recently the iRGD (tumor homing peptide). They all showed high affinity to  $\alpha\beta3$  integrin and integrin-dependence on cell internalization [57].

G protein-coupled receptors are very large receptor family with about 800 members [58], mediating signal transduction of approximately 40% of the current clinical drugs. This family becomes a “target” for the delivery of ONs [59]. However, their low expression level and being triggered specifically by their own agonists are disadvantages in targeting this receptor.

The tyrosine kinase receptors (TKRs) are

strongly expressed in specific tissues and disease stages such as in breast cancer (Her2 receptor) [60], neuronal tissue [61], and endothelial cells [62]. The antibodies that bind to an external domain of these receptors can be used as targeting agents for delivery of drugs and ONs. The limitation in using this receptor family for targeting is that the ligands of TKRs are normally large polypeptides and the receptors themselves are degraded rather than cycled.

Other receptors are also considered as candidates for the “target” including Toll-like receptors (TLRs) or asialoglycoprotein receptor (ASGR) [63]. TLRs are peak expressed in macrophages and dendritic cells [64] while ASGR is strongly expressed in hepatocytes [63].

### 7. Oligonucleotide therapy studies in Vietnam

Vietnamese scientists have focused on controlled delivery of drugs, especially by using dendrimers or cationic lipids as carriers. However searching with keywords “antisense” or “oligonucleotide(s)” or other keywords related to the development of ONDs on national online database (National Library of Vietnam) resulted in only one review paper on APTAMERS [65]. Hence we may say that the investigation of ONDs is still at a very beginning point in Vietnam.

### 8. Suggestion

A dendrimer with recombinant peptide branches is expected to be good carrier for delivery of not only ONs but also of conventional drugs. A good procedure for producing a pH sensitive SNA will solve several problems including the cancer targeting of ONs and their action efficiency.

### Acknowledgment

This work is supported by NAFOSTED (National Foundation for Science and Technology Development), project code: 108.05-2018.19.

### References

- [1] Đô, L. T. and N. T. Hà (2017). *TC Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Duy Tân* **5**(24): 85-92.
- [2] Lundin, K. E., O. Gissberg, et al. (2015). *Hum Gene Ther* **26**(8): 475-485.
- [3] Đô, L. T., N. H. Thuần, et al. (2016). *TC Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Duy Tân* **1**(20): 15-23.
- [4] Kano, A., K. Moriyama, et al. (2011). *J Control Release* **149**(1): 2-7.
- [5] Meyer, M., A. Philipp, et al. (2008). *J Am Chem Soc* **130**(11): 3272-3273.
- [6] Zou, Y., Y. Huang, et al. (2017). *Mol Med Rep* **15**(4): 1631-1637.
- [7] Jafari, N. and S. Abediankenari (2017). *Tumour Biol* **39**(5): 1-15.
- [8] Ye, J., L. Li, et al. (2016). *Oncol Rep* **36**(1): 390-398.
- [9] Duan, K., Y. C. Ge, et al. (2015). *Oncol Lett* **10**(5): 3223-3227.
- [10] Hermeking, H. (2010). *Cell Death Differ* **17**(2): 193-199.
- [11] Navarro, F. and J. Lieberman (2015). *PLoS One* **10**(7): e0132767.
- [12] Imani, S., C. Wei, et al. (2017). *Oncotarget* **8**(13): 21362-21379.
- [13] Sun, F., H. Fu, et al. (2008). *FEBS Lett* **582**(10): 1564-1568.
- [14] Ito, Y., A. Inoue, et al. (2017). *Proc Natl Acad Sci U S A* **114**(15): 3927-3932.
- [15] Matsui, M., T. P. Prakash, et al. (2016). *Mol Ther* **24**(5): 946-955.
- [16] Misso, G., M. T. Di Martino, et al. (2014). *Mol Ther Nucleic Acids* **3**: e194.
- [17] Biswas, S. and V. P. Torchilin (2013). *Pharmaceuticals (Basel)* **6**(2): 161-183.
- [18] Xu, L., H. Zhang, et al. (2014). *ACS Chem Neurosci* **5**(1): 2-13.
- [19] Neuberger, P. and A. Kichler (2014). *Adv Genet* **88**: 263-288.
- [20] Guo, Z., Y. Li, et al. (2014). *Curr Pharm Biotechnol* **15**(9): 800-805.
- [21] Ndeboko, B., G. J. Lemamy, et al. (2015). *Int J Mol Sci* **16**(12): 28230-28241.
- [22] Nimesh, S., N. Gupta, et al. (2011). *J Biomed Nanotechnol* **7**(4): 504-520.
- [23] Xue, H. Y., P. Guo, et al. (2015). *Curr Pharm Des* **21**(22): 3140-3147.
- [24] Habibi, N., N. Kamaly, et al. (2016). *Nano Today* **11**(1): 41-60.
- [25] Chen, J., R. J. Stickles, et al. (1994). *Hum Gene Ther* **5**(4): 429-435.
- [26] Demirhan, I., O. Hasselmayer, et al. (1998). *J Hum Virol* **1**(7): 430-440.

- [27] Balicki, D. and E. Beutler (1997). *Mol Med* **3**(11): 782-787.
- [28] Zaitsev, S. V., A. Haberland, et al. (1997). *Gene Ther* **4**(6): 586-592.
- [29] Schneeweiss, A., K. Buyens, et al. (2010). *Int J Pharm* **400**(1-2): 86-95.
- [30] Gragoudas, E. S., A. P. Adamis, et al. (2004). *N Engl J Med* **351**(27): 2805-2816.
- [31] Farooqi, A. A., Z. U. Rehman, et al. (2014). *Oncotargets Ther* **7**: 2035-2042.
- [32] Evers, M. M., L. J. Toonen, et al. (2015). *Adv Drug Deliv Rev* **87**: 90-103.
- [33] Martinez, T., N. Wright, et al. (2013). *Hum Genet* **132**(5): 481-493.
- [34] Rosi, N. L., D. A. Giljohann, et al. (2006). *Science* **312**(5776): 1027-1030.
- [35] Cutler, J. I., E. Auyeung, et al. (2012). *J Am Chem Soc* **134**(3): 1376-1391.
- [36] Randeria, P. S., M. A. Seeger, et al. (2015). *Proc Natl Acad Sci U S A* **112**(18): 5573-5578.
- [37] Cutler, J. I., K. Zhang, et al. (2011). *J Am Chem Soc* **133**(24): 9254-9257.
- [38] Zhang, C., L. Hao, et al. (2015). *Small* **11**(40): 5360-5368.
- [39] Banga, R. J., N. Chernyak, et al. (2014). *J Am Chem Soc* **136**(28): 9866-9869.
- [40] Sprangers, A. J., L. Hao, et al. (2017). *Small* **13**(10).
- [41] Banga, R. J., S. A. Krovi, et al. (2017). *Biomacromolecules* **18**(2): 483-489.
- [42] Zhang, K., L. Hao, et al. (2012). *J Am Chem Soc* **134**(40): 16488-16491.
- [43] Merdan, T., J. Kopecek, et al. (2002). *Adv Drug Deliv Rev* **54**(5): 715-758.
- [44] Lutz, J.-F. and H. G. Borner (2008). *Progress in Polymer Science* **33**: 1-39.
- [45] Varkouhi, A. K., M. Scholte, et al. (2011). *J Control Release* **151**(3): 220-228.
- [46] Juliano, R. L., X. Ming, et al. (2012). *Bioconjug Chem* **23**(2): 147-157.
- [47] Juliano, R. L. and K. Carver (2015). *Adv Drug Deliv Rev* **87**: 35-45.
- [48] Marchese, A., M. M. Paing, et al. (2008). *Annu Rev Pharmacol Toxicol* **48**: 601-629.
- [49] Lajoie, P. and I. R. Nabi (2010). *Int Rev Cell Mol Biol* **282**: 135-163.
- [50] Parton, R. G. and M. A. del Pozo (2013). *Nat Rev Mol Cell Biol* **14**(2): 98-112.
- [51] Chen, J., J. S. Alexander, et al. (2012). *Int J Cell Biol* **2012**: 1-12.
- [52] Hamidi, H., M. Pietila, et al. (2016). *Br J Cancer* **115**(9): 1017-1023.
- [53] Streuli, C. H. (2016). *Mol Biol Cell* **27**(19): 2885-2888.
- [54] Vasconcelos, L., K. Parn, et al. (2013). *Ther Deliv* **4**(5): 573-591.
- [55] Desgrosellier, J. S. and D. A. Cheresh (2010). *Nat Rev Cancer* **10**(1): 9-22.
- [56] Seguin, L., J. S. Desgrosellier, et al. (2015). *Trends Cell Biol* **25**(4): 234-240.
- [57] Millard, M., S. Odde, et al. (2011). *Theranostics* **1**: 154-188.
- [58] Giguere, P. M., W. K. Kroeze, et al. (2014). *Curr Opin Cell Biol* **27**: 51-55.
- [59] Whalen, E. J., S. Rajagopal, et al. (2011). *Trends Mol Med* **17**(3): 126-139.
- [60] Shepard, H. M., P. Jin, et al. (2008). *Handb Exp Pharmacol*(181): 183-219.
- [61] Brodeur, G. M., J. E. Minturn, et al. (2009). *Clin Cancer Res* **15**(10): 3244-3250.
- [62] Koch, S. and L. Claesson-Welsh (2012). *Cold Spring Harb Perspect Med* **2**(7): a006502.
- [63] D'Souza, A. A. and P. V. Devarajan (2015). *J Control Release* **203**: 126-139.
- [64] Takeda, K., T. Kaisho, et al. (2003). *Annu Rev Immunol* **21**: 335-376.
- [65] Huân, L. Q. (2011). *TC Y Học Việt Nam* **2**: 12-19.

## Giá trị chẩn đoán của điện tâm đồ trong nhồi máu cơ tim thất phải ở người cao tuổi tại Bệnh viện C Đà Nẵng

Diagnostic value of electrocardiogram in elderly patients with right ventricular myocardial infarction at Da Nang C Hospital

Võ Thị Hà Hoa\*, Nguyễn Thị Khánh Linh  
Hoa Thi Ha Vo, Linh Thi Khanh Nguyen

*Khoa Y, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam  
Faculty of Medicine, Duy Tan University, Danang, Vietnam*

*(Ngày nhận bài: 05/06/2019, ngày phản biện xong: 31/07/2019, ngày chấp nhận đăng: 20/08/2019)*

### Tóm tắt

Mục đích của nghiên cứu là xác định tỷ lệ, một số đặc điểm lâm sàng và cận lâm sàng của nhồi máu cơ tim thất phải ở bệnh nhân nhồi máu cơ tim thành dưới cấp và đưa ra một dấu hiệu sàng lọc có tính giá trị trong 12 chuyển đạo của ECG để dự đoán tổn thương trên động mạch vành phải (RCA) và động mạch vành trái nhánh mũ (LCX). Một nghiên cứu cắt ngang, trong đó có tổng cộng 41 bệnh nhân mắc nhồi máu cơ tim (NMCT) thành dưới cấp tính, đáp ứng các tiêu chí chọn lựa và loại trừ đã được thu thập thông tin sau khi có sự đồng ý của bệnh nhân. Chẩn đoán NMCT thất phải dựa vào khai thác bệnh sử, thăm khám lâm sàng, điện tâm đồ (ECG), men tim, siêu âm tim và chụp động mạch vành. Tỷ lệ mắc NMCT thất phải trong MNCT thành dưới cấp là 70.7%. Tăng huyết áp và bệnh tim thiếu máu cục bộ là yếu tố nguy cơ phổ biến nhất ở nhóm NMCT thất phải. Tất cả bệnh nhân đều có đau thắt ngực, và 27.6% bệnh nhân bị rối loạn nhịp tim. Trong nhóm bệnh nhân NMCT cấp thành dưới kèm NMCT thất phải có hẹp ý nghĩa ở động mạch vành phải chiếm gần 90%, hẹp ở động mạch nhánh mũ và hẹp cả 2 nhánh chiếm trên 50%. Nhóm NMCT thất phải có tổn thương RCA và LCX cao hơn nhiều so với nhóm MNCT thành dưới đơn thuần. Sự hiện diện của độ cao của đoạn ST trong chuyển đạo V3R hoặc V4R trên ECG có khả năng dự báo cao về NMCT thất phải (độ nhạy 90%; độ đặc hiệu 81.1%; giá trị tiên đoán của kết quả dương tính 93.1%). Nhóm NMCT cấp thành dưới kèm NMCT thất phải có tổn thương RCA và LCX cao hơn rất nhiều so với nhóm MNCT thành dưới đơn thuần. Giá trị của ECG có thể chẩn đoán chính xác với sự hiện diện của độ cao của đoạn ST trong chuyển đạo V3R và V4R. Đánh giá ECG bên phải nên được thực hiện ở tất cả các bệnh nhân bị NMCT thành dưới cấp tính.

*Từ khóa:* Bệnh động mạch vành, điện tâm đồ, chụp mạch vành, nhồi máu cơ tim thất phải.

### Abstract

The purpose of this study was to identify the prevalence, some clinical and subclinical features of right ventricular myocardial infarction (RVMI) in patients with acute inferior wall myocardial infarction (IWMI) and devise a screening tool that takes into account multiple leads from a 12-lead ECG to predict the RCA and LCX lesion. A cross-sectional study, in which a total of 41 patients with acute IWMI, fulfilling the inclusion and exclusion criteria were enrolled after taking an informed consent. To test for RVMI, they prospectively underwent a physical examination, an electrocardiogram (ECG), cardiac enzymes, an echocardiogram and a coronary angiography. The prevalence of RVMI in IWMI was 70.7%. Hypertension and ischemic heart disease were more prevalent in RVMI group. All had positive angina, and 27.6% patients had arrhythmia. The RVMI group had a much higher RCA and LCX lesion than the IWMI group. The presence of ST-segment elevation in lead V3R or V4R in ECG was highly predictive of RVMI (sensitivity, 90%; specificity, 81.1%; positive predictive value, 93.1%). The



RVMI group had a much higher RCA and LCX lesion than the IWMI group. Right ventricular involvement during acute inferior myocardial infarction can be accurately diagnosed by the presence of ST-segment elevation in lead V3R and V4R. Electrocardiographic assessment of right ventricular myocardial infarction should be routinely performed in all patients with acute inferior myocardial infarctions.

*Keywords:* Coronary artery disease, electrocardiography, coronary angiography, right ventricular myocardial infarction.

## 1. Đặt vấn đề

Nhồi máu cơ tim (NMCT) thất phải chiếm khoảng 24% đến 50% NMCT cấp thành dưới và thường gặp kết hợp, thể đơn độc hiếm gặp [8]. NMCT thất phải thường có các biến chứng chuyên biệt và nghiêm trọng như rối loạn nhịp tim chậm, tụt huyết áp nặng và sốc tim [10]. Bệnh nhân NMCT thất phải cần xử trí theo phác đồ riêng do thất phải co bóp kém, dễ bị hạ huyết áp nặng khi dùng nitrat hoặc các thuốc giảm tiền gánh khác. Hạ huyết áp trong NMCT thất phải cần được xử trí bằng dịch truyền (nitrat là chống chỉ định). Ở người cao tuổi, việc chẩn đoán và xử trí NMCT thất phải còn gặp khó khăn hơn. Vì vậy, việc sử dụng điện tâm đồ, nhất là các chuyển đạo bên phải, để tiên đoán sớm động mạch vành thủ phạm ở bệnh nhân NMCT thất phải ở người cao tuổi giúp ích cho việc xử trí trên lâm sàng [3].

Những thay đổi trên điện tâm đồ thường quy của NMCT thất phải là khó thấy và dễ bị bỏ qua. Các nghiên cứu cho rằng, NMCT thất phải được nhận diện bởi ST chênh lên ở chuyển đạo V1 và ST chênh lên ở chuyển đạo DIII cao hơn DII ở điện tâm đồ thường quy có độ nhạy từ 40% đến 65% [3],[5],[8]. Giá trị chẩn đoán NMCT thất phải của điện tâm đồ có giá trị cao hơn khi có sự hiện diện của ST chênh lên của các chuyển đạo bên phải V3R - V6R; trong đó chuyển đạo hữu ích nhất là V4R, thu được bằng cách đặt các điện cực V4 trong khoang liên sườn phải thứ 5 trên đường giữa đòn phải. ST chênh lên trong V4R > 0,5 mm có độ nhạy 88%, độ đặc hiệu 78% và độ chính xác chẩn đoán là 83% trong chẩn đoán NMCT thất phải; ST chênh lên trong V4R > 1,0 mm có độ nhạy 100%, độ đặc hiệu 87% và độ

chính xác chẩn đoán là 92% [5],[6],[8].

Khi chụp động mạch vành, động mạch thủ phạm của NMCT thất phải chủ yếu là đoạn gần của động mạch vành phải (Right Coronary Artery proximal – RCA) chiếm đến khoảng 80% các trường hợp, còn lại khoảng 15% là nhánh mũ của động mạch vành trái (Left Circumflex Coronary Artery – LCX) đối với người có hệ mạch vành trái chiếm ưu thế; ngoài ra không phổ biến và chiếm tỷ lệ rất nhỏ là đoạn xuống của động mạch vành trái trước (left anterior descending artery) [8].

Điểm đáng lưu ý nhất trên lâm sàng là ST chênh lên của các chuyển đạo bên phải là một hiện tượng thoáng qua, kéo dài ít hơn 10 giờ trong 50% bệnh nhân bị NMCT thất phải. Trong khi đó, lâm sàng cần chẩn đoán chính xác và sớm động mạch thủ phạm để có biện pháp xử trí thích hợp đối với bệnh nhân NMCT thất phải. Sử dụng tiêu chuẩn vàng là chụp động mạch vành để khảo sát giá trị chẩn đoán của điện tâm đồ sẽ giúp ích trên lâm sàng. Vì vậy, chúng tôi tiến hành đề tài nghiên cứu này nhằm:

- *Tìm hiểu đặc điểm lâm sàng và tỷ lệ của nhồi máu cơ tim thất phải ở người cao tuổi.*
- *Khảo sát giá trị chẩn đoán của các chuyển đạo V3R – V4R trên điện tâm đồ trong nhồi máu cơ tim thất phải ở người cao tuổi.*

## 2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Đối tượng nghiên cứu

*Tiêu chuẩn chọn bệnh:*

- Tất cả bệnh nhân người cao tuổi từ 60 tuổi trở lên, được chẩn đoán NMCT thành dưới, tại Bệnh viện C Đà Nẵng.
- Đối tượng nghiên cứu được khảo sát NMCT



thất phải bằng các chuyển đạo bên phải

V3R – V4R trên điện tâm đồ thường quy.

- Tiêu chuẩn vàng để chẩn đoán NMCT thất phải là chụp động mạch vành hẹp có ý nghĩa hoặc tắc đoạn gần của động mạch vành phải, hoặc nhánh mũ của động mạch vành trái đối với người có hệ mạch vành trái chiếm ưu thế.

*Tiêu chuẩn loại trừ:*

- Bệnh nhân không được đo đủ các chuyển đạo bên phải V3R – V4R trên điện tâm đồ, hoặc không được chụp động mạch vành để so sánh.

- Bệnh nhân không đồng ý hợp tác trong nghiên cứu.

## **2.2. Phương pháp nghiên cứu**

### *2.2.1. Phương pháp tiến hành*

- *Thiết kế nghiên cứu:* đây là nghiên cứu tiến cứu, mô tả cắt ngang.

- *Đo điện tâm đồ thường quy:* Tất cả bệnh nhân khi đo điện tâm đồ thường quy có dấu hiệu nghi đến NMCT thành sau dưới và/hoặc thất phải theo tiêu chuẩn của ECS/ACCF/AHA/WHF năm 2015, khi có:

+ ST chênh ở DII, DIII, aVF, V1 hoặc V2 hoặc T âm; hoặc

+ ST chênh ở V1 cao hơn ST chênh lên ở V2; hoặc

+ ST ở V1 là đẳng điện và ST chênh xuống rõ rệt ở V2; hoặc

+ ST chênh lên ở V1 và ST chênh xuống ở V2.

- *Đo điện tâm đồ với các chuyển đạo trước tim bên phải:* Bệnh nhân nghi ngờ NMCT thất phải khi đo điện tâm đồ thường quy với các dấu hiệu như trên đây thì tiến hành đo điện tim ở các chuyển đạo bên phải.

- *So sánh với kết quả chụp động mạch vành:* Sử dụng tiêu chuẩn vàng để chẩn đoán NMCT thất phải. Khi kết quả chụp động mạch vành phải hẹp có ý nghĩa theo tiêu chuẩn của Genessi. Động mạch vành hẹp có ý nghĩa khi mức hẹp > 75% đường kính lòng động mạch

vành phải; hoặc nhánh mũ của động mạch vành trái đối với người có hệ mạch vành trái chiếm ưu thế [5],[6],[8].

- *Khảo sát các yếu tố nguy cơ tim mạch:* Tiền sử hoặc lúc vào viện có tăng huyết áp (theo ESC 2018), đái tháo đường (theo ADA 2018), rối loạn lipid máu (theo NCEP ATP III), hút thuốc lá.

- *Thu thập số liệu các kết quả xét nghiệm về men tim và siêu âm tim:* Bệnh nhân được xét nghiệm các men tim lúc nhập viện như CK, CK-MB, Troponin I định lượng; PAPs, EF, rối loạn vận động vùng.

### *2.2.2. Xử lý số liệu*

Thu thập số liệu theo mẫu khảo sát thống nhất và xử lý số liệu theo các phép thống kê y học bằng phần mềm SPSS 20.0.

Biến số định lượng được trình bày bằng số trung bình ± độ lệch chuẩn; sử dụng phép kiểm định t-test, ANOVA một chiều để kiểm định cho các biến số có phân phối chuẩn; phép kiểm định phi tham số cho các biến số định lượng không có phân phối chuẩn. Biến số định tính trình bày bằng tần số, tỷ lệ phần trăm; sử dụng phép kiểm chi bình phương. Mức khác biệt có ý nghĩa thống kê khi  $p < 0.05$ .

Lập ma trận quyết định (decision matrix) để tính toán các giá trị chẩn đoán: độ nhạy (Sensitivity), độ đặc hiệu (Specificity), độ chính xác (Accuracy), các tỷ lệ dương tính giả và âm tính giả, các giá trị dự báo (Predicted value) dương tính và âm tính theo các thuật toán y học về đánh giá một nghiệm pháp chẩn đoán.

## **3. Kết quả**

Nghiên cứu được tiến hành trên 41 bệnh nhân trong đó nam giới chiếm 70,7% và nữ là 29,3%; Độ tuổi trung bình của bệnh nhân là  $74.3 \pm 8.84$ .

Nhóm bệnh nhân NMCT cấp thành dưới kèm nhồi máu thất phải (NMTP): 29 bệnh nhân (70.7%), nhóm bệnh nhân NMCT cấp thành dưới đơn thuần (NMTD): 12 bệnh nhân (29.3%).

### 3.1. Đặc điểm lâm sàng của đối tượng nghiên cứu

Bảng 3.1. Đặc điểm về độ tuổi, giới tính người cao tuổi bị NMTP

Độ tuổi, giới tính		Số lượng	Tỷ lệ %
Độ tuổi	Từ 60 - 69 tuổi	8	27.6
	Từ 70 - 79 tuổi	14	<b>48.3</b>
	Từ 80 tuổi trở lên	7	24.1
	Tuổi trung bình (TB ± SD)	74.5 ± 8.78	
Giới tính	Nữ giới	7	24.1
	Nam giới	22	75.9
<b>Tổng cộng</b>		29	100%

*Nhận xét:* Tuổi trung bình NMTP là 74.5 ± 8.78 tuổi, nhóm tuổi từ 70 - 79 tuổi chiếm tỷ lệ 48.3%. Nam giới mắc NMTP gấp hơn 3 lần so với nữ (75.9% so với 24.1%).

Bảng 3.2. Yếu tố nguy cơ của bệnh tim mạch trên người cao tuổi NMTP

Yếu tố nguy cơ	NMTP (n=29)	NMTD (n= 12)	Tổng số (n=41)	P
Tăng huyết áp, n (%)	29 (100%)	12 (100%)	41 (100%)	.
Đái tháo đường, n (%)	18 (62.1%)	10 (83.3%)	28 (68.3%)	0.169
Rối loạn lipid máu, n (%)	12 (41.4%)	4 (33.3%)	16 (39.0%)	0.453
Hút thuốc lá, n (%)	7 (24.1%)	1 (8.3%)	8 (19.5%)	0.241
Tiền sử nhồi máu cơ tim, n (%)	0 (0.0%)	1 (8.3%)	1 (2.4%)	0.293
Tiền sử bệnh tim TMCB, n (%)	25 (86.2%)	11 (91.7%)	36 (87.8%)	0.539

*Nhận xét:* Yếu tố nguy cơ tim mạch ở bệnh nhân NMTP lần lượt là tăng huyết áp (100%), đái tháo đường chiếm (62.1%), rối loạn lipid (41.4%) và tiền sử nhồi máu cơ tim (0%); không có sự khác biệt có ý nghĩa giữa NMTP và NMTD.

Bảng 3.3. Đặc điểm lâm sàng của NMTP ở người cao tuổi

Đặc điểm lâm sàng		NMTP	NMTD	P
Đau thắt ngực (n, %)	Có	29 (100%)	12 (100%)	.
	Không	0 (0%)	0 (0%)	
Có rối loạn nhịp tim (n, %)	Có	8 (27.6%)	3 (25%)	0.595
	Không	21 (72.4%)	9 (75%)	

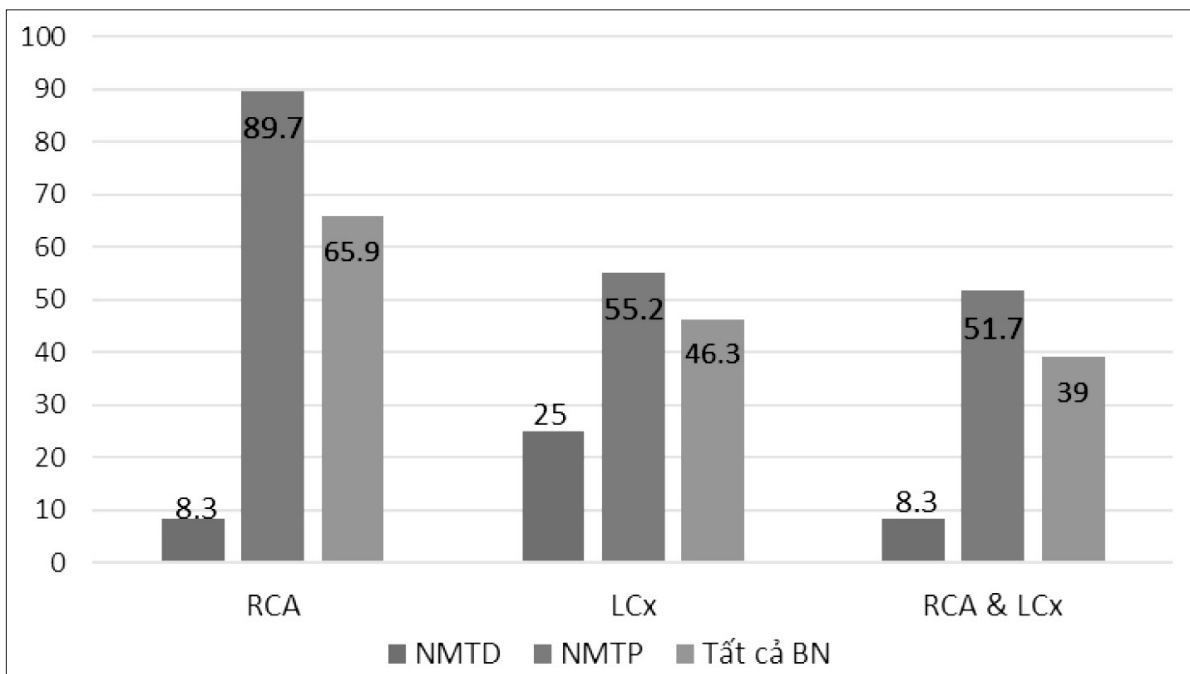
*Nhận xét:* Tất cả bệnh nhân NMTP trong nghiên cứu đều có cơn đau thắt ngực và có triệu chứng đau thắt ngực và rối loạn nhịp tim ở 27.6% bệnh nhân có kèm theo rối loạn nhịp tim. Không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về 2 nhóm NMTP và NMTD.

Bảng 3.4. Đặc điểm cận lâm sàng của NMTP so với NMTD ở người cao tuổi

Đặc điểm cận lâm sàng		NMTP	NMTD	p
Nồng độ men CPK	40 - 150 U/l ở nam hoặc 38 -174 U/l ở nữ	13 (44.8%)	4 (33.3%)	0.374
	> 174 U/l ở nam hoặc >150 U/l ở nữ	16 (55.2%)	8 (66.7%)	
	Trung bình ± SD	627.9 ± 1076.2	562.1 ± 831.6	0.521
Nồng độ men CK-MB	< 24U/l	15 (51.7%)	5 (41.7%)	0.405
	≥ 24U/l	14 (48.3%)	7 (58.3%)	
	Trung bình ± SD	67.9 ± 85.6	58.2 ± 95.1	0.442
Nồng độ men Troponin I	< 0.4 ng/mL	5 (17.2%)	1 (8.3%)	0.423
	≥ 0.4 ng/mL	24 (82.8%)	11(91.7%)	
	Trung bình ± SD	11.8 ± 26.7	7.69 ±12.6	0.368
Phân suất tổng máu EF	50% - 70%	25 (86.2%)	12(100%)	0.235
	> 75% hoặc < 50%	4 (13.8%)	0(0.0%)	
	Trung bình ± SD	55.3 ± 11.8	60 ±4.97	0.170
Áp lực động mạch phổi tâm thu PAPs	< 25 mmHg	9 (31.0%)	6(50%)	0.213
	≥ 25 mmHg	20 (69.0%)	6(50%)	
	Trung bình ± SD	24.1 ± 8.5	23.17 ± 4.75	0.348
Rối loạn vận động vùng	Không	15 (51.7%)	7(58.3%)	0.485
	Có	14 (48.3%)	5(41.7%)	

**Nhận xét:** Nồng độ men tim thay đổi ở nhóm bệnh nhân NMTP cao hơn so với NMTD, nhưng phân suất tổng máu EF thấp hơn, áp lực động mạch phổi tâm

thu PAPs và rối loạn vận động vùng ở nhóm bệnh nhân NMTP có tỷ lệ cao hơn. Tuy nhiên, sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê ( $p \geq 0.05$ )



Biểu đồ 3.1: Tồn thương ý nghĩa của động mạch vành phải và động mạch nhánh mũ trong NMTD và NMTP

**Nhận xét:** Với mức hẹp ý nghĩa  $\geq 70\%$ , Hẹp ở động mạch vành phải chiếm 89.7%, Hẹp ở động mạch vành trái nhánh mũ chiếm 55.2%, và hẹp cả 2 nhánh chiếm 51.7% ở bệnh nhân NMCT cấp thành dưới kèm nhồi máu thất phải so với NMCT thành dưới đơn thuần lần lượt 8.3%, 25% và 8.3%;

sự khác biệt này có ý nghĩa thống kê  $p < 0.05$  ở tổn thương động mạch vành phải và tổn thương cả 2 nhánh động mạch vành phải và nhánh mũ.

### 3.2. Giá trị chẩn đoán của các chuyển đạo V3R – V4R trên điện tâm đồ trong NMTP ở người cao tuổi

Bảng 3.5. Giá trị chẩn đoán NMTP của ECG ở người cao tuổi

ECG \ Chụp động mạch vành	Hẹp động mạch vành phải hoặc nhánh mũ (+)	Hẹp động mạch vành phải hoặc nhánh mũ (-)	Tổng cộng
ST chênh lên $\geq 1\text{mm}$ ở chuyển đạo V3R hoặc V4R	27 (93.1%)	2 (6.9%)	29 (70.7%)
Không có ST chênh lên $\geq 1\text{mm}$ ở chuyển đạo V3R hoặc V4R	3 (25.0%)	9 (75.0%)	12 (29.3%)
<b>Tổng cộng</b>	30 (73.2%)	11 (26.8%)	41 (100%)

**Nhận xét:** Độ nhạy của các chuyển đạo V3R–V4R trên ECG trong chẩn đoán NMTP (Se) =  $27/30 = 90\%$ . Độ đặc hiệu của chuyển đạo V3R–V4R trên ECG trong chẩn đoán NMTP(Sp) =  $9/11 = 81.1\%$ . Giá trị tiên đoán dương tính của các chuyển đạo V3R – V4R trên ECG trong chẩn đoán NMTP (Vp) =  $27/29 = 93.1\%$

#### 4. Bàn luận

Nghiên cứu của chúng tôi có tỷ lệ bệnh nhân nam là 70,7% và bệnh nhân nữ là 29,3%. Tỷ lệ nam giới gấp nữ giới là 2,4 lần. Tỷ lệ này thấp hơn so với một số tác giả khác như theo Phạm Mạnh Hùng tại Viện tim mạch quốc gia là 3,6; theo Đặng Vạn Phước tại bệnh viện Chợ Rẫy là 3,2. Tỷ lệ nam giới gấp nữ giới trong nghiên cứu của chúng tôi cao hơn Hoàng Quốc Hòa thực hiện tại bệnh viện Nhân Dân Gia Định chiếm tỉ lệ 1,7 [1]. Song tỷ lệ này xấp xỉ với nghiên cứu tại Bệnh viện Thống Nhất của Châu Thành Vinh với bệnh nhân nam là 71,9% nhiều hơn bệnh nhân nữ 28,1% và tỷ lệ nam giới gấp nữ giới là 2,5 lần [3], có lẽ do đối tượng khám chữa bệnh của 2 bệnh viện này là tương đồng.

Nhóm bệnh nhân NMCT cấp thành dưới đơn thuần chiếm 29.3%, nhóm bệnh nhân NMCT cấp thành dưới kèm nhồi máu thất phải chiếm 70.7%.

Tỷ lệ này khác biệt nhiều so với nghiên cứu của Thạch Hoàng Sơn ở Bệnh viện trung ương Cần Thơ lần lượt là 75.7%, và 24.3% [2]; Nghiên cứu của Châu Thành Vinh với tỷ lệ lần lượt là 56.1% và 43.9% [3] và trong nghiên cứu của Liaquat Ali và cộng sự (2013) tỷ lệ này là 70.23% và 19.64% [7], điều khác biệt này có thể do nghiên cứu của chúng tôi thực hiện trên đối tượng là người cao tuổi có các biểu hiện trên điện tâm đồ thường quy có NMCT cấp thành dưới và/ hoặc nghi ngờ có nhồi máu thất phải kèm theo.

Tuổi trung bình NMCT cấp thành dưới kèm nhồi máu thất phải là  $74.5 \pm 8.78$  tuổi, nhóm tuổi từ 70 - 79 tuổi chiếm gần 48.3%. Nam giới mắc NMCT cấp thành dưới kèm nhồi máu thất phải gấp hơn 3 lần so với nữ (75.9% so với 24.1%).

Yếu tố nguy cơ tim mạch ở đối tượng nghiên cứu lần lượt THA (100%), tiền sử bệnh tim thiếu máu cục bộ (87.8%), đái tháo đường (68.3%), rối loạn lipid (39%) và tiền sử nhồi máu cơ tim (2.4%) không có sự khác biệt có ý nghĩa giữa nam và nữ; Chỉ hút thuốc lá (19.5%) có sự khác biệt có ý nghĩa. Yếu tố nguy cơ tim mạch ở bệnh nhân NMCT cấp thành dưới kèm nhồi máu thất phải lần lượt là tăng huyết áp (100%), tiền sử bệnh tim thiếu máu cục bộ (86.2%), đái tháo

đường chiếm (62.1%), rối loạn lipid (41.4%) và tiền sử nhồi máu cơ tim (0%); không có sự khác biệt có ý nghĩa giữa NMCT cấp thành dưới kèm nhồi máu thất phải và NMCT cấp thành dưới đơn thuần. Trong nghiên cứu của Shah Sawar cho thấy yếu tố nguy cơ lớn nhất là tăng huyết áp chiếm 46.6%, sau đó là đái tháo đường 36.6% và hút thuốc lá 13.3% [9]

Tất cả bệnh nhân NMCT cấp thành dưới kèm nhồi máu thất phải trong nghiên cứu đều có cơn đau thất ngực và có 27.6% bệnh nhân có kèm theo rối loạn nhịp tim. Trong nghiên cứu của Daanish cũng cho thấy 100% bệnh nhân MNCT thất phải đều có cơn đau ngực. Điều này cho thấy đau ngực là triệu chứng thường gặp nhất ở bệnh nhân NMCT thất phải [4]

Nồng độ men tim thay đổi ở nhóm bệnh nhân NMCT cấp thành dưới kèm nhồi máu thất phải cao hơn so với NMCT thành dưới đơn thuần, nhưng phân suất tống máu EF thấp hơn, áp lực động mạch phổi tâm thu PAPs và rối loạn vận động vùng ở nhóm bệnh nhân NMCT cấp thành dưới kèm nhồi máu thất phải có tỷ lệ cao hơn. Tuy nhiên, sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê. ( $p \geq 0.05$ ). Điều này cho thấy việc sử dụng các chỉ số về men tim và đánh giá kết quả siêu âm tim khó khăn trong phân biệt NMCT cấp thành dưới kèm nhồi máu thất phải và NMCT thành dưới đơn thuần.

Ở biểu đồ 3.1, kết quả cho thấy trong nhóm bệnh nhân NMCT cấp thành dưới kèm nhồi máu thất phải có tỷ lệ tổn thương ý nghĩa với hẹp động mạch vành phải chiếm 89.7%, hẹp động mạch vành trái nhánh mũ chiếm 55.2%, và hẹp cả 2 nhánh chiếm 51.7%. Nhóm bệnh nhân có NMCT cấp thành dưới kèm nhồi máu thất phải có tổn thương ở động mạch vành phải, động mạch trái nhánh mũ cao hơn nhiều so với nhóm bệnh nhân NMCT thành dưới đơn thuần, khác biệt này có ý nghĩa thống kê  $p < 0,05$  ở tổn thương động mạch vành phải và tổn thương cả 2 nhánh động mạch vành phải và nhánh mũ. Chính vì có sự khác biệt

rất lớn này cho thấy nên cần phải nhanh chóng phân loại 2 nhóm bệnh nhân NMCT cấp thành dưới kèm nhồi máu thất phải và NMCT thành dưới đơn thuần để tiên lượng và điều trị phù hợp.

Nghiên cứu của tác giả Foussas và cộng sự cho thấy không có sự khác biệt ý nghĩa về tỷ lệ tử vong trong theo dõi dài hạn giữa nhóm có NMCT thất phải với nhóm không có NMCT thất phải. Vì vậy, các dấu hiệu tiên lượng xấu tại bệnh viện ở bệnh nhân NMCT thất phải chủ yếu do tăng nguy cơ các Rối loạn nhịp tim đe dọa tử vong. Việc theo dõi sát và điều trị thích hợp các rối loạn nhịp tim cho đến khi bệnh nhân được xuất viện là vấn đề quan trọng trong tiên lượng chung và khả năng sống còn của bệnh nhân [5].

Đồng thời ghi nhận, NMCT thất phải thường đi kèm với NMCT thành dưới, với các biểu hiện điển hình của lâm sàng, điện tâm đồ và Siêu âm tim. Khi có dấu hiệu tụt huyết áp hoặc sốc tim mà không có dấu hiệu suy thất trái, đồng thời có dấu hiệu ST chênh ở chuyển đạo V4R thì khả năng cao của chẩn đoán NMCT thất phải đi kèm.

Trong nghiên cứu của chúng tôi đã tìm thấy giá trị chẩn đoán của ST chênh lên  $\geq 1\text{mm}$  trong các chuyển đạo V3R – V4R trên điện tâm đồ trong NMCT thành dưới kèm nhồi máu thất phải ở người cao tuổi với độ nhạy (Se) 90%, độ đặc hiệu (Sp) 81.1%, chẩn đoán dương tính (Vp) 93.1%. Trong nghiên cứu của Liaquat Ali và cộng sự (2013), cho thấy giá trị chẩn đoán NMCT thất phải của điện tâm đồ độ nhạy của V3R là 70% và V4R là 80% [7]. Theo Timothy (2000), Độ nhạy, độ đặc hiệu trong chẩn đoán NMCT thất phải của V3R là 69% và 97%, còn V4R là 93% và 95% [11]. Nghiên cứu của Tomas Ondus và cộng sự (2013) cho thấy dấu hiệu ST chênh  $> 1,0\text{mm}$  ở chuyển đạo V4R là đặc trưng tin cậy trong chẩn đoán NMCT thất phải, với độ nhạy 100%, đặc hiệu 87% và độ chuẩn xác là 92%. [12]. Do tính đơn giản và độ nhạy, độ đặc hiệu cao của V3R và V4R, việc ghi thêm V3R và V4R là một phần quan trọng của việc phát hiện sớm có kèm nhồi



máu thất phải trong kiểm tra điện tâm đồ ở bệnh nhân NMCT thành dưới cấp tính.

Việc đo điện tâm đồ với các chuyển đạo bên phải cần được chỉ định ở tất cả các bệnh nhân có biểu hiện NMCT cấp thành dưới, sẽ chẩn đoán sớm và giúp phân tầng bệnh nhân có NMCT thất phải đi kèm, để kích hoạt ngay việc áp dụng quy trình điều trị tích cực thích hợp để kiểm soát việc tăng nguy cơ tử vong do biến chứng rối loạn nhịp tim nặng và sốc tim.

## 5. Kết luận

Đặc điểm lâm sàng và tỷ lệ của nhồi máu cơ tim thất phải ở người cao tuổi:

- Tỷ lệ NMCT cấp thành dưới kèm nhồi máu thất phải là 70.7%; Tăng huyết áp và bệnh tim thiếu máu cục bộ là yếu tố nguy phổ biến nhất ở nhóm này; lâm sàng với 100% bệnh nhân có cơn đau thắt ngực điển hình, và 27.6% có rối loạn nhịp tim.

- NMCT cấp thành dưới kèm nhồi máu thất phải có tỷ lệ tổn thương ý nghĩa qua chụp động mạch vành với hẹp động mạch vành phải 89.7%, hẹp động mạch vành trái nhánh mũ 55.2%, và hẹp cả 2 nhánh là 51.7%, cao hơn rất nhiều so với nhóm NMCT thành dưới đơn thuần, sự khác biệt này có ý nghĩa thống kê với  $p < 0.05$ .

Giá trị chẩn đoán của ST chênh lên  $\geq 1\text{mm}$  ở chuyển đạo V3R hoặc V4R trên điện tâm đồ trong NMCT cấp thành dưới kèm nhồi máu thất phải ở người cao tuổi với độ nhạy 90%, độ đặc hiệu 81.1%, chẩn đoán dương tính 93.1%.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Hoàng Quốc Hòa (2010). Khảo sát đặc điểm 25 bệnh nhân nhồi máu cơ tim thất phải ST chênh lên. Tạp chí Y Học Tp. Hồ Chí Minh.
- [2] Thạch Hoàng Sơn, Nguyễn Thị Diễm (2015). Đặc điểm lâm sàng, cận lâm sàng và một số biến chứng tại

tim của bệnh nhân nhồi máu cơ tim cấp thành dưới, thất phải tại Bệnh viện Đa khoa Trung ương Cần Thơ năm 2014-2015. Luận văn Thạc sĩ, Đại học Y Dược TP. Hồ Chí Minh.

- [3] Châu Thành Vinh, Hồ Thượng Dũng, Đoàn Văn Đệ (2016). Đặc điểm lâm sàng, cận lâm sàng và tổn thương động mạch vành ở bệnh nhân nhồi máu cơ tim cấp thành dưới ở BV Thống Nhất.
- [4] Daanish Aijaz Chhapra, et al (2013). A study of the clinical profile of right ventricular infarction in context to inferior wall myocardial infarction in a tertiary care centre, *J Cardiovasc Dis Res*. 2013 Sep, 4(3): 170-176.
- [5] Foussas SG., Zairis MN., Tsiaousis GZ., et al (2010). The impact of right ventricular involvement on the postdischarge long-term mortality in patients with acute inferior ST-segment elevation myocardial infarction. *Angiology* 2010, Vol 61, pp. 179-183.
- [6] Jacobs AK., Leopold JA., Bates E., et al (2003). Cardiogenic shock caused by right ventricular infarction: A report from the SHOCK registry. *J Am Coll Cardiol* 2003, Vol 41, pp. 1273-1279.
- [7] Moye S., Carney MF., Holstege C., Mattu A., Brady WJ. (2005). The electrocardiogram in right ventricular myocardial infarction. *Am J Emerg Med* 2005, Vol 23, pp. 793-799.
- [8] Liaquat Ali et al (2013). In hospital outcome of acute inferior with right ventricular or posterior wall Myocardial Infarction. *Ann. Park. Ins. Med. Sci.* 2013, 9(4): pp. 219-224.
- [9] Shah Sawar, Muhammad Noman Bais, Zeeshan Sattar, Sabeen Khan, Nazish Bais (2016). The prevalence of right ventricular infarct in patients with Inferior wall MI. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, January-April, 2016, Vol. 9, No. 1.
- [10] Showkat A. Haji, Assad Movahed (2000). Right ventricular infarction – Diagnosis and Treatment. *Clin Cardiol*, Vol 23, pp. 473-482.
- [11] Timothy (2000). Acute inferior myocardial infarction with right ventricular involvement resembling acute anteroseptal myocardial infarction. *Cardiac Catheterization Laboratory*, Lankenau Medical Center.
- [12] Tomas Ondrus, et al (2013). Right ventricular myocardial infarction: From pathophysiology to prognosis. *Exp Clin Cardiol* 2013, Vol 18 (No. 1), pp. 27-30.

# FR-DE Excel Solver: Differential Evolution with Deb's feasibility rules for solving constrained optimization problems in civil engineering

Sử dụng thuật toán tiến hóa vi phân kết hợp các quy tắc của Deb để giải các bài toán tối ưu hóa có điều kiện ràng buộc trong ngành xây dựng

Hoàng Nhật Đức  
Nhat Duc Hoang

*Institute of Research and Development, Duy Tan University, Danang, Vietnam  
Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ cao, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam*

*(Ngày nhận bài: 27/07/2019, ngày phản biện xong: 30/07/2019, ngày chấp nhận đăng: 20/08/2019)*

## Abstract

Constrained optimization is an important task in civil engineering. The objective of this task is to determine a solution with the most desired objective function value that guarantees the satisfactions of constraints. The Differential Evolution (DE) is a powerful evolutionary algorithm for solving global optimization tasks. Our research develops an optimization model based on the DE and feasibility rules proposed by Deb [1]. To facilitate the application of the optimization model, a DE Solver, named as FR-DE, has been developed in Microsoft Excel VBA platform. Experimental outcomes with several basic constrained design problems prove that the FR-DE developed in this study can be a useful tool for solving constrained optimization problems.

*Keywords:* Constrained optimization, Differential Evolution, Feasibility Rules, Evolutionary Algorithm.

## Tóm tắt

Tối ưu hóa có ràng buộc là một nhiệm vụ quan trọng trong xây dựng dân dụng. Mục tiêu của nhiệm vụ này là xác định một giải pháp có giá trị hàm mục tiêu tối ưu, đồng thời đảm bảo sự thỏa mãn của các ràng buộc. Thuật toán tiến hóa vi phân (DE) là một thuật toán tiến hóa mạnh để giải quyết các nhiệm vụ tối ưu hóa toàn cục. Nghiên cứu của chúng tôi phát triển một mô hình tối ưu hóa dựa trên thuật toán DE và các quy luật về tính khả thi của giải pháp do Deb [1] đề xuất. Để tăng cường việc áp dụng mô hình tối ưu hóa, một chương trình tính toán DE Solver, được đặt tên là FR-DE, đã được phát triển trong nền tảng VBA của Microsoft Excel. Kết quả thử nghiệm với một số bài toán cơ bản chứng minh rằng FR-DE được phát triển trong nghiên cứu này có thể là một công cụ hữu ích để giải quyết các vấn đề tối ưu hóa bị ràng buộc.

*Từ khóa:* Tối ưu hóa có điều kiện ràng buộc, Tiến hóa vi phân, Quy tắc khả thi, Thuật toán tiến hóa.

## 1. Introduction

Constrained optimization problems are ubiquitous in civil engineering. Civil engineers have to resolve complex decision making tasks regarding to project financial planning [2, 3],

project schedule optimization [4, 5], time-cost trade-off [6], production planning [7], resource utilization optimization [8-10], and various structural optimization problems [11-13]. A constrained optimization problem is typically

more challenging than an unconstrained one. It is because the task of finding optimal solutions must be performed concurrently with identifying feasible domains of solutions.

A general form of a constrained optimization problem can be presented as follows [14, 15]:

Find min. of  $f(x)$ :

$$f(x_1, x_2, x_d, \dots, x_D), d = 1, 2, \dots, D \quad (1)$$

Subjected to:

$$g_q(x_1, x_2, x_d, \dots, x_D) \leq 0, d = 1, 2, \dots, D, q = 1, 2, \dots, M \quad (2)$$

$$h_r(x_1, x_2, x_d, \dots, x_D) = 0, d = 1, 2, \dots, D, r = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$x_d^L \leq x_d \leq x_d^U \quad (4)$$

where,  $f(x_1, x_2, \dots, x_d)$  is the objective function.  $x_1, x_2, \dots, x_d$  are called decision variables.  $g_q(x_1, x_2, \dots, x_d)$  and  $h_r(x_1, x_2, \dots, x_d)$  are inequality and equality constraints.  $x_d^L, x_d^U$  are lower and upper boundaries of  $x_d$ .  $D$  denotes the number of decision variables.  $M$  and  $N$  are the numbers of inequality and equality constraints.

For dealing with constrained optimization, penalty functions are commonly employed [1, 15-17]. Nhat-Duc and Cong-Hai [13] developed a DE based constrained optimization solver using the penalty functions. The methods based on the penalty functions are easy to construct and implement; they can deliver acceptable performances in various case studies [5, 7]. However, this type of constraint handling also suffers from certain drawbacks including the difficulty in selecting penalty coefficients [17].

To resolve the drawbacks of the penalty function methods, Deb [1] put forward an efficient constraint handling algorithm based on feasibility rules. The advantage of Deb's feasibility rules is that they can be directly integrated into the selection phase of evolutionary algorithms. Therefore, evolutionary algorithms used with these feasibility rules are free from the difficulties of selecting penalty coefficients as

presented in the conventional penalty function approaches.

The spreadsheets in Microsoft Excel represent a useful tool for civil engineering calculation. However, the number of open Excel solvers that are capable of solving constrained optimization is still very limited. This study developed a DE Solver named as FR-DE to ease the application of the optimization model in civil engineering and other disciplines. The newly developed program has been tested with several basic constrained optimization problems.

## 2. Research methodology

### 2.1 Differential Evolution (DE)

Given that the problem at hand is to minimize a cost function  $f(X)$ , where the number of decision variables is  $D$ , each stages of DE [18, 19] can be described in detail. The whole process of the DE algorithm is repeated in  $G_{max}$  number of generations.

**(i) Initialization:** In this step, the search process begins by randomly generating  $NP$  number of  $D$ -dimensional parameter vectors  $X_{i,g}$  where  $i = 1, 2, \dots, NP$  and  $g$  represents the current generation. Herein,  $NP$  does not change during the optimization process. Thus, these individuals can be generated in the following manner [8]:

$$X_{i,0} = LB + rand [0,1] \times (UB - LB) \quad (5)$$

where  $X_{i,0}$  denotes the decision variable  $i$  at the first generation.  $rand[0,1]$  is a uniformly distributed random number between 0 and 1.  $LB$  and  $UB$  represent two vectors of lower bound and upper bound for the decision variables.

**(ii) Mutation:** In this step, a vector in the current population (or parent) called a target vector is selected. The terms "parent" and "target vector" are used interchangeably. For each target vector, a mutant vector is created in the following way:

$$V_{i,g+1} = X_{r1,g} + F(X_{r2,g} - X_{r3,g}) \quad (6)$$

where  $r1, r2$ , and  $r3$  denote three random indexes lying between 1 and  $NP$ . These 3 randomly

chosen integers are selected to be different from the index  $i$  of the target vector.  $F$  represents the mutation scale factor, which controls the amplification of the differential variation between  $X_{r2,g}$  and  $X_{r3,g} \cdot V_{i,g+1}$  denotes the newly created mutant vector.

**(iii) Crossover:** This step is to diversify the current population by exchanging components of target vector and mutant vector. A new vector, named as trial vector, is created. The trial vector is also called the offspring. The trial vector is generated as follows:

$$U_{j,i,g+1} = \begin{cases} V_{j,i,g+1}, & \text{if } rand_j \leq Cr \text{ or } j = rnb(i) \\ X_{j,i,g}, & \text{if } rand_j > Cr \text{ and } j \neq rnb(i) \end{cases} \quad (7)$$

where  $U_{j,i,g+1}$  denotes the trial vector.  $j$  is the index of element for any vector.  $rand_j$  denotes a uniform random number lying between 0 and 1.  $Cr$  represents the crossover probability, which is needed to be determined by users.  $rnb(i)$  is a randomly chosen index of  $\{1,2,\dots, NP\}$  which guarantees that at least one parameter from the mutant vector ( $V_{j,i,g+1}$ ) must be copied to the trial vector ( $U_{j,i,g+1}$ ).

**(iv) Selection:** The trial vector is compared to the target vector in this step. If the trial vector has a lower objective function value than its parent, the trial vector replaces the position of the target vector. The selection operator can be described as follows:

$$X_{i,g+1} = \begin{cases} U_{i,g} & \text{if } f(U_{i,g}) \leq f(X_{i,g}) \\ X_{i,g} & \text{if } f(U_{i,g}) > f(X_{i,g}) \end{cases} \quad (8)$$

**2.2 Feasibility rule based constraint handling method**

Deb [1] proposes the following feasibility rules for coping with constrained optimization problems:

1. Among one feasible solution and one infeasible solution, the feasible solution always wins.

2. Among two feasible solutions, the one having lower objective function value is preferred.

3. Among two infeasible solutions, the one having smaller degree of constraint violation is considered to be better.

Based on the aforementioned feasibility rules, the formulation of the objective function is revised as follows:

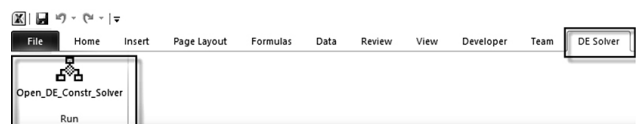
$$F(X) = \begin{cases} F(X) & \text{if } g_j(x) \geq 0 \quad \forall j \\ f_{\max} + \sum_{j=1}^m g_j(x) & \end{cases} \quad (9)$$

where  $f_{\max}$  is the objective function value of the worst solution in the set of feasible ones.

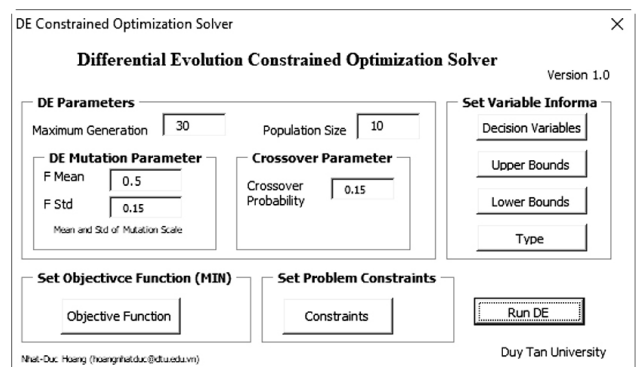
**3. Applications of the FR-DE-Excel Solver**

The FR-DE-Excel Solver tool has been developed in Visual Basic for Applications (VBA) and can be accessed from the Excel ribbon entitled “Open\_DE\_Constr\_Solver” (see Fig. 1a). The graphical user interface of the program is shown in Fig. 1b. The user needs to define the decision variables, upper bounds, lower bounds, type (real, integer, or binary), constraints, and the objective function of the problem. It is noted that all of the constraints must be described in the following form:

$$G(x) \geq 0 \quad (10)$$



(a)



(b)

Fig 1. FR-DE-Excel Solver: (a) Open the solver from Excel Ribbon and (b) Graphical user interface of the program



To illustrate the application of the newly developed tool, the following simple constrained optimization problem is used:

$$\text{Min. } f(x,y) = (x-0.8)^2 + (y-0.3)^2$$

$$\text{S.t. } g_1(x,y) = 1 - [(x-0.2)^2 + (y-0.5)^2]/0.16 \geq 0$$

$$g_2(x,y) = [(x+0.5)^2 + (y-0.5)^2]/0.81 - 1 \geq 0$$

	A	B	C	D	E
1		<b>Optimal Solution</b>	<b>Lower Bounds</b>	<b>Upper Bounds</b>	<b>Type</b>
2	X1 =	0.59	0.00	1.00	1.00
3	X2 =	0.45	0.00	1.00	1.00
4	F =	0.07			
5					
6		<b>LHS</b>		<b>RHS</b>	
7	<b>Constraint 1</b>	0.03	≥	0.00	
8	<b>Constraint 2</b>	0.47	≥	0.00	
9					
10		<b>Note for variable type</b>			
11	0	Binary	LB = 0, UB = 1		
12	1	Real			
13	2	Integer			

Fig 2. Optimization result of FR-DE-Excel Solver (Application 1)

In the next application, the FR-DE-Excel Solver is applied to optimize a simple structure optimization problem (see Fig. 3). A structure consisting of two bars is designed to withstand a force F. With  $\alpha = 30^\circ$ , the optimization problem is formulated as follows [20]:

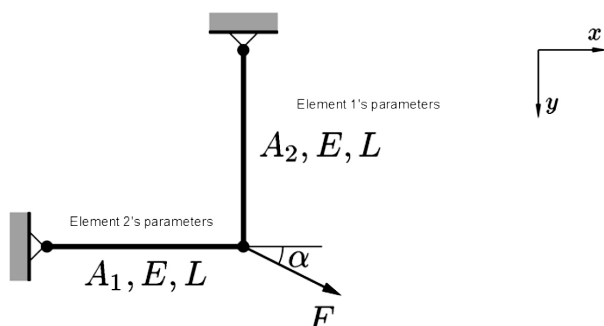
$$\text{Min } (A1 + A2) \cdot \gamma \cdot L \tag{11}$$

S.t:

$$A1 \geq F \cos(\alpha) / \sigma_{\text{allow}} \tag{12}$$

$$A2 \geq F \sin(\alpha) / \sigma_{\text{allow}} \tag{13}$$

where d1 và d2 are the two decision variables which are diameters of the two bars. L is the length of the bar.  $\gamma$  is the density of the material.  $\sigma_{\text{allow}}$  is the allowable stress. A1 and A2 are the areas of the bars.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	<b>Decision Variables</b>	d1=	6.6413 mm	A1 =	34.6410	mm <sup>2</sup>	Gamma=	0.000007850	kg/mm <sup>3</sup>	
2		d2=	5.0529 mm	A2 =	20.0527	mm <sup>2</sup>	L =	1000	mm	
3							F =	10000	N	
4	<b>Objective Function</b>						$\sigma_{\text{allow}}$ =	250.0000	MPa	
5	Min f =	0.429345526	kg				a=	0.5236	Rad	
6										
7	<b>Lower Bound</b>	d1	1.00 mm	Constraint 1	$\alpha$ 1=	F x cos(a)/A1	<=	$\sigma_{\text{allow}}$		
8		d2	1.00 mm	Constraint 2	$\alpha$ 2=	F x sin(a)/A2	<=	$\sigma_{\text{allow}}$		
9	<b>Upper Bound</b>	d1	30.00 mm							
10		d2	30.00 mm	Constraint 1	0.00		>=	0.0000		
11	<b>Variable Type</b>	d1	1.00 (real)	Constraint 2	0.66		>=	0.0000		
12		d2	1.00 (real)							
13										

Fig 3. Optimization result of FR-DE-Excel Solver (Application 2)

Using the FR-DE-Excel Solver tool with the number of members and generations of DE algorithm is 12 and 100, the optimization results of the first and second applications are provided in Fig. 2 and Fig. 3. As can be seen from these two figures, the Excel Solver based on DE and Deb's feasibility rules can help to find good values of the decision variables which result in low value of the objective function and satisfy all the constraints.

#### 4. Conclusion

In this study, a FR-DE-Excel Solver based on the DE algorithm and the feasibility rules is developed to solve constrained optimization problems. The FR-DE-Excel Solver is programmed in VBA language. The users can easily formulate the optimization problems and solve them in Excel. Two simple applications are used to demonstrate the effectiveness of the FR-DE-Excel Solver. Thus, the newly developed tool can be highly useful for engineers in dealing with complex optimization tasks.

#### Supplementary material

The Excel solver can be downloaded at [https://github.com/NhatDucHoang/FR\\_DE\\_Solver](https://github.com/NhatDucHoang/FR_DE_Solver)

#### References

[1] K. Deb, "An efficient constraint handling method for genetic algorithms," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 186, pp. 311-338, 2000/06/09/ 2000.

[2] K. C. LAM, T. HU, S. O. CHEUNG, R. K. YUEN, and Z. M. DENG, "Multi-project cash flow optimization: non-inferior solution through neuro-multiobjective algorithm," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 8, pp. 130-144, 2001.



- [3] E. A. Donkor and M. Duffey, "Optimal Capital Structure and Financial Risk of Project Finance Investments: A Simulation Optimization Model With Chance Constraints," *The Engineering Economist*, vol. 58, pp. 19-34, 2013/01/01 2013.
- [4] N. Đ. Hoàng, Q. L. Nguyễn, and Q. N. Phạm, "Tối ưu hóa tiến độ và chi phí cho dự án xây dựng sử dụng thuật toán tiến hóa vi phân," *Tạp Chí Khoa Học và Công Nghệ, Đại Học Duy Tân*, vol. 1, pp. 135–141, 2015.
- [5] N.-D. Hoang, "NIDE: A Novel Improved Differential Evolution for Construction Project Crashing Optimization," *Journal of Construction Engineering*, vol. 2014, p. 7, 2014.
- [6] I.-T. Yang, "Using Elitist Particle Swarm Optimization to Facilitate Bicriterion Time-Cost Trade-Off Analysis," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 133, pp. 498-505, 2007.
- [7] N.-D. Hoang, Q.-L. Nguyen, and Q.-N. Pham, "Optimizing Construction Project Labor Utilization Using Differential Evolution: A Comparative Study of Mutation Strategies," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2015, p. 8, 2015.
- [8] H.-H. Tran and N.-D. Hoang, "A Novel Resource-Leveling Approach for Construction Project Based on Differential Evolution," *Journal of Construction Engineering*, vol. 2014, p. 7, 2014.
- [9] M.-Y. Cheng, D.-H. Tran, and N.-D. Hoang, "Fuzzy clustering chaotic-based differential evolution for resource leveling in construction projects," *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 23, pp. 113-124, 2017/01/02 2017.
- [10] K. El-Rayes and D. H. Jun, "Optimizing Resource Leveling in Construction Projects," *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 135, pp. 1172-1180, 2009.
- [11] V. Govindaraj and J. V. Ramasamy, "Optimum detailed design of reinforced concrete continuous beams using Genetic Algorithms," *Computers & Structures*, vol. 84, pp. 34-48, 2005/12/01/ 2005.
- [12] C. A. Coello Coello, A. D. Christiansen, and F. S. Hernández, "A simple genetic algorithm for the design of reinforced concrete beams," *Engineering with Computers*, vol. 13, pp. 185-196, December 01 1997.
- [13] H. Nhat-Duc and L. Cong-Hai, "Sử dụng thuật toán tiến hóa vi phân cho các bài toán tối ưu hóa kết cấu với công cụ DE-Excel solver," *DTU Journal of Science and Technology*, vol. 03, pp. 97-102, 2019.
- [14] G. V. Reklaitis, A. Ravindran, and K. M. Ragsdell, "Engineering Optimization Methods and Applications," *Wiley, New York*, 1983.
- [15] N. Đ. Hoàng and D. T. Vũ, "Tối ưu hóa kết cấu có điều kiện ràng buộc sử dụng thuật toán bầy đom đóm và các hàm phạt," *Tạp Chí Khoa Học và Công Nghệ, Đại Học Duy Tân*, vol. 2, pp. 75–84, 2015.
- [16] O. Kramer, "A Review of Constraint-Handling Techniques for Evolution Strategies," *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, vol. 2010, 2010.
- [17] R. M. John, G. R. Robert, and B. F. David, "A Survey of Constraint Handling Techniques in Evolutionary Computation Methods," in *Evolutionary Programming IV: Proceedings of the Fourth Annual Conference on Evolutionary Programming*, ed: MITP, 1995, p. 1.
- [18] K. Price, R. M. Storn, and J. A. Lampinen, *Differential Evolution - A Practical Approach to Global Optimization*: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.
- [19] R. Storn and K. Price, "Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces," *Journal of Global Optimization*, vol. 11, pp. 341-359, December 01 1997.
- [20] P. W. Christensen and A. Klarbring, *An Introduction to Structural Optimization*: Springer, 2009.

# Hiệu năng mạng hợp tác đa truy cập phi trực giao cho đường lên với cơ chế khuếch đại và chuyển tiếp

Performance analysis of uplink cooperative non-orthogonal multiple access networks with amplify-and-forward relaying strategy

Trương Văn Trương\*, Võ Minh Thông  
Van Truong Truong, Minh Thong Vo

*Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam  
Faculty of Electrical & Electronics Engineering, Duy Tan University, Da nang, Vietnam*

*(Ngày nhận bài: 26/08/2019, ngày phản biện xong: 29/08/2019, ngày chấp nhận đăng: 30/08/2019)*

## Tóm tắt

Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu hệ thống mạng hợp tác đa truy cập phi trực giao (NOMA) cho đường truyền lên sử dụng cơ chế khuếch đại và chuyển tiếp (AF). Cụ thể, hai máy người dùng sử dụng đa truy cập phi trực giao truyền thông tin đến trạm gốc (BS) bằng sự hợp tác của máy chuyển tiếp AF. Các biểu thức xác suất dừng hệ thống và thông lượng của hai người dùng được mô tả dựa trên thống kê của tỷ số tín hiệu trên nhiễu (SNR) và tỷ số tín hiệu trên nhiễu và liên nhiễu (SINR) trên đường truyền bằng cách sử dụng phương pháp bậc hai Gaussian-Chebyshev. Để tìm hiểu sâu hơn, các kết quả về số liệu sẽ được trình bày theo hai tham số chính của hệ thống là công suất truyền và khoảng cách truyền để làm rõ ưu điểm của phương thức truyền hợp tác. Các kết quả phân tích đạt được được kiểm chứng thông qua mô phỏng Monte-Carlo trên phần mềm Matlab.

*Từ khóa:* NOMA, khuếch đại và chuyển tiếp, chuyển tiếp, xác suất dừng hệ thống, thông lượng.

## Abstract

In this paper, we study the cooperative transmission of uplink non-orthogonal multiple access (NOMA) networks using amplification and relay (AF). Specifically, two users applying NOMA scheme transmit the message to base station (BS) by the help of amplify-and-forward (AF) relay. The expressions of outage probability and throughput of two users are derived based on the statistical characteristics of signal-to-noise ratio (SNR) and signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR) of transmission links by using Gaussian-Chebyshev quadrature method. In order to gain insight into the behaviour of this considered system, the numerical results are provided according to the system key parameters, e.g., transmit power, distances. Finally, the correctness of our analysis is verified by the Monte-Carlo simulation results.

*Keywords:* NOMA, amplify-and-forward, relay, outage probability, throughput.

## 1. Giới thiệu

Với sự phát triển nhanh chóng của các thiết bị không dây như smart phone, cảm biến không dây, hệ thống tự động, hệ thống Internet of Things (IoT), chúng ta cần một mạng di động thế hệ mới đảm bảo tính thời gian thực. Mạng thế hệ mới 5G

có khả năng làm việc với số lượng người dùng rất lớn với tốc độ truyền tải dữ liệu cực cao (cao hơn 100 lần so với 4G). Trong những năm gần đây, kỹ thuật NOMA được nhận định là ứng cử viên sáng giá cho mạng thế hệ mới cả trong công nghiệp

lần học thuật bởi khả năng đáp ứng đa truy cập dùng chung tài nguyên tần số tại cùng một thời điểm [1]-[3]. Tuy nhiên, NOMA vẫn chưa được đưa vào thương mại hóa do mối quan ngại về độ phức tạp trong tính toán của các loại máy thu loại bỏ nhiễu liên tiếp (SIC) [3]. Mặc dù NOMA có thể được áp dụng trong cả hệ thống truyền dẫn đường lên và đường xuống, nhưng hiện nay hầu hết các nghiên cứu về NOMA chủ yếu tập trung vào hệ thống đường xuống [4]-[7]. Trong khi đó, trong mạng giám sát và mạng cảm biến không dây, việc truyền dẫn đường lên quan trọng hơn đường xuống. Mặt khác, chúng ta có thể áp dụng kỹ thuật chuyển tiếp để cải thiện hiệu suất và mở rộng vùng phủ sóng của các mạng. Có rất nhiều nghiên cứu tập trung vào mạng chuyển tiếp đường xuống [1],[5],[8]-[12]. Như vậy, sự kết hợp giữa các kỹ thuật chuyển tiếp này và NOMA có thể được xem xét áp dụng trong các mạng thế hệ tiếp theo. Theo sự hiểu biết của chúng tôi, hiện nay đã có một vài công trình nghiên cứu về các mạng chuyển tiếp và mạng hợp tác NOMA đường lên [13]-[17]. Trong [13], các tác giả đã đề xuất một mô hình Relay-Aided NOMA cho các mạng di động đường lên trong đó số lượng ăng-ten tại mỗi BS bị giới hạn bởi số lượng user trong mỗi vùng phủ sóng. Tác giả trong [14] đã nghiên cứu một kịch bản NOMA đường lên hai user, trong đó người dùng ở trung tâm cell (người dùng gần) sẽ giao tiếp trực tiếp với BS, trong khi đó, người dùng ở biên vùng phủ sóng (người dùng xa) sẽ cần sự trợ giúp của một máy giải mã chuyển tiếp (DF) song công. Hiệu năng của hệ thống này được nghiên cứu dựa trên khả năng tổng hợp của việc loại bỏ nhiễu hoàn toàn và không hoàn toàn. Trong công trình [16], các tác giả đã mô tả hoạt động của hệ thống NOMA đường lên trong đó người dùng ở gần BS sẽ hoạt động như một máy chuyển tiếp dữ liệu song công để hỗ trợ cho người dùng ở xa BS. Hiệu năng của hệ thống này được phân tích dựa trên các thông số xác suất dừng hệ thống và tốc độ tổng trung bình. Các tác giả của [17] đã nghiên cứu hệ thống NOMA hợp tác đường lên, trong đó người

dùng ở gần liên lạc với trạm cơ sở đồng thời sử dụng máy chuyển tiếp bán song công DF để hỗ trợ người dùng ở xa. Theo như hiểu biết của chúng tôi, hiện nay chưa có nghiên cứu nào về hoạt động của hệ thống NOMA hợp tác đường lên cho hai người dùng sử dụng cơ chế AF. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất một kịch bản NOMA đường lên hai người dùng, trong đó hai người dùng áp dụng cơ chế NOMA để truyền thông tin của họ tới BS nhờ sự hợp tác của máy khuếch đại và chuyển tiếp AF. Để phân tích hiệu suất của hệ thống này, chúng tôi tìm ra các biểu thức xác suất dừng hoạt động và thông lượng cho hai người dùng bằng cách sử dụng phương pháp bậc hai Gaussian-Chebyshev. Để tìm hiểu sâu hơn, các kết quả số sẽ được tính toán theo các tham số chính: công suất truyền, khoảng cách, nhằm mục đích tìm cách cải thiện hiệu năng của hệ thống này.

Phần còn lại của bài viết này được tổ chức như sau. Mô hình hệ thống được trình bày trong Phần II. Phần III trình bày phân tích hiệu năng hệ thống về xác suất dừng hệ thống và thông lượng cho từng người dùng riêng biệt. Phần IV cung cấp các kết quả số liệu kèm theo một số thảo luận. Cuối cùng, chúng tôi đưa ra các kết luận của nghiên cứu trong phần V.

## 2. Mô hình hệ thống

Hình 1 mô tả một hệ thống hợp tác NOMA đường lên dùng cơ chế khuếch đại và chuyển tiếp AF, trong đó các tín hiệu được truyền từ hai người dùng NOMA ( $U_1$  và  $U_2$ ) đến trạm gốc (BS) với sự hợp tác của máy chuyển tiếp AF (R). Hai người dùng truyền thông tin đến BS, tuy nhiên do môi trường bị can nhiễu nghiêm trọng nên việc truyền cần có sự trợ giúp của máy chuyển tiếp để hỗ trợ chuyển tiếp tín hiệu nhận được từ người dùng đến BS. Tất cả các máy người dùng và máy chuyển tiếp là các thiết bị một ăng-ten và hoạt động ở chế độ bán song công, chẳng hạn như các nút cảm biến không dây.

Giao thức hoạt động cho hệ thống này được đề xuất như sau:

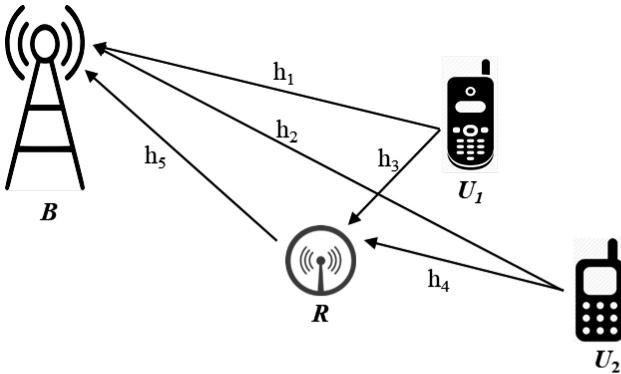
**Pha 1:**  $U_1$  và  $U_2$  đồng thời truyền tín hiệu của chúng ( $s_1, s_2$ ) đến BS (truyền trực tiếp) và R (chuyển tiếp) trong khoảng thời gian  $T/2$ , với  $T$  là thời gian khối.

**Pha 2:** Trong khoảng thời gian  $T/2$  còn lại, R khuếch đại và chuyển tiếp tín hiệu nhận được từ R đến BS.

Cuối cùng, BS lựa chọn kết hợp (selection combining - SC) giữa đường trực tiếp và chuyển tiếp rồi dùng SIC tách sóng của  $U_1$  và  $U_2$ .

Chúng tôi tiếp tục mô tả chi tiết dưới dạng toán học từng pha như sau:

**Pha 1:** Áp dụng cơ chế NOMA,  $U_1$  và  $U_2$  đồng thời truyền tín hiệu của chúng ( $s_1, s_2$ ) đến BS bằng công suất truyền riêng của chúng trên cùng tần số.



Hình 1. Mô hình hệ thống hợp tác NOMA đường lên dùng cơ chế khuếch đại-chuyển tiếp

Tín hiệu nhận được tại BS được viết là:

$$y_1 = \sqrt{\frac{P_1}{d_1^\theta}} h_1 s_1 + \sqrt{\frac{P_2}{d_2^\theta}} h_2 s_2 + n_1. \quad (1)$$

Trong đó,  $P_i$  và  $h_i$  ( $i = \{1, 2\}$ ) tương ứng là công suất truyền và các hệ số kênh truyền fading Rayleigh của liên kết  $U_1 - BS$  và  $U_2 - BS$ . Chúng ta giả sử rằng  $|h_1|^2 > |h_2|^2$  [15]. Ngoài ra,  $n_1$  là nhiễu Gaussian trắng cộng (AWGN) với trung bình bằng 0 và phương sai  $\sigma^2$ ,  $n_1 \sim CN(0, \sigma^2)$ ;  $d_i$  biểu thị cho khoảng cách Euclide của  $U_i$  đến BS và  $\theta$  biểu thị cho hệ số mũ suy hao đường truyền.

Tín hiệu nhận được tại R có dạng sau:

$$y_2 = \sqrt{\frac{P_1}{d_3^\theta}} h_3 s_1 + \sqrt{\frac{P_2}{d_4^\theta}} h_4 s_2 + n_2. \quad (2)$$

Trong đó,  $h_j$  ( $j = \{3, 4\}$ ) tương ứng là các hệ số kênh truyền fading Rayleigh của liên kết  $U_1 - R$  và  $U_2 - R$ ;  $n_2$  là nhiễu Gaussian trắng cộng (AWGN) với trung bình bằng 0 và phương sai  $\sigma^2$ ,  $n_2 \sim CN(0, \sigma^2)$ ;  $d_j$  biểu thị cho khoảng cách Euclide của  $U_i$  đến R và  $\theta$  biểu thị cho hệ số mũ suy hao đường truyền.

**Pha 2:** Áp dụng cơ chế AF, tín hiệu truyền tại nút chuyển tiếp có công suất truyền  $P_3$  được cho bởi công thức:

$$y_R = G y_1. \quad (3)$$

Trong đó,  $G$  là hệ số khuếch đại ở máy chuyển tiếp R theo cơ chế AF, được tính toán với thực tế là công suất truyền của nút chuyển tiếp bị ràng buộc bởi  $P_3$ . Do đó,  $G$  được biểu diễn là:

$$G = \sqrt{\frac{P_3}{P_1 |h_3|^2 / d_3^\theta + P_2 |h_4|^2 / d_4^\theta + \sigma^2}}. \quad (4)$$

Tín hiệu nhận được ở BS khi phát từ R có dạng:

$$y_3 = \frac{G h_5}{\sqrt{d_5^\theta}} \left( \sqrt{\frac{P_1}{d_3^\theta}} h_3 s_1 + \sqrt{\frac{P_2}{d_4^\theta}} h_4 s_2 + n_2 \right) + n_3. \quad (5)$$

Trong đó,  $h_5$  là hệ số kênh fading Rayleigh giữa R và BS,  $d_5$  là khoảng cách Euclide của R và BS,  $n_3 \sim CN(0, \sigma^2)$ .

Việc khử liên nhiễu nối tiếp (SIC) được áp dụng tại BS để phát hiện tín hiệu của  $U_1$  và  $U_2$ . Do điều kiện kênh truyền tốt hơn,  $s_1$  sẽ được phát hiện trước tiên, sau đó  $s_2$  là thành phần còn lại khi thực hiện phép trừ  $y_2$  cho  $s_1$ .

Theo đường trực tiếp, giá trị SINR tức thời để phát hiện  $s_1$  tại BS được cho bởi công thức:

$$\gamma_{s_1}^d = \frac{P_1 |h_1|^2 / d_1^\theta}{P_2 |h_2|^2 / d_2^\theta + \sigma^2} = \frac{\gamma_1 |h_1|^2}{\gamma_2 |h_2|^2 + 1}. \quad (6)$$

Trong đó,  $\gamma_1 = \frac{P_1}{\sigma^2 d_1^\theta}$ ,  $\gamma_2 = \frac{P_2}{\sigma^2 d_2^\theta}$  lần lượt là SNRs trung bình tại  $U_1, U_2$ . Tương tự, giá trị SINR tức thời để phát hiện  $s_2$  tại BS có dạng:

$$\gamma_{s_2}^d = \gamma_2 |h_2|^2. \quad (7)$$

Theo đường chuyển tiếp, SINR tức thời để phát hiện  $s_1$  tại BS được cho bởi công thức:

$$\gamma_{s_1}^r = \frac{P_1 G^2 |h_3|^2 |h_5|^2 / d_3^\theta d_5^\theta}{G^2 (P_2 |h_4|^2 / d_4^\theta + \sigma^2) |h_5|^2 / d_5^\theta + \sigma^2}$$

$$= \frac{\gamma_3 \gamma_5 |h_3|^2 |h_5|^2}{\gamma_4 \gamma_5 |h_4|^2 |h_5|^2 + \gamma_3 |h_3|^2 + \gamma_4 |h_4|^2 + \gamma_5 |h_5|^2 + 1} \quad (8)$$

Trong đó,  $\gamma_3 = \frac{P_1}{\sigma^2 d_3^\theta}, \gamma_4 = \frac{P_2}{\sigma^2 d_4^\theta}, \gamma_5 = \frac{P_3}{\sigma^2 d_5^\theta}$ . Sau khi thực hiện trừ  $y_3$  cho thành phần  $s_1$ , ta được SINR để phát hiện  $s_2$  tại BS như sau:

$$\gamma_{s_2}^r = \frac{\gamma_4 \gamma_5 |h_4|^2 |h_5|^2}{\gamma_3 |h_3|^2 + \gamma_4 |h_4|^2 + \gamma_5 |h_5|^2 + 1} \quad (9)$$

Do BS sử dụng cơ chế lựa chọn kết hợp nên SINR và SNR để phát hiện  $s_1$  và  $s_2$  như sau:

$$\gamma_{s_1} = \max \{ \gamma_{s_1}^d, \gamma_{s_1}^r \} \quad (10)$$

$$\gamma_{s_2} = \max \{ \gamma_{s_2}^d, \gamma_{s_2}^r \} \quad (11)$$

Hệ số kênh truyền  $|h_i|^2, i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$  của mô hình kênh fading Rayleigh có phân bố độc lập và giống nhau (independent and identically distributed - i.i.d) tuân theo phân phối hàm mũ với các tham số  $\lambda_i$ . Hàm mật độ xác suất (Probability Density Function - PDF) và hàm phân phối xác suất tích lũy (Cumulative Distribution Function - CDF) của  $|h_i|^2$  có dạng lần lượt như sau:

$$f_{|h_i|^2}(x) = \frac{1}{\lambda_i} e^{-\frac{x}{\lambda_i}} \quad (12)$$

$$F_{|h_i|^2}(x) = 1 - e^{-\frac{x}{\lambda_i}} \quad (13)$$

### 3. Phân tích hiệu năng của hệ thống

Trong phần này, chúng tôi thực hiện phân tích hiệu năng hệ thống bằng cách tính toán các biểu thức xác suất dừng hệ thống ( $P_{out}$ ) và thông lượng ( $\tau$ ).  $P_{out}$  được định nghĩa là xác suất mà dung lượng tức thời giảm xuống dưới ngưỡng cho trước. Giả thiết rằng  $\Omega > 0$  (bps/Hz) là tốc độ dữ liệu bắt buộc tối thiểu cho cả hai user. Do đó,  $P_{out}$  được biểu diễn như sau:

$$P_{out} = \Pr \left( \frac{1}{2} \log_2 (1 + SINR) < \Omega \right) = \Pr \left( SINR < 2^{2\Omega} - 1 \stackrel{\square}{=} \gamma_t \right) \quad (14)$$

Áp dụng NOMA,  $s_1$  được phát hiện trước tiên, sau đó  $s_2$  được tính bằng cách trừ  $y_2$  cho  $s_1$ . Ở đây, chúng tôi giả sử rằng các giá trị ngưỡng để phát hiện  $s_1$  và  $s_2$  là như nhau  $\gamma_t$ . Do đó, trong hệ thống này,  $P_{out}$  để phát hiện  $s_1$ , được ký hiệu là  $P_{out}^{s_1}$  được cho bởi công thức:

$$P_{out}^{s_1} = \Pr(\gamma_{s_1} < \gamma_t) = \Pr(\gamma_{s_1}^d < \gamma_t) \cdot \Pr(\gamma_{s_1}^r < \gamma_t) = I_1 \cdot I_2 \quad (15)$$

Tương tự,  $P_{out}$  để phát hiện  $s_2$ , được ký hiệu là  $P_{out}^{s_2}$  được cho bởi công thức

$$P_{out}^{s_2} = \Pr(\gamma_{s_2} < \gamma_t) = \Pr(\gamma_{s_2}^d < \gamma_t) \cdot \Pr(\gamma_{s_2}^r < \gamma_t) = I_3 \cdot I_4 \quad (16)$$

Tính toán chi tiết cho  $I_1$ , chúng tôi được như sau:

$$I_1 = \Pr(\gamma_{s_1}^d < \gamma_t) = \Pr \left( \frac{\gamma_1 |h_1|^2}{\gamma_2 |h_2|^2 + 1} < \gamma_t, |h_1|^2 > |h_2|^2 \right)$$

$$= \begin{cases} \frac{\lambda_1 \gamma_1 e^{-\frac{\gamma_t}{\lambda_1 \gamma_1}} \left[ 1 - e^{-\frac{(\lambda_2 \gamma_1 + 1) \gamma_t}{\lambda_2 \gamma_1 \gamma_2}} \right] + 4 \lambda_1}{2 \lambda_1 \gamma_1 + \lambda_2 \gamma_2 \gamma_t} \left[ 1 - e^{-\frac{(\lambda_1 + 2) \gamma_t}{\lambda_1 \lambda_2 \gamma_1 \gamma_2}} \right] + 2 \lambda_1 + \lambda_2 & \gamma_t < \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \\ \frac{4 \lambda_1 \gamma_1 e^{-\frac{\gamma_t}{\lambda_1 \gamma_1}} \left[ 1 - e^{-\frac{(\lambda_2 \gamma_1 + 2) \gamma_t}{\lambda_2 \gamma_1 \gamma_2}} \right] - \lambda_1}{2 \lambda_1 \gamma_1 + \lambda_2 \gamma_2 \gamma_t} \left[ 1 - e^{-\frac{(\lambda_1 + 1) \gamma_t}{\lambda_1 \lambda_2 \gamma_1 \gamma_2}} \right] - \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} & \gamma_t > \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \\ 1, & \gamma_t > \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \end{cases} \quad (17)$$

Để dùng cho tính toán  $I_2$  sau này, trước tiên chúng tôi tính các biểu thức của CDF và PDF của

$$X = \frac{\gamma_3 |h_3|^2}{\gamma_4 |h_4|^2 + 1} \text{ như sau:}$$

$$F_X(x) = \Pr \left( \frac{\gamma_3 |h_3|^2}{\gamma_4 |h_4|^2 + 1} < x \right) = 1 - \frac{\lambda_3 \gamma_3 e^{-\frac{x}{\lambda_3 \gamma_3}}}{\lambda_3 \gamma_3 + \lambda_4 \gamma_4 x} \quad (18)$$

$$f_X(x) = \frac{\lambda_3 \gamma_3 \lambda_4 \gamma_4 e^{-\frac{x}{\lambda_3 \gamma_3}}}{(\lambda_3 \gamma_3 + \lambda_4 \gamma_4 x)^2} + \frac{e^{-\frac{x}{\lambda_3 \gamma_3}}}{\lambda_3 \gamma_3 + \lambda_4 \gamma_4 x} \quad (19)$$



Tiếp theo,  $I_2$  được tính như sau:

$$\begin{aligned}
 I_2 &= \Pr \left\{ \frac{\gamma_3 \gamma_5 |h_3|^2 |h_5|^2}{(\gamma_4 |h_4|^2 + 1) \gamma_5 |h_5|^2 + \gamma_3 |h_3|^2 + \gamma_4 |h_4|^2 + 1} < \gamma_t \right\} \\
 &= \Pr \left\{ \left[ \gamma_3 |h_3|^2 - \gamma_t (\gamma_4 |h_4|^2 + 1) \right] \gamma_5 |h_5|^2 < \gamma_t (\gamma_3 |h_3|^2 + \gamma_4 |h_4|^2 + 1) \right\} \\
 &= \Pr \left\{ \gamma_3 |h_3|^2 - \gamma_t (\gamma_4 |h_4|^2 + 1) < 0 \right\} + \Pr \left\{ |h_5|^2 < \frac{\gamma_t (\gamma_3 |h_3|^2 + \gamma_4 |h_4|^2 + 1)}{[\gamma_3 |h_3|^2 - \gamma_t (\gamma_4 |h_4|^2 + 1)] \gamma_5}, \gamma_3 |h_3|^2 - \gamma_t (\gamma_4 |h_4|^2 + 1) > 0 \right\} \\
 &= \Pr \left( \frac{\gamma_3 |h_3|^2}{\gamma_4 |h_4|^2 + 1} < \gamma_t \right) + \Pr \left\{ |h_5|^2 < \frac{\gamma_t \left( \frac{\gamma_3 |h_3|^2}{\gamma_4 |h_4|^2 + 1} + 1 \right)}{\gamma_5 \left( \frac{\gamma_3 |h_3|^2}{\gamma_4 |h_4|^2 + 1} - \gamma_t \right)}, \frac{\gamma_3 |h_3|^2}{\gamma_4 |h_4|^2 + 1} > \gamma_t \right\} \\
 &\stackrel{a}{=} 1 - \int_0^\infty e^{-\frac{\gamma_t (y + \gamma_t + 1)}{\lambda_5 \gamma_5 y}} \left[ \frac{\lambda_3 \gamma_3 \lambda_4 \gamma_4 e^{-\frac{y + \gamma_t}{\lambda_3 \gamma_3}}}{(\lambda_3 \gamma_3 + \lambda_4 \gamma_4 (y + \gamma_t))^2} + \frac{e^{-\frac{y + \gamma_t}{\lambda_3 \gamma_3}}}{\lambda_3 \gamma_3 + \lambda_4 \gamma_4 (y + \gamma_t)} \right] dy \\
 &\stackrel{b}{=} 1 - \mu e^{-\left(\frac{1}{\lambda_3 \gamma_3} + \frac{1}{\lambda_5 \gamma_5}\right) \gamma_t} \int_0^1 \frac{(\lambda_3 \gamma_3 \lambda_4 \gamma_4 \ln z + \lambda_3 \gamma_3 \ln z + \lambda_4 \gamma_4 \gamma_t \ln z - \lambda_4 \gamma_4 \mu) e^{-\frac{\mu}{\lambda_3 \gamma_3 \ln z}} dz}{(\lambda_3 \gamma_3 \ln z + \lambda_4 \gamma_4 \gamma_t \ln z - \lambda_4 \gamma_4 \mu)^2 \ln z} \\
 &\stackrel{c}{=} 1 - \frac{\pi \mu e^{-\left(\frac{1}{\lambda_3 \gamma_3} + \frac{1}{\lambda_5 \gamma_5}\right) \gamma_t}}{2M} \sum_{i=1}^M \left[ \frac{\lambda_3 \gamma_3 \lambda_4 \gamma_4 \ln \frac{\alpha_i + 1}{2} + \lambda_3 \gamma_3 \ln \frac{\alpha_i + 1}{2} + \lambda_4 \gamma_4 \gamma_t \ln \frac{\alpha_i + 1}{2} - \lambda_4 \gamma_4 \mu}{\left( \lambda_3 \gamma_3 \ln \frac{\alpha_i + 1}{2} + \lambda_4 \gamma_4 \gamma_t \ln \frac{\alpha_i + 1}{2} - \lambda_4 \gamma_4 \mu \right)^2 \ln \frac{\alpha_i + 1}{2}} \right] e^{-\frac{\mu}{\lambda_3 \gamma_3 \ln \frac{\alpha_i + 1}{2}}} \sqrt{1 - \alpha_i^2}.
 \end{aligned} \tag{20}$$

Trong đó, bước (a) có được bằng cách sử dụng các phương trình (18) và (19); bước (b) có được bằng cách đặt  $z = e^{-\frac{\mu}{y}}$ , trong đó  $\mu = \frac{\gamma_t (\gamma_t + 1)}{\lambda_5 \gamma_5}$  bước (c) có được bằng cách áp dụng phương pháp Gaussian-Chebyshev với  $\alpha_i = \cos\left(\frac{2i-1}{2M} \pi\right)$

$M$  là hệ số đánh đổi giữa độ chính xác và độ phức tạp tính toán.

Tiếp theo, chúng tôi lần lượt tính  $I_3$  và  $I_4$  của công thức (16) như sau:

$$I_3 = 1 - e^{-\frac{\gamma_t}{\lambda_2 \gamma_2}}. \tag{21}$$

$$\begin{aligned}
 I_4 &= \Pr \left( \frac{\gamma_4 \gamma_5 |h_4|^2 |h_5|^2}{\gamma_3 |h_3|^2 + \gamma_4 |h_4|^2 + \gamma_5 |h_5|^2 + 1} < \gamma_t \right) = F_{|h_5|^2} \left( \frac{\gamma_t}{\gamma_4} \right) + \int_0^\infty \int_{\frac{\gamma_t}{\gamma_4}}^\infty F_{|h_5|^2} \left( \frac{\gamma_t (\gamma_3 x + \gamma_4 y + 1)}{\gamma_5 (\gamma_3 x - \gamma_t \gamma_4 y - \gamma_3)} \right) f_{|h_4|^2} (y) dy f_{|h_3|^2} (x) dx \\
 &= 1 + \frac{\lambda_5 \gamma_5}{\lambda_4 \gamma_4} e^{-\left(\frac{1}{\lambda_4 \gamma_4} + \frac{1}{\lambda_5 \gamma_5}\right) \lambda_t} \cdot \frac{\pi \mu^2}{2N} \sum_{i=1}^N \frac{e^{-\frac{\mu}{\lambda_4 \gamma_4 \ln \frac{\beta_i + 1}{2}}} \sqrt{1 - \beta_i^2}}{\ln^2 \frac{\beta_i + 1}{2} \left( \lambda_4 \gamma_4 \gamma_t \ln \frac{\beta_i + 1}{2} - \lambda_5 \gamma_5 \mu \right)}.
 \end{aligned} \tag{22}$$

Trong đó,  $\beta_i = \cos\left(\frac{2i-1}{2N}\pi\right)$ ,  $\mu = \frac{\gamma_i(\gamma_i+1)}{\lambda_s\gamma_s}$ ,  $N$  là hệ số đánh đổi giữa độ chính xác và độ phức tạp tính toán.

Cuối cùng, chúng tôi phân tích thông lượng tại nút đích cho chế độ truyền giới hạn trễ. Nó được tìm ra bằng cách đánh giá xác suất dừng hệ thống ở tốc độ truyền cố định của user -  $\Omega$  bps/Hz. Chúng tôi nhận thấy rằng cả hai người dùng đều truyền thông tin với tốc độ  $\Omega$  bps/Hz và thời gian liên lạc hiệu quả từ người dùng đến trạm gốc trong thời gian  $T$  là  $T/2$ . Do đó, các biểu thức thông lượng cho  $U_1$  và  $U_2$  lần lượt được định nghĩa như sau:

$$\tau_1 = \frac{\Omega(1 - P_{out}^{s_1})}{2} \tag{23}$$

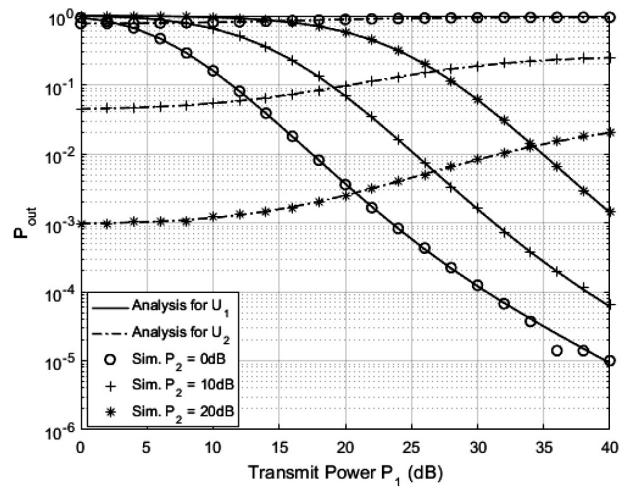
$$\tau_2 = \frac{\Omega(1 - P_{out}^{s_2})}{2} \tag{24}$$

Bằng cách thay (15) và (16) vào (23) và (24), chúng tôi lần lượt thu được biểu thức thông lượng cho  $U_1$  và  $U_2$ .

#### 4. Kết quả số và thảo luận

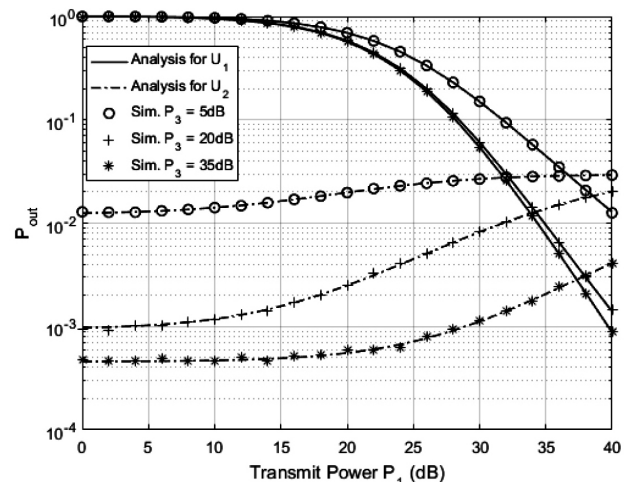
Trong phần này, chúng tôi cung cấp các kết quả bằng số về xác suất dừng hệ thống và thông lượng cho  $U_1$  và  $U_2$ . Mô phỏng Monte-Carlo được sử dụng để xác minh các kết quả phân tích. Các tham số cần cho trong quá trình mô phỏng như sau: độ tăng kênh trung bình  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = 1$ , hệ số suy hao đường truyền  $\theta = 2$ . Hình 2 biểu diễn các đường  $P_{out}$  theo công suất truyền  $P_1$  với các  $P_2$  khác nhau. Có thể dễ dàng quan sát được từ hình 2, xác suất dừng hệ thống của  $U_1$  giảm xuống và xác suất dừng hệ thống của  $U_2$  tăng lên khi công suất phát tại  $U_1$  tăng. Trong khi đó, xác suất dừng hệ thống của  $U_1$  tăng lên và xác suất dừng hệ thống của  $U_2$  giảm xuống khi công suất phát tại  $U_2$  tăng. Việc này có thể được giải thích là sự gia tăng công suất truyền của một người dùng sẽ tạo ra nhiễu nhiều hơn cho những người dùng khác. Điều đó đồng nghĩa với việc gia tăng công suất truyền của một người dùng có thể cải thiện hiệu suất

của nó nhưng sẽ làm giảm hiệu suất của những người dùng khác.



Hình 2. Đồ thị  $P_{out}$  theo công suất phát  $P_1$  với các giá trị  $P_2$  khác nhau. Các thông số cố định  $P_3 = 20$ dB,  $\Omega = 1$  bps/Hz.

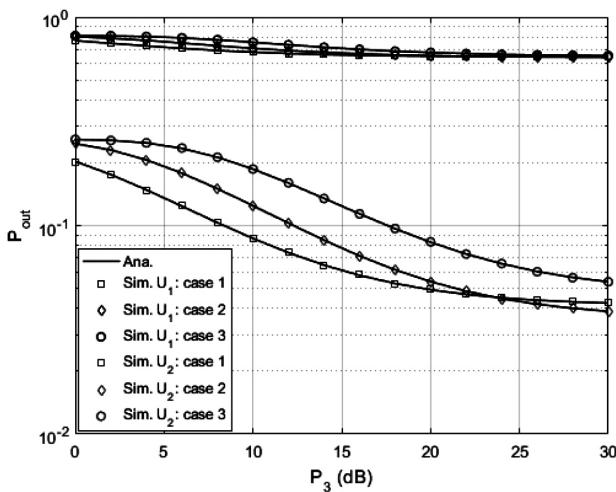
Hình 3 minh họa tác động của công suất truyền  $P_3$  đến hiệu suất. Chúng ta có thể quan sát từ hình 3 rằng xác suất dừng hệ thống của cả hai người dùng giảm xuống khi công suất phát ở nút chuyển tiếp  $R$  tăng lên. Nó có nghĩa là hiệu suất có thể được cải thiện bằng cách tăng công suất phát của  $R$ .



Hình 3. Đồ thị  $P_{out}$  theo công suất phát  $P_1$  với các giá trị SNR  $P_3$  khác nhau. Các thông số cố định  $P_2 = 20$ dB,  $\Omega = 1$  bps/Hz.

Để làm rõ ảnh hưởng của vị trí máy chuyển tiếp đến hiệu năng hệ thống về xác suất dừng hoạt động, Hình 4 được cung cấp các đường  $P_{out}$  theo các trường hợp sau: i) Case 1: Máy chuyển tiếp gần trạm cơ sở ( $d_5$  nhỏ hơn  $d_3$  và  $d_4$ ); ii) Case

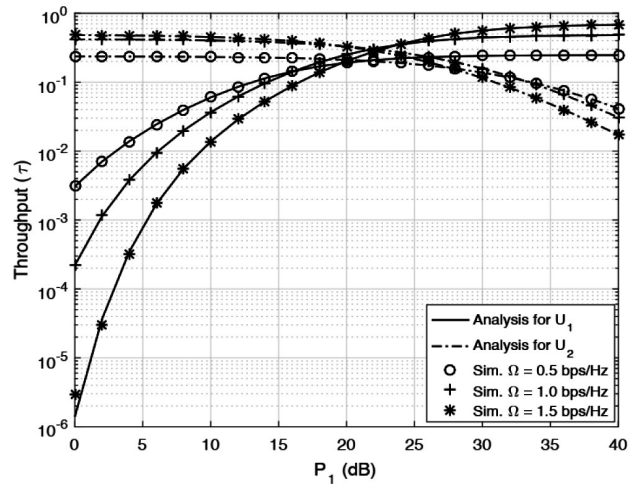
2: Máy chuyển tiếp nằm chính giữa trạm cơ sở và người dùng ( $d_5 = d_3 = d_4$ ); iii) Case 3: Máy chuyển tiếp gần người dùng hơn ( $d_5$  lớn hơn  $d_3$  và  $d_4$ ). Dễ dàng quan sát từ hình 4 rằng xác suất dừng hệ thống của  $U_1$  tăng và xác suất dừng hệ thống của  $U_2$  giảm khi khoảng cách  $d_5$  tăng lên. Mặt khác, xác suất dừng hệ thống của cả hai người dùng tăng khi khoảng cách  $d_5$  giữa R và BS tăng. Điều này được giải thích rằng sự gia tăng khoảng cách truyền giữa các nút làm giảm hiệu suất của hệ thống này.



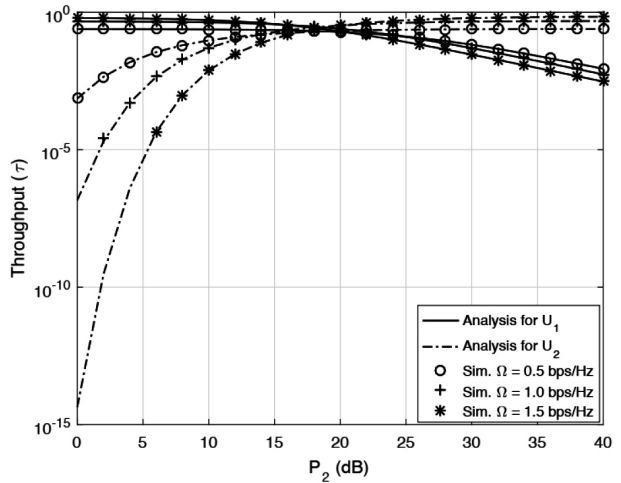
Hình 4. Đồ thị  $P_{out}$  theo khoảng cách  $d_5$  giữa R và BS khác nhau. Các thông số cố định  $P_1 = P_2 = 20\text{dB}$ ,  $\Omega = 1 \text{ bps/Hz}$ .

Các đường biểu diễn thông lượng ( $\tau_1, \tau_2$ ) theo công suất truyền của  $U_1$  và  $U_2$  với các tốc độ truyền khác nhau của user được vẽ tương ứng trong hình 5 và hình 6. Chúng ta có thể dễ dàng quan sát từ hình 5 rằng thông lượng truyền từ  $U_1$  tăng lên, trong khi thông lượng được truyền từ  $U_2$  giảm xuống khi công suất truyền tại  $U_1$  tăng. Tuy nhiên, tồn tại một giá trị công suất truyền  $P_1^*$  mà nếu  $P_1 < P_1^*$  thì thông lượng truyền từ  $U_1$  giảm xuống, trong khi thông lượng truyền từ  $U_2$  được tăng lên khi tốc độ truyền  $U_1$  tăng lên. Mặt khác, nếu  $P_1 > P_1^*$  thì thông lượng truyền từ  $U_1$  tăng lên, trong khi thông lượng truyền từ  $U_2$  giảm xuống khi tốc độ truyền  $U_1$  được tăng lên. Điều này có thể được giải thích rằng  $\tau_1$  tỷ lệ thuận với  $\Omega$  nhưng tỷ lệ nghịch với  $P_{out}^{si}$  và các đóng góp

của  $\Omega$  và  $P_1$  đến  $\tau_1$  là khác nhau. Kết quả tương tự cũng có thể thấy ở hình 6 cho công suất truyền  $P_2$ . Từ các kết quả trên, chúng tôi biết rằng tồn tại một cặp giá trị tối ưu  $\{P_1, P_2\}$  giúp hệ thống đạt được hiệu suất tốt nhất cho cả hai người dùng.

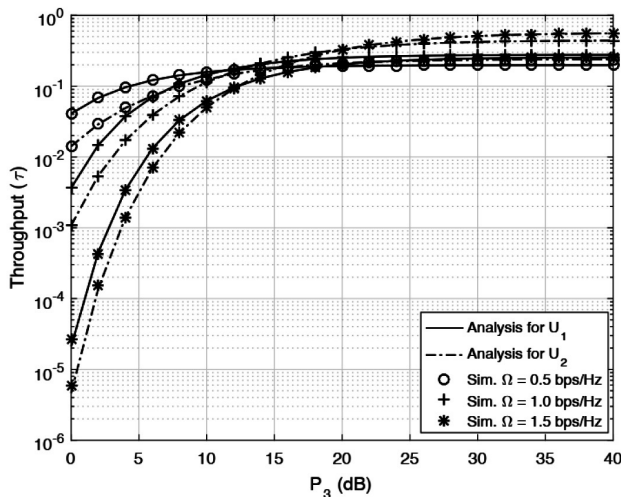


Hình 5. Đồ thị thông lượng  $\tau$  theo công suất phát  $P_1$  với các tốc độ truyền  $\Omega$  khác nhau. Các thông số cố định.

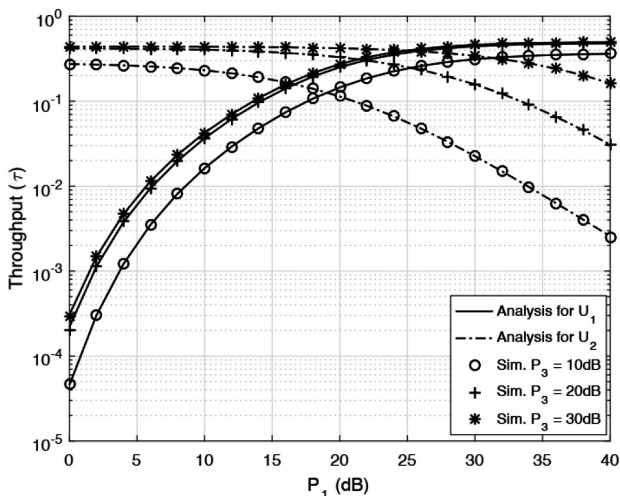


Hình 6. Đồ thị thông lượng  $\tau$  theo công suất phát  $P_2$  với các tốc độ truyền  $\Omega$  khác nhau. Các thông số cố định  $P_1 = P_3 = 20\text{dB}$ .

Hình 7 và hình 8 mô tả sự thay đổi của thông lượng  $U_1$  và  $U_2$  theo công suất phát  $P_3$  ở nút chuyển tiếp R. Chúng ta có thể quan sát từ các hình này rằng thông lượng của cả hai người dùng tăng lên khi công suất phát ở R tăng. Một lần nữa, những kết quả này cho thấy hiệu suất của hệ thống này có thể được cải thiện bằng cách tăng công suất phát khi chuyển tiếp.



Hình 7. Đồ thị thông lượng  $\tau$  theo công suất phát  $P_3$  với các tốc độ truyền  $\Omega$  khác nhau. Các thông số cố định  $P_1 = P_2 = 20\text{dB}$ .

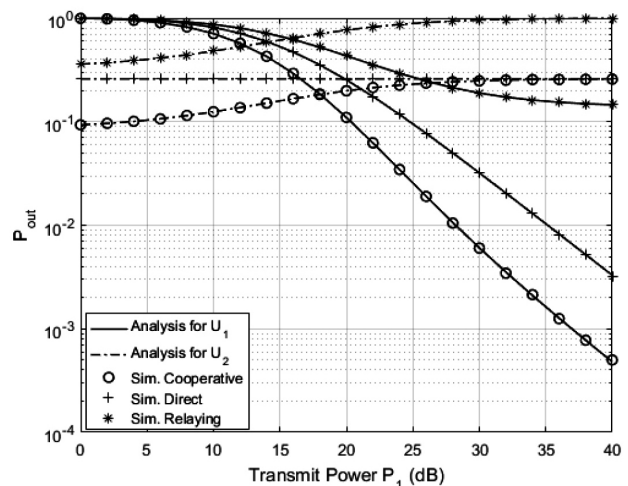


Hình 8. Đồ thị thông lượng  $\tau$  theo công suất phát  $P_1$  với các công suất phát tại nút chuyển tiếp ( $P_3$ ) khác nhau. Các thông số cố định  $P_2 = 20\text{dB}$ ,  $\Omega = 1$ .

Cuối cùng, để làm rõ ưu điểm của phương thức truyền hợp tác chúng tôi khảo sát và so sánh kết quả số giữa ba phương thức truyền: hợp tác, trực tiếp và chuyên tiếp. Kết quả số của ba phương thức truyền này theo thông số xác suất dừng hệ thống  $P_{\text{out}}$  được thể hiện như hình 9. Từ hình này chúng ta nhận thấy phương thức truyền hợp tác có xác suất dừng hệ thống nhỏ nhất so với hai phương thức truyền còn lại. Điều này nói lên phương thức truyền hợp tác có khả năng cải thiện hiệu năng của mạng NOMA cho đường lên.

Từ các số liệu được trình bày ở trên cho thấy kết quả phân tích và kết quả mô phỏng rất phù

hợp nhau. Điều này đã xác minh tính đúng đắn trong phân tích của chúng tôi.



Hình 9. So sánh giữa các phương thức truyền: Hợp tác, trực tiếp và chuyên tiếp

## 5. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi đã trình bày kết quả nghiên cứu về mặt phân tích hiệu năng của mạng hợp tác NOMA đường lên sử dụng cơ chế khuếch đại và chuyên tiếp. Các biểu thức xác suất dừng hệ thống và thông lượng cho hai người dùng đã được tìm ra bằng cách sử dụng phương pháp bậc hai Gaussian - Chebyshev. Tiếp theo, các kết quả số đã được biểu diễn và tính toán theo các tham số chính của hệ thống. Kết quả chỉ ra rằng, hiệu năng của hệ thống này có thể được cải thiện bằng cách tăng công suất phát của nút chuyên tiếp. Ngoài ra, phương thức truyền hợp tác giúp cải thiện hiệu năng của mạng NOMA cho đường lên. Trong những nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi sẽ mở rộng mô hình hệ thống này sang hệ thống đa nút chuyên tiếp và tìm cặp giá trị tối ưu về công suất truyền của người dùng.

## Tài liệu tham khảo

- [1] S. M. R. Islam, N. Avazov, O. A. Dobre, and K. sup Kwak, "Powerdomain non-orthogonal multiple access (NOMA) in 5G systems: Potentials and challenges", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 19, no. 2, pp. 721–742, 2017.
- [2] D.-B. Ha and Q. S. Nguyen, "Outage performance of energy harvesting DF relaying NOMA networks", Mobile Networks and Applications, 2017.
- [3] N. Ye, H. Han, L. Zhao, and A. hua Wang, "Uplink



nonorthogonal multiple access technologies toward 5G: A survey”, *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2018, pp. 1–26, 2018.

- [4] J. Men and J. Ge, “Performance analysis of non-orthogonal multiple access in downlink cooperative network”, *IET Communications*, vol. 9, no. 18, pp. 2267–2273, 2015.
- [5] D.-D. Tran, H.-V. Tran, D.-B. Ha, and G. Kaddoum, “Cooperation in NOMA networks under limited user-to-user communications: Solution and analysis”, in *IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 15-18/4/2018, Barcelona, Spain.
- [6] D.-D. Tran and D.-B. Ha, “Secrecy performance analysis of QoS-based non-orthogonal multiple access networks over Nakagami-m fading”, in *The International Conference on Recent Advances in Signal Processing, Telecommunications and Computing (SigTelCom)*, HCMC, Vietnam, 2018.
- [7] T. N. Do, D. B. da Costa, T. Q. Duong, and B. An, “Improving the performance of cell-edge users in NOMA systems using cooperative relaying”, *IEEE Transactions on Communications*, vol. 66, no. 5, pp. 1883–1901, 2018.
- [8] Z. Ding, M. Peng, and H. V. Poor, “Cooperative non-orthogonal multiple access in 5G systems”, *IEEE Communications Letters*, vol. 19, no. 8, pp. 1462–1465, 2015.
- [9] N. T. Do, D. B. D. Costa, T. Q. Duong, and B. An, “A BNBF user selection scheme for NOMA-based cooperative relaying systems with SWIPT”, *IEEE Communications Letters*, vol. 21, no. 3, pp. 664–667, 2017.
- [10] V.-D. Nguyen, H. D. Tuan, T. Q. Duong, H. V. Poor, and O.-S. Shin, “Precoder design for signal superposition in MIMO-NOMA multicell networks”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 35, no. 12, pp. 2681–2695, 2017.
- [11] S. Lee, T. Q. Duong, D. B. da Costa, D.-B. Ha, and S. Q. Nguyen, “Underlay cognitive radio networks with cooperative non-orthogonal multiple access”, *IET Communications*, vol. 12, no. 3, pp. 359 – 366, 2018.
- [12] H. D. Tuan, A. A. Nasir, H. H. Nguyen, T. Q. Duong, and H. V. Poor, “Non-orthogonal multiple access with improper gaussian signaling”, *IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing (Early Access)*, 2019.
- [13] W. Shin, H. Yang, M. Vaezi, J. Lee, and H. V. Poor, “Relay-aided NOMA in uplink cellular networks”, *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 24, no. 12, pp. 1842–1846, 2017.
- [14] M. F. Kader and S. Y. Shin, “Coordinated direct and relay transmission using uplink NOMA”, *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 7, no. 3, pp. 400–403, 2018.
- [15] F. Kara and H. Kaya, “Ber performances of downlink and uplink NOMA in the presence of SIC errors over fading channels”, *IET Communications*, vol. 12, no. 15, pp. 1834–1844, 2018.
- [16] Y. Zhang, Z. Yang, Y. Feng, and S. Yan, “Performance analysis of a novel uplink cooperative NOMA system with full-duplex relaying”, *IET Communications*, vol. 12, no. 19, pp. 2408–2417, 2018.
- [17] S. Abdel-Razeq, S. Zhou, R. Bansal, and M. Zhao, “Uplink NOMA transmissions in a cooperative relay network based on statistical channel state information”, *IET Communications*, vol. 13, no. 4, pp. 371–378, 2019.



## The effect of band gap of a-SiGe:H intrinsic layer in heterojunction 3Silicon solar cells

Ảnh hưởng của độ rộng vùng cấm của lớp bán dẫn thuần a-SiGe:H  
trong pin mặt trời dị thể Silic

Thanh Thuy Trinh<sup>a</sup>, Jaehyun Cho<sup>b</sup>, Sangho Kim<sup>c</sup>, Junsin Yi<sup>b</sup>, Vinh Ai Dao<sup>d,\*</sup>  
Trịnh Thanh Thủy, Jaehyun Cho, Sangho Kim, Junsin Yi, Đào Vĩnh Ái

<sup>a</sup>Department of Physics, International University, Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam  
Bộ môn Vật lý, Đại học Quốc Tế - Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

<sup>b</sup>School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Kyunggi, Korea  
Khoa Kỹ thuật Thông tin và Truyền thông, Đại học Sungkyunkwan, Kyunggi, Hàn Quốc

<sup>c</sup>Department of Energy Science, Sungkyunkwan University, Kyunggi, Korea

Khoa Khoa học Năng lượng, Đại học Sungkyunkwan, Kyunggi, Hàn Quốc

<sup>d</sup>FM&D Laboratory, Institute of Fundamental and Applied Sciences, Duy Tan University, Ho Chi Minh City, Vietnam  
Phòng thí nghiệm FM&D, Viện Nghiên cứu Khoa học Cơ bản và Ứng Dụng, Đại học Duy Tân,  
Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

(Ngày nhận bài: 02/06/2019, ngày phản biện xong: 03/08/2019, ngày chấp nhận đăng: 20/08/2019)

### Abstract

Hydrogenated amorphous silicon (a-Si:H) is a well-known material for forming both the emitter and the surface passivation layer in a-Si:H/c-Si solar cells. However, the difference in the band gap can impose limitations on the photo carrier collection. In this paper, we study a hydrogenated amorphous silicon germanium (a-SiGe:H) layer that has smaller optical band gap than the standard a-Si:H layer for reduced band offset. We fabricated heterojunction solar cells using a-SiGe:H back intrinsic layers with different band gaps to determine the effects of energy bandgap and passivation quality on the performance of heterojunction solar cells. The optical band gap of a-SiGe:H layer can be reduced from 1.83 eV to 1.03 eV as the germanium content is increased from 0% to 100%. The a-SiGe:H layer with low band gap ( $E_g < 1.7$  eV) provided lower values of effective lifetime ( $\tau_{eff}$ ) and open-circuit voltage ( $V_{oc}$ ) than the standard a-Si:H layer. The maximum values of  $\tau_{eff}$  and  $V_{oc}$  were obtained in the 3% gas ratio a-SiGe:H layer. When this 3% gas ratio layer was applied to a heterojunction solar cell, the highest short-circuit current density was obtained because of the increased minority carrier diffusion length from the reduction of the band offset. Based on this result, an a-SiGe:H layer on the rear side is proposed as an alternative passivation layer for high efficiency solar cells.

**Keywords:** heterojunction, band offset, surface passivation, solar cells, hydrogenated amorphous silicon germanium.

### Tóm tắt

Silic vô định hình (a-Si:H) đang là vật liệu dùng trong chế tạo pin mặt trời dị thể a-Si:H/c-Si. Tuy nhiên, độ rộng vùng cấm của vật liệu này là khá lớn (~1.7 eV); điều đó làm giới hạn quá trình dịch chuyển hạt tải điện bên trong linh kiện. Trong nghiên cứu này, Silic gecmani vô định hình (a-SiGe:H), với độ rộng vùng cấm trong khoảng 1.03 to 1.83 (eV), sẽ được dùng thay thế a-Si:H trong pin mặt trời dị thể a-Si:H/c-Si; đồng thời khảo sát ảnh hưởng của sự tác động đồng thời của độ rộng vùng cấm và khả năng thụ động sai hỏng mạng của màng mỏng a-SiGe:H lên hiệu suất của pin mặt trời.

*Email:* daovinhai@duytan.edu.vn

So với pin mặt trời tiêu chuẩn (sử dụng a-Si:H), pin mặt trời a-SiGe:H/c-Si thu được thế hở mạch thấp hơn. Pin mặt trời a-SiGe:H/c-Si thu được có dòng ngắn mạch lớn nhất khi sử dụng lớp a-SiGe:H được chế tạo ở tỷ lệ khí  $\text{GeH}_4/(\text{SiH}_4 + \text{GeH}_4)$  là 3%. Dòng ngắn mạch lớn nhất tại tỷ lệ khí 3% là do band-offset thấp nhất. Nghiên cứu này cho thấy rằng, có thể thay thế lớp a-Si:H bằng lớp a-SiGe:H khi dùng như là lớp điện cực mặt sau của pin mặt trời dị thể Silic.

*Từ khóa:* Tiếp xúc dị thể, band-offset, thụ động hóa bề mặt, pin mặt trời, Silic gecmani vô định hình

## 1. Introduction

The inherent advantages of heterojunction solar cell such as low temperature processing ( $\sim 200^\circ\text{C}$ ), high conversion efficiency due to the high open circuit voltage ( $V_{oc}$ ), has attracted the photovoltaic industry as an excellent candidate for low cost, high efficiency silicon solar cells compared to conventional crystalline silicon (c-Si) solar cell with diffused emitter [1-4]. Panasonic has recently reported a record efficiency of 24.7% on a large area solar cell with the a-Si:H/c-Si heterojunction solar cell structure [5]. The a-Si:H/c-Si heterojunction solar cell is constructed by deposited a very thin doped hydrogenated amorphous silicon (a-Si:H) film on the crystalline (c-Si) substrate [2]. Nevertheless, the interface between the a-Si/c-Si could lead to large density of interface defects in the c-Si band-gap, due to a high density of dangling bonds resulting in the recombination process which lowers the  $V_{oc}$  and fill factor (FF). Further to reduce the leakage current induced due to the a-Si mid-gap states; a buffer layer consisting a less number of trap levels is inserted [6-11].

Though the hydrogenated amorphous silicon (a-Si:H) can be used for forming both emitter and the surface passivation layer in heterojunction silicon solar cells. The influence of band discontinuities at the a-Si:H/c-Si interface plays a detrimental role in photo-carrier collection as the collection probability is strongly dependent on the magnitude of the discontinuity in the band bending offset at the a-Si:H/c-Si interface. The exact values of these band offset may vary depending on the deposition methods and conditions [7, 9, 12].

To reduce the band offset, we study an a-Si:H based alloy that has a smaller optical band-gap than standard a-Si:H. Hydrogenated amorphous silicon germanium (a-SiGe:H) is a suitable absorber

material with a small band-gap. As a novel approach we used a-SiGe:H with different band gaps to form a buffer layer and studied the effects of energy band gap and passivation quality on the performance of heterojunction silicon solar cells.

## 2. Experimental methods

Czochralski-grown Si wafer having resistivity, thickness and oriented of 1-10  $\Omega\text{-cm}$ , 525  $\mu\text{m}$ , and  $\langle 100 \rangle$ , respectively, was used as an absorber material, in this experiment. At first, the wafer is treated by a sequence of, acetone/methanol/deionized wafer (5 min for each) and then RCA. The cleaned wafer is then dipping into 1% hydrofluoric acid in a min to remove native oxide and subsequently transferred into the plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD) system. The a-SiGe:H i-layers of various  $\text{GeH}_4/(\text{SiH}_4 + \text{GeH}_4)$  ratios were then deposited by PECVD at 13.56 MHz on both front and rear-side to investigate the passivation of its layer on the c-Si wafer surface. To form an emitter on the front-side, p-type a-Si:H layer of 7 nm thick was deposited; while n-type a-Si:H layer of 12 nm thick was deposited on the rear-side to create back-surface-field layer. An indium tin oxide of  $80 \pm 5$  nm thick was then deposited on the by magnetron sputtering, following thermal evaporation of Ag/Al fingers as a front contact. In order to create excellent ohmic back contact, the entire rear surface was covered by thermal evaporation of Al. Finally, the area of the solar cell of  $0.6 \text{ cm} \times 0.6 \text{ cm}$  was defined by mesa etching.

The film thicknesses and its optical constant were measured by using spectroscopy ellipsometry (HR-190<sup>TM</sup>). To determine the quality of c-Si surface passivation, effective lifetime ( $\tau_{eff}$ ) was measured by the quasi-steady-state photoconductance (QSSPC) method, using a commercial WCT-120 photoconductance set-up

from Sinton Consulting. The quantum efficiency (QE) was measured by the solar response/QE/IPCE measurement system (QEX7). The solar cell performance was characterized by current-voltage measurements under Air Mass 1.5 Global (100 mW/cm<sup>2</sup>, AM1.5G) at 25°C conditions.

### 3. Results and discussions

The Raman spectra of a-SiGe:H films deposited at different GeH<sub>4</sub>/(SiH<sub>4</sub> + GeH<sub>4</sub>), [ $R_G$ ], ratios is shown in Fig. 1. It is observed that the variation peak intensities of Si-Si, Si-Ge, Ge-Ge obtained of around 500, 400 and 280cm<sup>-1</sup>, respectively. With increasing  $R_G$  ratios lead to variation peak intensities of Ge-Ge and Si-Ge getting increase, in contrast, variation peak intensities of Si-Si getting decreases. The increases of Si-Ge peak intensities lead to the increase in Ge content inside the films [13-14]. The more Ge content incorporate, the more strain in the Si-Si network become, as in turn, widening of Si-Si optic mode vibrations [14-15]. The more incorporation of Ge inside films results in structural disorder, that will be detailedly discussed in later part. Further, it is worth noting that the film depositing at the  $R_G$  of 100% the variation Si-Ge and Si-Si peak intensities is no more observed, suggesting that the formation of structural amorphous Ge structure [13-14] is contrary to the deposition of the films with  $R_G$  below 3%, the Raman spectra shows similar to that of amorphous Si. Thus, the SiGe films we prepared to have an amorphous SiGe structure.

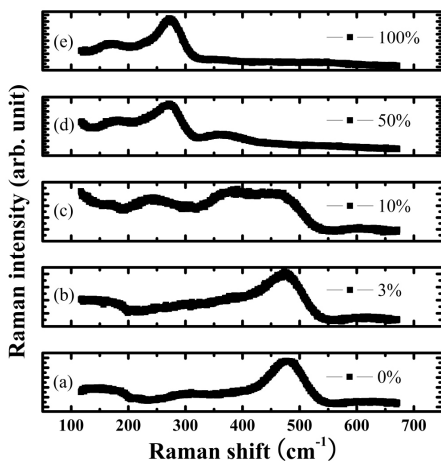


Figure 1. The Raman scattering spectra of (a) a-Si:H and a-SiGe:H with germanium contents of (b) 3%, (c) 10%, (d) 50%, and (e) 100%.

Fig. 2(a) depicts the optical absorption coefficient ( $\alpha$ ) of the a-SiGe:H films having  $R_G$  from 0 to 100%. It can be seen that with higher in germanium content, a shift in the absorption coefficient curves to lower values of photon energy was observed. The whole amount of shifting is approximately 0.9 eV when  $R_G$  increasing from 0% to 100%. The refractive index ( $n$ ) and extinction coefficient ( $\kappa$ ) were measured by ellipsometry spectra ( $\Psi$ ,  $\Delta$ ) and from these, the optical band gap are inferred from Tauc's theory and is shown in Fig. 2(b) [16]. The optical gap shown decreases with increasing  $R_G$  ratios. Thus, the optical band gap decreases from 1.83 eV to 1.03 eV as the  $R_G$  ratios increases from 0% to 100%. As mentioned earlier, Ge content inside the film increases with the  $R_G$  ratios. This increase of Ge content could result in higher structural disorder, as in turn, the larger amount of allowed states [17]. The higher amount of allowed states leads to significantly increase in the interface density ( $D_{it}$ ), especially near the band edges (conduction or valence band edges). Thus, the smaller optical band gap with higher  $R_G$  ratios could attribute remarkably to the increases in  $D_{it}$  with energy near the bandgaps [17].

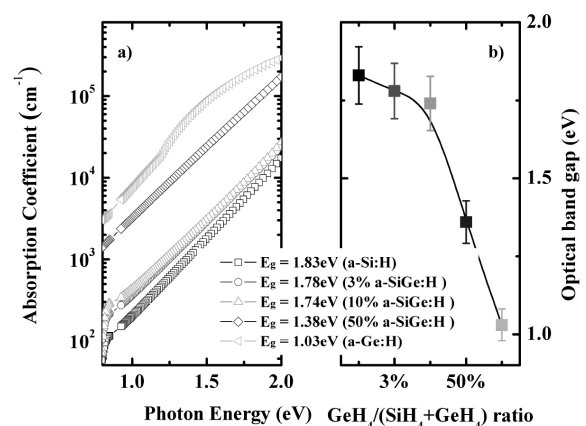


Figure 2. (a) The optical absorption coefficient and (b) the optical band-gap of the a-SiGe:H thin film with different germanium contents.

Fig. 3 shows the effective lifetime, which was measured by QSSPC at an injection level of  $1\sim 5 \times 10^{15}$  cm<sup>-3</sup>, and the implied- $V_{oc}$  of the both-side and rear-side a-SiGe:H passivation layers

with different optical bandgaps. As shown in Fig 3, the  $\tau_{eff}$  and the implied- $V_{oc}$  decreased when the a-SiGe:H optical band gaps were getting narrow. The  $\tau_{eff}$  of the both-side a-SiGe:H passivation layer showed a much larger reduction than the  $\tau_{eff}$  of the rear-side layer passivation. As the a-SiGe:H band gap decreased from 1.83 eV to 1.74 eV, the  $\tau_{eff}$  of the both-side and rear-side layers decreased from 1957.03  $\mu$ s to 234.66  $\mu$ s and 1934.53  $\mu$ s to 766.12  $\mu$ s, respectively. Further observation relate to the micro-structure defects was utilized to deduce the possible change of the  $\tau_{eff}$  versus optical band gaps. The dielectric function of the films was fitted based on the Tauc-Lorentz equation combined with the Bruggeman effective medium approximation models [18]. The fitting result is represented in Table 1. It is observed that the value of A and C of the a-SiGe:H films decreases and increases, respectively, as the  $R_G$  ratios increases. The behaviors of A and C suggested that the films showed less dense and

higher structural disorder. These results are consistent with those mentioned in Fig. 2(b). Thus, the films with higher germanium content lead to higher the interface state density nears the band edges, which, in turn, harmful to c-Si surface passivation. Similarly, the implied  $V_{oc}$  linearly decreases from 690mV to 574mV due to the decrease of the a-SiGe:H band gap from 1.83eV to 1.03eV.

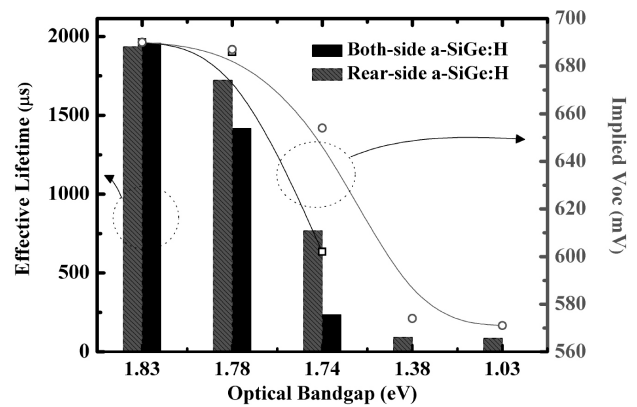


Figure 3. Measured effective lifetime and the implied  $V_{oc}$  as a function of a-SiGe:H layer band gap.

Table 1 Factor A related to the density of the material, position of a-SiGe:H peak in the spectrum defined by  $E_0$  and disorder factor C, as determined from spectroscopy ellipsometry.

$GeH_4/(SiH_4 + GeH_4)$ ratio	A (eV)	$E_0$ (eV)	$E_g$ (eV)	C (eV)
0	116.81	3.8056	1.6232	2.1329
3	123.15	3.7535	1.6277	2.4393
10	101.71	3.6878	1.4414	2.5333
50	110.29	3.6131	1.1991	3.2733
100	96.64	3.1241	0.8713	3.5612

Fig. 4 shows the influence of the a-SiGe:H layer band gap on the photovoltaic characteristics of the a-SiGe:H/c-Si solar cells. The measurement was carried out under global solar spectrum of 1 Sun of AM1.5 at 25°C. The figure shows that the values of  $V_{oc}$  of both-side and rear-side a-SiGe:H passivation layers monotonically decrease with

decreasing a-SiGe:H layer band gap. This decrease in  $V_{oc}$  was owing to a-SiGe:H having large number of voids and structural disorder, as well, leading to higher the interface state density nears the both band edges, which are conductive lower c-Si surface passivation, as mentioned earlier. When the rear-side a-SiGe:H passivation layer band gap was



1.78 eV, short-circuit current density ( $J_{sc}$ ) increased due to the reduced band offset of the c-Si/a-SiGe:H interface. Below the band gap of 1.78 eV,  $J_{sc}$  decreased due to the increased number of defects of a-SiGe:H films and poor passivation of the c-Si/a-SiGe:H interface. Maximum efficiency was obtained at a-SiGe:H band gap of 1.78 eV. At lower a-SiGe:H band gaps, as more photons are absorbed, resulting in significant absorption losses and hence, lower efficiency. When germanium content was 100%,  $J_{sc}$  was slightly increased because conduction band offset almost disappeared and hole barrier of valence band also increased.

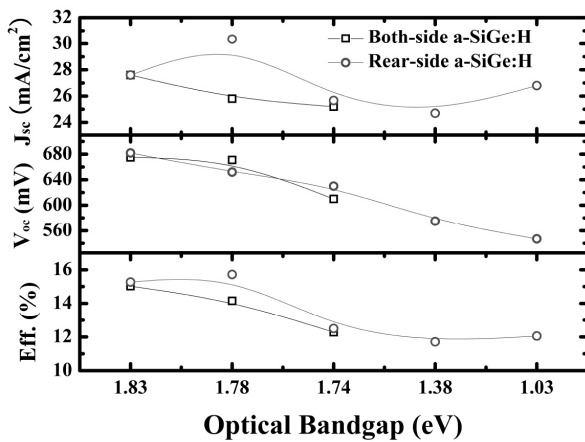


Figure 4. Performance of heterojunction solar cell, plotted as a function of a-SiGe:H layer band gap. The measurement was carried out under global solar spectrum of 1 Sun of AM1.5 at 25°C.

The QE characteristics of the a-SiGe:H/c-Si solar cells having different a-SiGe:H bandgaps were performed in order to find the reason for highest  $J_{sc}$  at  $R_G = 3\%$  [a-SiGe:H ( $E_g = 1.78\text{eV}$ )]. Fig. 5 shows the QE spectrum of the solar cells with different a-SiGe:H band gaps. When the rear-side a-SiGe:H passivation layer band gap is 1.78 eV, QE spectrum of heterojunction solar cells is increased. Below the band gap of 1.78eV, the QE spectrum is reduced in long wavelengths region due to poor passivation of the c-Si/a-SiGe:H interface. The QE spectrum improves with 3% a-SiGe:H ( $E_g = 1.78\text{ eV}$ ) due to the increase of the minority carrier diffusion length by reduced band offset. This result demonstrates that the rear-side a-SiGe:H layer can be an alternative passivation layer.

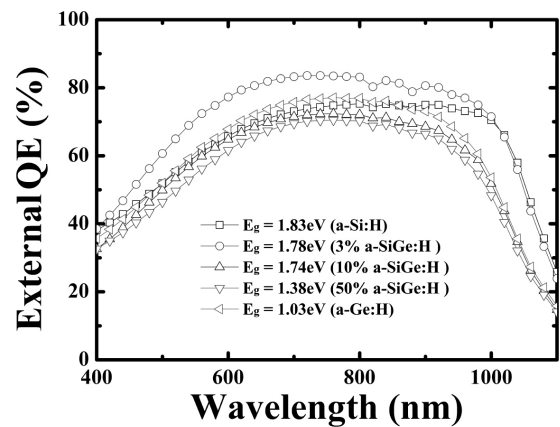


Figure 5. The QE spectrum of heterojunction solar cells, plotted as a function of a-SiGe:H layer band gap.

#### 4. Conclusions

In this paper, we studied an a-SiGe:H layer that had a smaller optical bandgap than the standard a-Si:H layer for reduced band offset. We fabricated heterojunction solar cells using a-SiGe:H back intrinsic layers with different band gaps, to determine effect of energy band gap as well as passivation quality on the performance of the heterojunction solar cells. The optical band gap of a-SiGe:H decreased from 1.83 eV to 1.03 eV as the germanium content increased from 0% to 100%. The a-SiGe:H layer with a low band gap ( $E_g < 1.7\text{ eV}$ ) provided lower values of  $\tau_{eff}$  and  $V_{oc}$  than that of the standard a-Si:H layer. The maximum values of the  $\tau_{eff}$  and  $V_{oc}$  were obtained in the 3% a-SiGe:H ( $E_g = 1.78\text{ eV}$ ) layer. When the band gap of the rear-side a-SiGe:H passivation layer was 1.78 eV,  $J_{sc}$  increased due to the reduced band offset of the c-Si/a-SiGe:H interface. When this layer was applied to a heterojunction solar cell, the highest  $J_{sc}$  was obtained due to the increased minority carrier diffusion length from the reduced band offset. This result demonstrates that the rear-side a-SiGe:H layer can be an alternative passivation layer for high efficiency solar cells.

#### Acknowledgment

This research is funded by Vietnam National Foundation for Science and Technology Development (NAFOSTED) under grant number 103.02-2017.43.



## References

- [1] S. Kim, V. A. Dao, C. Shin, J. Cho, Y. Lee, N. Balaji, S. Ahn, Y. Kim, J. Yi, Low defect interface study of intrinsic layer for c-Si surface passivation in a-Si:H/c-Si heterojunction solar cells, *Thin Solid Films* 2012; 521: 45–49.
- [2] T. Mueller, S. Schwertheim, N. Mueller, K. Meusinger, B. Wdowiak, O. Grewe, W. Fahrner, High efficiency silicon heterojunction solar cell using novel structure, in *Proc. IEEE 35th Photovoltaic Spec. Conf.*, Jun. 2010, pp. 683-688.
- [3] A. H. T. Le, V.A. Dao, D. P. Pham, S. Kim, S. Dutta, C. P. T. Nguyen, Y. Lee, Y. Kim, J. Yi: *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 2019; 192: 36-43.
- [4] Z. Yang, H. Lin, K. W. A. Chee, P. Gao, J. Ye: *Nano Energy*; 61: 221-227.
- [5] K. Masuko, M. Shigematsu, T. Hashiguchi, D. Fujishima, M. Kai, N. Yoshimura, T. Yamaguchi, Y. Ichihashi, T. Mishima, N. Matsubara: *IEEE J. Photovol.* 2014; 4: 1433-1435
- [6] Taguchi M, Kawamoto K, Tsuge S, Baba T, Sakata H, Morizane M, Uchihashi K, Nakamura N, Kiyama S, Oota O. HIT cells - high-efficiency crystalline Si cells with novel structure, *Prog Photovoltaics Res Appl* 2000;8:503-13.
- [7] Essick JM, Nobel Z, Li YM, Bennett MS. Conduction- and valence-band offsets at the hydrogenated amorphous silicon-carbon/crystalline silicon interface via capacitance techniques. *Phys Rev B* 1996;54:4885-90.
- [8] Fang RC, Ley L. Natural and actual valence-band discontinuities in the a-Si/a-Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H system. *Phys Rev B* 1989;40:3818-29.
- [9] Evangelisti F. Photoemission studies of amorphous semiconductor heterojunctions. *J Non-Cryst Solids* 1985;77-78:969-77.
- [10] Rahman MM, Furukawa S. Preparation and electrical properties of an amorphous SiC/crystalline Si p++ plus n heterostructure. *Jpn J Appl Phys., Part 1* 1984;23:515-24.
- [11] Datta A, Damon-Lacoste J, Natha M, Roca i Cabarrocas P, Chatterjee P. Dominant role of interfaces in solar cells with N-a-Si:H/P-c-Si heterojunction with intrinsic thin layer, *Mater. Sci. Eng. B* 2009;159–160:10–3.
- [12] A. Fantoni, Y. Vigranenko, M. Fernandes, R. Schwarz, M. Vieira, Influence of the band offset on the performance of photodevices based on the c-Si/a-Si:H heterostructure, *Thin Solid Films* 2001; 383, 314-317.
- [13] J.S. Lannin, N. Maley, S.T. Kshirsagar, Raman, scattering and short range order in amorphous germanium, *Solid State Commun.* 53 (1985) 939
- [14] Y-H. Chen, H-Y. Fang, Ch-M. Yeh, Raman scattering and electrical characterizations studies of hydrogenated amorphous silicon-germanium alloys prepared by 40 MHz plasma-enhanced CVD, *J. Non-Cryst. Solids* 2011; 357, 1-3.
- [15] Isomura M, Nakahata K, Shima M, Taira S, Wakisaka K, Tanaka M, Kiyama S. Microcrystalline silicon-germanium solar cells for multi-junction structures, *Sol Energy Mater Sol Cells* 2002;74:519-24.
- [16] Luo PQ, Zhou ZB, Chan KY, Tang DY, Cui RQ and Dou XM. Gas doping ratio effects on p-type hydrogenated nanocrystalline silicon thin films grown by hot-wire chemical vapor deposition. *Appl. Surf. Sci.* 2008; 255:2910–5.
- [17] Huang CH, Yu DS, Chin A, Chen WJ, McAlister SP. Device level characterization for energy bandgap of strain-relaxed SiGe and Oxide/SiGe barrier height, *J Electrochem Soc* 2004;151:377-9.
- [18] A. Fontcuberta i Morral and P. Roca i Cabarrocas, Structure and hydrogen content of polymorphous silicon thin films studied by spectroscopic ellipsometry and nuclear measurements, *Phys. Rev. B* 2004; 69, 125307-1 – 125307-10.

# Removal of Nitrophenol in aqueous solution using zeolite ZSM-5

Loại bỏ nitrophenol trong dung dịch nước bằng cách sử dụng vật liệu zeolite ZSM-5

Phạm Thị Hương\*, Kim Jitae  
Huong Pham Thi, Kim Jitae

*Center for Advanced Chemistry, Institute of Research and Development, Duy Tan University, Danang, Viet Nam  
Trung tâm Hóa học tiên tiến, Viện Nghiên cứu và Phát triển, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam*

*(Ngày nhận bài: 17/07/2019, ngày phản biện xong: 19/07/2019, ngày chấp nhận đăng: 20/8/2019)*

## Abstract

This study investigates the removal of nitrophenol (NP) from aqueous solutions through the adsorption process by using zeolite ZSM-5. The basic properties of material were performed by scanning electron microscopy (SEM), X-Ray diffraction (XRD) and surface area (BET). The effects of contact time and initial concentrations on the removal of NP by using zeolite were evaluated by batch experiments. The adsorption equilibrium was reached within 120 min. The adsorption isotherms were determined by the Langmuir and Freundlich models. The data fitted better to the Langmuir isotherm and the maximum adsorption capacity of NP was 68.6 mg/g which is higher than the previously reported values. The adsorption kinetics were performed by using first and second-order models. The results showed that the removal of NP followed second-order model with coefficient  $R^2 = 0.98$ . In regeneration process, 0.1M NaOH and 20 %  $C_2H_5OH$  were applied for desorption of nitrophenol.  $C_2H_5OH$  displayed high desorption efficiency for NP at 74.6% after 5 cycles. The results indicated that zeolite ZSM-5 would be used as promising adsorbent for removing NP from aqueous solution.

*Keywords:* Nitrophenol, Zeolite ZSM-5, Adsorption isotherms, Adsorption kinetics

## Tóm tắt

Nghiên cứu này khảo sát việc loại bỏ nitrophenol (NP) khỏi dung dịch nước thông qua quá trình hấp phụ bằng cách sử dụng zeolite ZSM-5. Các tính chất cơ bản của vật liệu được kiểm tra thông qua phương pháp hiển vi điện tử quét (SEM), nhiễu xạ tia X (XRD) và phương pháp đo diện tích bề mặt (BET). Ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc và nồng độ ban đầu đối với việc loại bỏ nitrophenol bằng zeolite được đánh giá thông qua các thí nghiệm theo mẻ. Cân bằng hấp phụ đạt được trong vòng 120 phút. Các đường đẳng nhiệt hấp phụ được xác định bởi mô hình Langmuir và Freundlich. Dữ liệu thu được từ kết quả thí nghiệm cho thấy sự loại bỏ phenol phù hợp hơn với đường đẳng nhiệt Langmuir và khả năng hấp phụ tối đa của zeolite ZSM-5 đối với NP là 68,6 mg/g, và cao hơn các giá trị được báo cáo trước đó. Động học hấp phụ được thực hiện bằng cách sử dụng các mô hình bậc nhất và bậc hai. Kết quả cho thấy việc loại bỏ nitrophenol theo mô hình bậc hai với hệ số  $R^2 = 0,98$ . Trong quá trình tái sử dụng vật liệu, NaOH 0,1M và 20%  $C_2H_5OH$  đã được sử dụng để giải hấp nitrophenol.  $C_2H_5OH$  cho thấy khả năng giải hấp phụ cao đối với nitrophenol với tỷ lệ giải hấp là 74,6% sau 5 lần. Dựa trên những phát hiện này, zeolite ZSM-5 có thể được sử dụng như một chất hấp phụ tiềm năng để loại bỏ nitrophenol khỏi dung dịch nước.

*Từ khóa:* nitrophenol, zeolite ZSM-5, đẳng nhiệt hấp phụ, động học hấp phụ.

## 1. Introduction

Chemical pollution of surface water exhibits a threat to the aquatic environment with hazardous effects [1-2]. Nitrophenol is an important

chemical intermediate, serving as precursors of pharmaceuticals and pesticides [3]. There are many methods to remove phenolic compounds from wastewater streams such as advance

oxidation process, extraction, chemical oxidation and adsorption [4]. Among these techniques, adsorption is widely used which is due to its easy operation, and simple design [5]. Adsorption processes with biological materials, mineral oxides, activated carbons, or polymer resins have been attracting great attention [6]. Activated carbon is one of the most commonly used adsorbents for the adsorption removal of organic pollutants. However, due to the high regeneration and purchase expenses of activated carbon, many attempts have been made to develop low-cost adsorbents by using naturally present materials to remove toxic organic compounds. Zeolites have been utilized as good adsorbents, molecular sieves, membranes, ion exchangers and catalysts for municipal and industrial pollution control. Zeolite ZSM-5 is one of the most important zeolites, and has been used widely as an industrial catalyst due to its strong acidity and high shape selectivity.

There are many researchers reporting the use of zeolites to remove organic pollutant [7-12]. The main objective of the present study is to evaluate the application of feasibility of zeolite ZSM-5 for removing NP from aqueous solutions using adsorption method. The basic properties of ZSM-5 were characterized and bath experiment for removal of nitrophenol was applied for further understanding of the adsorption process.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Materials

Commercial Zeolite ZSM-5, sodium hydroxide (NaOH > 99.8%), nitric acid (HNO<sub>3</sub> > 98.6%) and nitrophenol (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>NO<sub>3</sub> > 99.5%), at analytical grade were obtained from Daejung Chemical and Metals Co. LTD and used as received without further purification. An aqueous solution with a 500mg/L concentration of nitrophenol was prepared by mixing an appropriate amount of adsorbate with distilled water. Fresh stock solution as required was prepared immediately before use in the experiments.

### 2.2 Characterization of adsorbent

Scanning electron microscopy (SEM) studies were performed using a Hitachi S-4700 scanning electron microscope. The structure of ZSM-5 was determined by powder X-ray diffraction (XRD, D8 ADVANCE) CuK $\alpha$  emission, 30 kV/15 mA current and k $\beta$ -filter in the 2 $\theta$  range of 5-80 °. Finally, the specific Brunauer–Emmett–Teller (BET) surface area and pore size measurements of zeolite ZSM-5 were conducted with Micromeritics ASAP 2020 apparatus under nitrogen air.

### 2.3 Adsorption experiments

Adsorption experiments were carried out by agitating 0.1 g of adsorbent in 100 mL of 30 mg/L nitrophenol solution with pH = 6.0. Adsorption kinetic was conducted to particularly determine the effects of contact time (10-180min) and the effects of the initial concentration of NP in the solution were investigated over the concentration range of 10-100 mg/L. After adsorption experiments, all samples were taken out and filtered using Whatman 45 filter paper and the concentration of NP was measured by monitoring the absorbance at 315 nm using a UV-Vis spectrophotometer (Model UV 2100).

The removal percentage of NP from the interest solution was calculated using the following equation (1):

$$\% \text{ Removal} = (C_0 - C_e) / C_0 \times 100 \% \quad (1)$$

The adsorption capacity  $Q_e$  (mg/g) was calculated as follows (equation (2)):

$$Q_e = (C_0 - C_e) \times (V/W) \quad (2)$$

where  $V$  is the volume of the solution (L),  $C_0$  is the initial concentration (mg/L),  $C_e$  is the equilibrium concentration (mg/L), and  $W$  is the weight of the adsorbent (g).

The Langmuir and Freundlich adsorption isotherms were used to analyze the equilibrium adsorption. The Langmuir isotherm is given in equation (3).

$$q_e = q_{\max} bC_e / (1 + bC_e) \quad (3)$$

where  $q_e$  is the equilibrium adsorbate loading on the adsorbent (mg/g),  $C_e$  is the equilibrium adsorbate concentration (mg/L),  $q_{\max}$  is the ultimate capacity (mg/g) representing the monolayer adsorption capacity, and  $b$  is the relative energy (intensity) of adsorption, which is also known as the binding constant (L/mg).

The Freundlich isotherm is described by equation (4)

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (4)$$

where  $q_e$  is the amount of adsorbed per unit of adsorbent at equilibrium time (mg/g) and  $K_F$  ((mg/g)(L/mg)<sup>1/n</sup>) and  $n$  are isotherm constants for the capacity and intensity of adsorption, respectively.

### 3. Results and discussion

#### 3.1 Characterizations of material

##### Surface morphology, surface area and X-RD analysis

SEM is an extremely useful tool for visual confirmation of the surface morphology and physical state of the adsorbent surface. The surface morphology of ZSM-5 was presented in Fig. 1 (a). It can be seen that, the surface of material included many particles with tetra shape.

Fig. 1 (b) depicts the XRD patterns of zeolite ZSM-5. The peaks at  $2\theta$  values of 23.5, 30.1 and 54.3° showed the aluminates of zeolite. The peaks at  $2\theta = 7-10^\circ$  correspond to the specific peaks of  $Al^{3+}$  and  $Si^{4+}$  of the adsorbent [13-15].

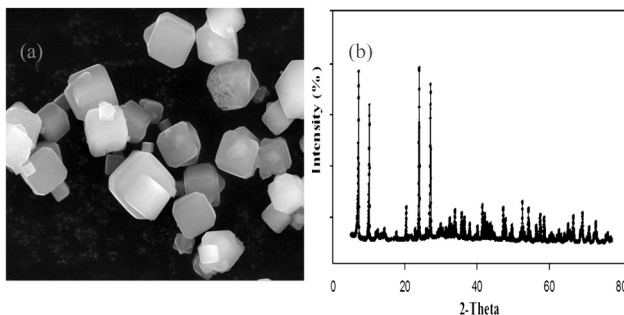


Fig. 1 SEM analysis (a) and XRD pattern (b)

#### Surface area analysis

The identified surface area and pore volume of the zeolite ZSM-5 were presented in Table 1. The specific surface area and total pore volume of material were 142.1 m<sup>2</sup>/g and 0.12 cm<sup>3</sup>/g, respectively. Generally, larger surface area and pore size of zeolite also facilitate the adsorption process, as the large organic pollutants or molecules can bind to the adsorption site more easily, resulting in an improved adsorption capacity of them [8-13].

Table 1. Surface texture parameters of zeolite ZSM-5

Material	S BET (m <sup>2</sup> /g)	V pores (cm <sup>3</sup> /g)
Zeolite ZSM-5	142.1	0.12

#### 3.2 Adsorption experiments

##### 3.2.1 Effect of reaction time

Adsorption experiments were performed in 100mL of a solution of 100mg/L NP and the contact time was varied from 10 to 180 min.

Fig. 2 shows the effect of different contact times on the adsorption of NP by ZSM-5. The removal of NP was rapid and nearly completed 97.6% in 120 min which was almost equilibrium. As time elapsed, little further adsorption was achieved until after 180 min.

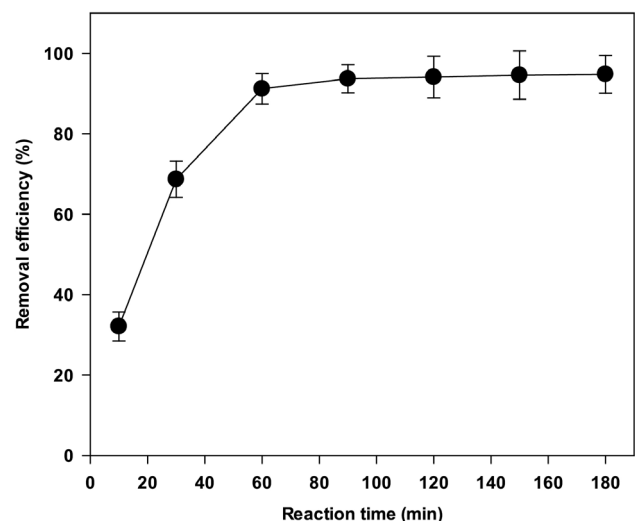


Fig. 2 Effect of reaction time on the removal of NP

### Adsorption kinetics

Adsorption kinetics models, pseudo-first-order and second-order (Eqs. 5 and 6, respectively), were conducted with a series of similar conditions of the equilibrium experiments:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - \left(\frac{k_1}{2.303}\right) t \quad (5)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \left(\frac{1}{q_e}\right) t \quad (6)$$

here,  $q_e$  and  $q_t$  (mg/g) are the amounts of nitrophenol adsorbed on zeolite at equilibrium and time  $t$ , respectively. The  $k_1$  ( $\text{min}^{-1}$ ) and  $k_2$  (g/mg/min) represent the pseudo-first-order and pseudo-

second-order rate law constants, respectively.

The kinetic information given in **Table 2** revealed that the pseudo-second-order equation provides much better agreement between calculated  $q_e$  values and the experimental data, compared to the pseudo-first-order equation. The determination coefficient for the second-order ( $R^2 = 0.96$ ) was greater than the first-order kinetic model ( $R^2 = 0.79$ ). These results indicate that the adsorption of NP by zeolite ZSM-5 followed the second-order kinetic model rather than the first-order reaction.

Table 2. The kinetics parameters for the adsorption of NP

Adsorbent	Pseudo-first order			Pseudo-second order			
	$q_e$ (exp) (mg/g)	$q_e$ (cal) (mg/g)	$R^2$	$K_1$	$q_e$ (cal) (mg/g)	$R^2$	$K_2$
Zeolite ZSM-5	20	15.17	0.79	$2.0 \times 10^{-2}$	19.3	0.96	$2.15 \times 10^{-3}$

#### 3.2.2 Effect of initial concentration

The effect of NP initial concentration was identified by changing the concentration from 10 to 100 mg/L and the results are shown in Fig. 3.

At low initial NP concentrations (10-30 mg/L), more surface area and adsorption sites are available for NP removal, thereby high adsorption capacity of NP. At high initial NP concentrations (above 30 mg/L), the NP removal efficiency significant decreased. These results indicate that most of the adsorption sites available in the given amounts of adsorbents had been adsorbed by NP. This behavior was attributed to the increasing degree of saturation sorbent sites above a certain NP concentration. The increase in the ratio of NP/adsorbent leads to saturation of sorption on the binding sites on the adsorbent surface, thereby decreasing the adsorption efficiency of NP per unit weight of adsorbent [14-16].

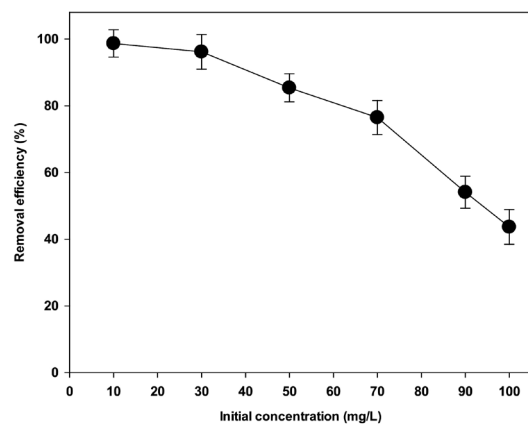


Fig. 3. Effect of initial concentration on the removal of NP

### Adsorption isotherm

Adsorption isotherms describe how NP interacts with zeolite and provides the basic requirement for the design of an adsorption system for removal of NP [17-18].

Table 3 summarizes the adsorption isotherm results and their data fitting of the two adsorption



models. The coefficient of determination ( $R^2$ ) of the Langmuir isotherm model was significantly higher ( $R^2 = 0.98$ ) than that of the Freundlich

model ( $R^2 = 0.73$ ). Using the Langmuir equation, the maximum adsorption capacity of nitrophenol was calculated at 68.6 mg/g.

Table 3. Langmuir and Freundlich adsorption isotherm parameters

Adsorbate	Langmuir isotherm			Freundlich isotherm		
	Qmax (mg/g)	b	R2	1/n	Kf	R2
Nitrophenol	68.6	1.23	0.98	0.26	24.3	0.73

### Desorption of NP

Recovery of nitrophenol from the loaded adsorbent is important for proper disposal and re-use of the adsorbent. In order to help minimize the cost of the entire process, the adsorbed NP needs to be desorbed so that the adsorbent can be regenerated for further adsorption-desorption process cycles. **Fig. 4** shows the desorption efficiency of NP from NP loaded zeolite ZSM-5 for an elution time of 180 min using 100 mL eluents of 0.5 M NaOH and 20 %  $C_2H_5OH$ .

**Fig. 4** also presents desorption efficiency change with repeated adsorption-desorption cycles under different desorption conditions. Between the two desorption eluents, the 20 %  $C_2H_5OH$  solution gave the highest desorption efficiency. Even after 5 consecutive regeneration (adsorption-desorption) cycles, the desorption efficiency of NP from NP loaded adsorbent was 74.6 %. This high desorption efficiency demonstrated the potential use of the zeolite ZSM-5 as a great adsorbent for the removal of NP from aqueous solution.

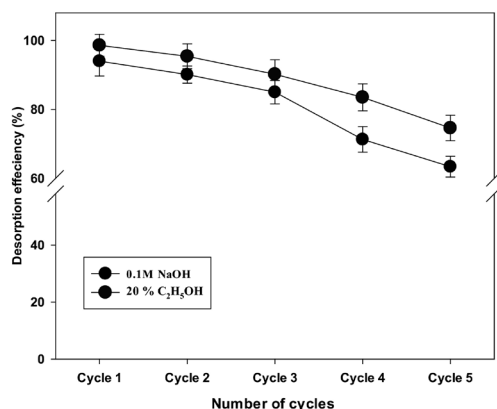


Fig. 4. Desorption of NP

### 4. Conclusions

This study investigated the potential application of the zeolite ZSM-5 as an adsorbent for NP removal from aqueous solution. The removal efficiency was optimized at reaction time of approximately 120 min and an initial concentration of 30 mg/L. The adsorption data of NP indicates that the Langmuir adsorption model provided a better fit than the Freundlich isotherm model. The maximum adsorption capacity of NP was 68.6 mg/g. Adsorption kinetic followed the second-order model. In addition, the 20%  $C_2H_5OH$  solution gave the highest desorption efficiency of nitrophenol even after 5 cycles. The results indicated that zeolite ZSM-5 could be utilized as promising adsorbent for removal of NP.

### References

- [1] Aksu, Z., Yener, J., 2001. A comparative adsorption/biosorption study of mono-chlorinated phenols onto various sorbents. *Waste Manage* 21, 695–702.
- [2] Al-Muhtaseb, A.H., Ibrahim, K.A., Albadarin, A.B., Ali-khashman, O., Walkerb, G.M., Ahmad, M.N.M., 2011. Remediation of phenol-contaminated water by adsorption using poly(methylmethacrylate) (PMMA). *Chem. Eng. J* 168, 691–699.
- [3] Canizares, P., Carmona, M., Baraza, O., Delgado, A., Rodrigo, M.A., 2006. Adsorption equilibrium of phenol onto chemically modified activated carbon F400. *J. Hazard. Mater* 131, 243–248.
- [4] Christen, P., Davidson, S., Combet-Blanc, Y., Auria, R., 2011. Phenol biodegradation by the thermoacidophilic archaeon *Sulfolobus solfataricus* 98/2 in a fed-batch bioreactor. *Biodegradation* 22, 475-484.
- [5] Dutta, N.N., Brothakur, S., Baruah, R., 1998. A novel process for recovery of phenol from alkaline

- wastewater: laboratory study and predesign cost estimate. *Water Environ. Res* 70, 4-9.
- [6] El-Naas, M.H., Al-Zuhair, S., Alhaija, M.A. 2010. Removal of phenol from petroleum refinery wastewater through adsorption on date-pit activated carbon. *Chem. Eng. J* 162, 997–1005.
- [7] T. Tago, H. Konno, M. Sakamoto, Y. Nakasaka, T. Masuda. Selective synthesis for light olefins from acetone over ZSM-5 zeolites with nano-and macro-crystal sizes. *Appl. Catal. A*, 403 (2011), 183–191
- [8] T. Yousheng, K. Hirofumi, A. Lloyd, K. Katsumi. Mesopore-modified Zeolite: Preparation, Characterization and Application. *Chem.Rev.* 106 (2006) 896-910.
- [9] M. Abrishamkar, A. Izadi. Nano-ZSM-5 zeolite: Synthesis and application to electrocatalytic oxidation of ethanol. *Microporous and Mesoporous Materials*. 180 (2013), 56-60.
- [10] T. H. Pham, L. Byeong-Kyu, K. Jitae, L. Chi-Hyeon. Nitrophenols removal from aqueous medium using Fe-nano mesoporous zeolite. *Materials & Design* 101 (2016), 210-217.
- [11] M.Amir, A. Reza. Partial oxidation of butane to syngas using nano-structure Ni/zeolite catalysts. *Industrial & Eng.Chem* 20 (2014), 1542-1548.
- [12] C. Sarah, Larsen. Nanocrystalline Zeolites and Zeolite Structures: Synthesis, Characterization, and Applications. *J. Phys. Chem. C*. 50 (2007),18464-18474.
- [13] Pham. T. H, Lee. B. K, Kim. J, Lee. C. H. Improved removal of 2-chlorophenol by a synthesized Cu-nanozeolite. *Process Safety and Environmental Protection*. 100 (2016), 272-280
- [14] Pham. T. H, Lee. K.M, Kim. M.S, Seo. J.W. Lee. C.H. La-modified ZSM-5 zeolite beads for enhancement in removal and recovery of phosphate. *Microporous and Mesoporous Materials*.279 (2019)37-44.
- [15] Pham. T. H, Lee. B. K, Kim. J, Lee. C. H. Nitrophenols removal from aqueous medium using Fe-nano mesoporous zeolite. *Materials & Design*. 101 (2016), 210-217
- [16] Pham. T. H, Lee. B. K, Kim. J, Lee. C. H, Chong .M. N. Acid activation pine cone waste at differences temperature and selective removal of Pb<sup>2+</sup> ions in water. *Process Safety and Environmental Protection*. 100 (2016), 80-90.
- [17] Schweigert, N., Alexander, J., Zehnder, J., Eggen, R., 2002. Agricultural solid waste for the removal of organics: adsorption of phenol from water and wastewater by Palm seed coat activated carbon. *Waste Manage* 22, 543–548.
- [18] Shanableh, A., Kharabsheh, A., 1996. Stabilization of Cd, Ni and Pb in soil using natural zeolite. *J. Hazard. Mater* 45, 207–217.

# Nghiên cứu hành vi vượt quá vận tốc trong linh kiện bán dẫn p-GaAs bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo tập hợp tự hợp

Investigation of velocity overshoot behavior in p-GaAs semiconductor by the ensemble Monte Carlo simulations

Nguyễn Phước Thế<sup>a</sup>, Huỳnh Ngọc Toàn<sup>a</sup>, Võ Thị Hoa<sup>b</sup>, Hồ Khắc Hiếu<sup>c</sup>  
Phuoc The Nguyen, Ngoc Toan Huynh, Hoa Vo Thi, Khắc Hiếu Ho

<sup>a</sup>Khoa Khoa học Tự Nhiên, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam  
Faculty of Natural Sciences, Duy Tan University, Danang, Vietnam

<sup>b</sup>Phòng Quản lý khoa học và Hợp tác quốc tế, Đại học Quảng Nam, Quảng Nam, Việt Nam  
Division of Scientific Research and International Relations, Quangnam University, Quangnam, Vietnam

<sup>c</sup>Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ cao, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam  
Institute for Research and Development, Duy Tan University, Danang, Vietnam

(Ngày nhận bài: 19/08/2019, ngày phản biện xong: 26/08/2019, ngày chấp nhận đăng: 28/08/2019)

## Tóm tắt

Bài báo nghiên cứu về hành vi vượt quá vận tốc trong linh kiện bán dẫn p-GaAs với nồng độ hạt tải kích thích là bằng phương pháp mô phỏng Monte Carlo tập hợp tự hợp (EMC). Đây là cách tiếp cận bán thực nghiệm mà chúng tôi sử dụng để quan sát hành vi vượt quá vận tốc. Qua các kết quả nghiên cứu, chúng tôi có thể quan sát được hiện tượng phục hồi vận tốc theo thời gian trên bán dẫn p-GaAs kích thước 400nm trong trường hợp điện trường ngoài bằng không tại nhiệt độ 150K và 300K. Ngoài ra chúng tôi thấy rằng, khi có điện trường ngoài tác dụng vào thì vận tốc cực đại tăng lên, đồng thời sự tắt dần dao động nhanh hơn. Khi điện trường ngoài tăng đến một giá trị xác định thì vận tốc của điện tử không còn biến động tắt dần mà sau khi đạt cực đại thì chuyển sang trạng thái tắt dần tới hạn. Bằng các phép khảo sát điện trường ngoài từng khoảng 10kV, chúng tôi xác định được điện trường ngoài để vận tốc đạt tới trạng thái tắt dần tới hạn này với mẫu tại các nhiệt độ 150 K là 130 kV và 300K là 100 kV.

*Từ khóa:* Vượt quá vận tốc, tắt dần tới hạn, mô phỏng EMC, bán dẫn GaAs loại p.

## Abstract

In this work, we present the investigation of the velocity overshoot behavior in p-GaAs semiconductor based on the ensemble Monte Carlo simulations with excited carrier density of  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . The velocity overshoot behavior is observed by semi-empirical approach. Our research shows that the velocity overshoot effect can be observed when no external electric field is applied to the device p-GaAs 400 nm at temperature 150 K and 300 K. We also point out that when external electric field is applied, the maximum velocity will increase and oscillation will damp faster. Furthermore, when external field reaches to a threshold value, the velocity of electron is in critical damping state. By changing external field with a step of 10 kV, the threshold electric fields at temperature 150 K and 300 K are derived, respectively, as 130 kV and 100 kV.

*Keywords:* Velocity overshoot, critically damped, EMC simulation, p-type GaAs.

## 1. Giới thiệu

Ngày nay, việc nghiên cứu và khảo sát tính chất điện trên linh kiện bán dẫn kích thước nano

thường gắn liền với quá trình bơm hạt tải từ các xung laser hoặc tác dụng điện trường ngoài vào linh kiện [1]-[4]. Đồng thời với các quá trình này

là sự vận chuyển hạt tải trong linh kiện, việc hiểu rõ quy luật vận chuyển hạt tải sẽ có nhiều ý nghĩa trong việc cải thiện và nâng cao hiệu suất sử dụng các thiết bị điện tử. Vượt quá vận tốc là hành vi thú vị trong linh kiện có kích thước nano, và có ảnh hưởng nhiều đến hiệu suất khi sử dụng các linh kiện này. Giá trị vận tốc cực đại có thể cao hơn rất nhiều so với vận tốc nhiệt cân bằng của chúng. Như ta biết, hành vi vượt quá vận tốc được giải thích do tốc độ phục hồi năng lượng và động lượng khác nhau, cụ thể là tốc độ phục hồi động lượng lớn hơn tốc độ phục hồi năng lượng [5]-[8]. Hành vi này được biết là do ảnh hưởng của điện trường ngoài tác dụng vào linh kiện đã được quan sát bằng các phương pháp lý thuyết và thực nghiệm. Với sự phát triển của các thuật toán cũng như các cấu hình máy tính mạnh cho thấy phương pháp mô phỏng EMC có hiệu quả rõ rệt. Phương pháp này sử dụng mô hình 3 thung lũng  $\Gamma, L, X$  với độ phân giải không gian và thời gian cao nên quan sát tốt sự thay đổi vận tốc hạt tải. Hành vi vượt quá vận tốc từ mô hình này được giải thích liên quan các quá trình vận chuyển hạt tải xảy ra từ thung lũng trung tâm khối lượng nhẹ ( $\Gamma$ ) đến thung lũng khối lượng nặng hơn  $L, X$  [8]-[12]. Tuy nhiên, các nghiên cứu hành vi đến nay thường quan sát trong điều kiện một điện trường ngoài mạnh tác dụng vào linh kiện, bởi vậy, hầu hết các phân tích đều cho rằng, nguồn gốc của hành vi này là do tác động của điện trường ngoài [13]-[16]. Vấn đề chúng tôi quan tâm ở đây là ảnh hưởng của điện trường nội tại, điện trường này có nguồn gốc từ phân bố không đồng đều nồng độ hạt tải trên linh kiện được kích thích bởi các xung laser siêu nhanh. Nếu có điện trường ngoài phân bố đều trên linh kiện thì điện trường giữa 2 lớp lân cận trong vùng bán dẫn bao gồm cả điện trường ngoài và điện trường nội tại. Nếu khoảng cách giữa các lớp lưới rất bé thì điện trường nội tại có đóng góp rất đáng kể vào quá trình vận chuyển hạt tải. Để nghiên cứu vấn đề này, chúng tôi sử dụng mô hình linh kiện bán dẫn p- GaAs kích thước 400nm và thực

hiện mô phỏng ở nhiệt độ 150K và 300K. Trên cơ sở phân tích lý thuyết, chúng tôi chỉ ra được rằng, do ảnh hưởng của điện trường nội tại nên vận tốc hạt tải biến động tắt dần với chu kỳ xác định phụ thuộc vào các tham số của mô hình, được trình bày trong mục 2. Các kết quả quan sát từ mô phỏng của chúng tôi phù hợp với những phân tích lý thuyết và được thảo luận chi tiết trong mục số 3 của bài báo này.

## 2. Phân tích lý thuyết

Trên cơ sở một mô hình phục hồi động lượng  $P$  khi có điện trường ngoài  $E_{ext}$  tác dụng vào được mô tả bởi các phương trình:  $\frac{dP}{dt} = q \cdot E_{ext} - \Gamma_p(W)P$  [6], trong đó  $\Gamma_p(W)$  là hệ số phục hồi động lượng liên quan đến tốc độ phục hồi động lượng.

Khi vượt quá vận tốc xảy ra, vận tốc cực đại là  $v = \frac{q \cdot E_{ext}}{m^* \cdot \Gamma_m(W)}$  [7], ở đây  $m^*$  là khối lượng hiệu dụng của điện tử tương ứng. Như vậy, các tính toán này không xét đến một thành phần điện trường nội tại quan trọng có nguồn gốc từ sự chênh lệch nồng độ hạt tải trong linh kiện. Đặc biệt, trong trường hợp khoảng cách giữa các lưới không gian bé, giá trị của điện trường này là rất đáng kể. Vận tốc hạt tải được kích thích bởi lực điện trường sẽ có 2 loại gồm: điện trường kích thích bên ngoài không đổi ( $E_{ext}$ ) như đã đề cập ở phần trên; và điện trường nội tại  $E_i$  giữa 2 lớp bán dẫn do phân bố điện tích không gian không đồng nhất và thay đổi theo thời gian. Nếu bỏ qua ảnh hưởng của điện trường ngoài thì phương trình phục hồi động lượng có thể viết lại là:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{q \cdot (E)}{m} - \Gamma(W) \quad (1)$$

Điện trường nội tại biến thiên theo thời gian do liên quan đến các quá trình tán xạ và tái hợp điện tử. Ta biết rằng:  $\frac{dE_{in}}{dt} = \frac{en}{\epsilon_s} v$ ; trong đó  $e$  là điện tích của điện tử,  $n$  là số hạt tải kích thích và  $\epsilon_s$  là hằng số điện môi tĩnh. Thực hiện các biến đổi vi phân ta được:

$$\frac{d^2v}{dt^2} + \Gamma_p(W) \frac{dv}{dt} + \frac{ne^2}{m^* \epsilon_s} \cdot v = 0 \quad (2)$$

Nghiệm của phương trình (2) có thể được biết dưới dạng:

$$v = v_0 e^{-\beta t} [1 - \cos(\omega t)] \quad (3)$$

ở đây,  $v_0$  là vận tốc cực đại,  $\omega = \sqrt{\frac{ne^2}{m^* \epsilon_s} - \beta^2}$ , và  $2\beta = \Gamma_p(W)$ . Như vậy, từ phân tích lý thuyết được chỉ ra trong phương trình (3), ta thấy vận tốc trôi dạt của hạt tải biến đổi tắt dần theo thời gian, vận tốc cực đại của điện tử giảm dần sau mỗi chu kỳ.

Để tìm hiểu về vấn đề này, chúng tôi tiến hành mô phỏng EMC với độ phân giải không gian là  $\Delta x = 1A^0$  và thời gian là  $\Delta t = 0.2fs$ , điện trường nội tại do nồng độ hạt tải được tính toán bằng cách giải phương trình Poisson. Khi áp dụng phương pháp này, quá trình chuyển động trôi dạt của hạt tải được phân tích theo lý thuyết động lực học cổ điển-, còn các quá trình tán xạ như tán xạ phonon, tán xạ Ion tạp chất hay tán xạ giữa các hạt tải..., được sử dụng lý thuyết lượng tử trên cơ sở quy tắc vàng Fermi. Trong mô phỏng, chúng ta cũng phải tính đến sự phân bố hạt trong không gian thực, không gian  $k$ , và giản đồ thế ở mô hình linh kiện từ lúc bắt đầu mô phỏng. Trong không gian thực, các hạt thường được phân bố phù hợp với giản đồ pha tạp của các tạp chất ion hóa tương ứng. Sự phân bố hạt ban đầu trong không gian  $\vec{k}$  được xác định bởi các số ngẫu nhiên. Trong đó, sự phân bố năng lượng được giả thuyết là cân bằng nhiệt nên năng lượng của mỗi hạt có giá trị  $\frac{3}{2} k_B T \ln(r)$ ; trong đó  $k_B$  là hằng số Boltzmann,  $T$  là nhiệt độ hạt tải (giả sử bằng nhiệt độ mạng),  $r$  là số ngẫu nhiên được phân bố đều giữa 0 và 1. Độ lớn của vectơ sóng  $\vec{k}$  được xác định bởi hệ thức tán sắc năng lượng độ lớn của véc tơ sóng  $\vec{k}$  được xác định bởi công thức  $k = \frac{\sqrt{2m^* E_{\vec{k}}}}{\hbar}$ , vận

tốc tức thời của hạt tải được cho bởi phương trình [8]:

$$\vec{v} = \frac{1}{\hbar} \nabla_{\vec{k}} W_{\vec{k}} \quad (4)$$

trong đó,  $W_{\vec{k}}$  là năng lượng hạt tải được viết dưới dạng véc tơ sóng  $\vec{k}$ . Vận tốc trôi dạt trong bình trong suốt thời gian mô phỏng  $\tau$  được cho bởi:

$$\vec{v}_{avg} = -\frac{1}{\tau e E} \sum (W_f - W_i) \quad (5)$$

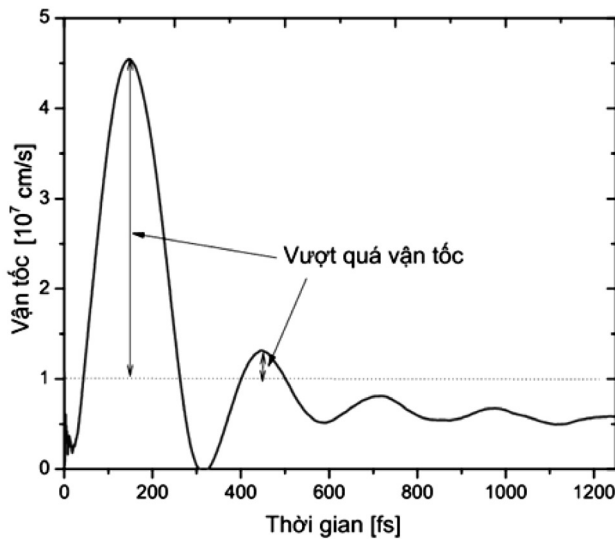
với  $\vec{E}$  là điện trường tổng,  $W_f$  và  $W_i$  là năng lượng cuối và năng lượng đầu tương ứng.

### 3. Kết quả mô phỏng và thảo luận

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng một mẫu linh kiện bán dẫn GaAs loại p có kích thước 400 nm. Đầu tiên, chúng tôi khảo sát vận tốc trôi dạt với điện trường ngoài bằng 0 tại nhiệt độ phòng (150K) mà không xét ảnh hưởng của điện trường ngoài. Các hạt tải được kích thích bởi các xung laser siêu nhanh 12 fs với năng lượng 1.49 eV với mật độ hạt tải không đổi là  $10^{18} \text{cm}^{-3}$ . Kết quả chỉ ra rằng, vận tốc hạt tải cực đại rất lớn so với vận tốc trung bình nhiệt (có giá trị cỡ  $0.82 \times 10^7 \text{cm/s}$ ) nên gọi là vượt quá vận tốc (velocity overshoot). Ngoài ra, chúng tôi còn thấy rõ sự phục hồi của vận tốc sau một chu kỳ biến đổi như chỉ ra trong Hình 1. Điều này được giải thích là, khi điện được kích thích lên vùng dẫn ở thung lũng  $\Gamma$ , điện trường nội tại giữa hai điểm lưới do chênh lệch nồng độ tại các vị trí trong linh kiện lớn kích thích tăng tốc điện tử và nhanh chóng đạt đến cực đại, các điện tử kéo theo chuyển động sóng tập thể và kích thích các điện tử khác chuyển lên vùng năng lượng cao hơn ở các thung lũng L, X, ứng với khối lượng hiệu dụng  $m^*$  ( $\frac{1}{m^*} = \frac{1}{\hbar^2} \frac{\partial^2 E_{\vec{k}}}{\partial k^2}$ ) tăng. Vì vậy, vận tốc của các điện tử giảm về giá trị cực tiểu. Đáng chú ý là sau chu kỳ này thì ta thấy rõ sự xuất hiện hiện tượng phục hồi vận tốc với các cực đại khác với biên độ giảm dần sau mỗi chu kỳ. Điều này được giải thích là sau một chu kỳ và phục hồi năng lượng tại các vùng năng lượng



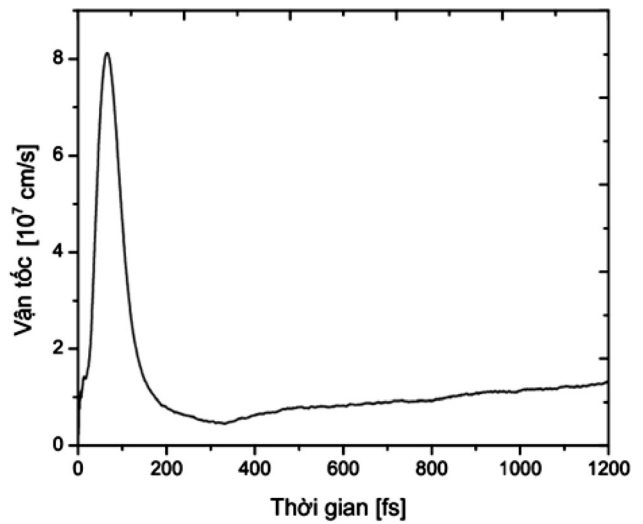
cao, các hạt tải trải qua các quá trình tán xạ và tái hợp dẫn đến phục hồi năng lượng và chuyển về mức năng lượng thấp (thung lũng  $\Gamma$ ), ở mức này thì khối lượng hiệu dụng giảm làm cho vận tốc tăng trở lại với quá trình kích thích chuyển động tập thể các hạt tải được tiếp diễn.



Hình 1. Vận tốc trôi dạt của điện tử theo thời gian với các giá trị điện trường ngoài bằng 0 kV/cm khi nhiệt độ 150K.

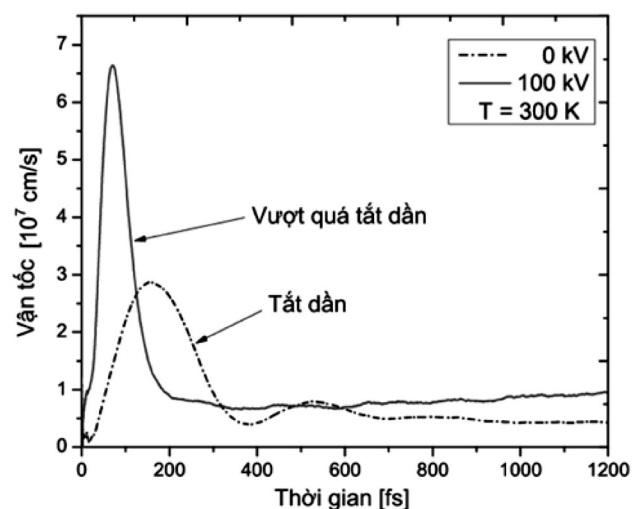
Như vậy, hiện tượng phục hồi vận tốc xảy ra trong linh kiện bán dẫn bị ảnh hưởng nhiều bởi điện trường nội tại, phương trình biến đổi vận tốc được biểu diễn bởi công thức (3).

Để đánh giá kết quả nghiên cứu so với các phương pháp khác trong trường hợp có điện trường ngoài cao, chúng tôi tiến hành thay đổi điện trường từng khoảng 10 kV. Kết quả chúng tôi nhận thấy rằng, trong điều kiện nhiệt độ 150 K thì khi điện trường đạt đến giá trị 130 kV thì sự phục hồi vận tốc không tồn tại, nghĩa là sau khi đạt cực đại thì vận tốc chuyển sang trạng thái tắt dần tới hạn (critically damped), xem Hình 2. Để tìm hiểu thêm về vấn đề này, chúng tôi tiến hành mô phỏng tại nhiệt độ 300 K, kết quả nghiên cứu hoàn toàn tương tự. Tại nhiệt độ này, điện trường ngoài để xảy ra tắt dần tới hạn có giá trị 100 kV (xem Hình 3).



Hình 2. Vận tốc trôi dạt của điện tử theo thời gian có trạng thái tắt dần tới hạn khi điện trường ngoài bằng 130 kV/cm tại nhiệt độ 150 K.

Qua các kết quả nghiên cứu trên ta thấy rằng, hành vi vượt quá vận tốc có vai trò rất lớn của điện trường nội tại, điện trường nội tại làm vận tốc hạt tải biến động tắt dần theo thời gian. Điện trường ngoài có tác dụng làm tăng tốc hạt tải, cực đại vận tốc tăng lên cao hơn và làm vận tốc điện tử chuyển từ trạng thái tắt dần sang tắt dần tới hạn. Giá trị của điện trường ngoài làm vận tốc chuyển trạng thái cũng khác nhau khi nhiệt độ trên mẫu linh kiện khác nhau.



Hình 3. Vận tốc trôi dạt của điện tử có trạng thái tắt dần tới hạn khi điện trường ngoài đạt đến 100 kV/cm tại nhiệt độ 300 K.

### 3. Kết luận

Bằng kỹ thuật mô phỏng EMC chúng tôi đã quan sát được hành vi vượt quá vận tốc trong linh kiện p-GaAs với kích thước 400nm tại các nhiệt độ 150 K và 300 K khi nồng độ hạt tải kích thích  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . Các kết quả cho thấy rằng, nếu không có điện trường ngoài thì vận tốc trôi dạt của hạt tải biến động tắt dần với một chu kỳ xác định, khi áp điện trường ngoài vào linh kiện và tăng dần thì cường độ cực đại tăng theo, và khi điện trường này đạt đến một giá trị xác định thì vận tốc trôi dạt từ cực đại chuyển sang trạng thái tắt dần tới hạn. Tại mỗi nhiệt độ khác nhau thì giá trị điện trường tới hạn này cũng khác nhau.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] H. D. Rees, J. Phys. Chem. Solids Pergamon Press 30 (1969), 643-655.
- [2] B. E. Foutz, S. K. O'Leary, M. S. Shur, and L. F. Eastman, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 512(1998).
- [3] K.Y. Lima, X. Zhou, Microelectronics Reliability, 42 (2002), 1857–1864.
- [4] M. S. Shur, IEEE transaction on electron devices, 26 (1979), 11.
- [5] J. Jyegal, AIP advances, 5 (2015), 067118.
- [6] M. O. Vassell and J. Lee, J. Appl. Phys., 58 (1985), 11.
- [7] S. L Teitel and J. W. Wilkins, IEEE transaction on electron devices, 30 (1983), 2.
- [8] K. Tomizawa, Numerical Simulation of Submicron Semiconductor Devices, Artech House, Boston (1st Edition), Chapter 4, (1993).
- [9] G. Hiblot, Q. Rafhay, F. Boeuf and G. Ghibaudo, IEEE Xplore (2015).
- [10] A. Reklaitis, Monte Carlo analysis of terahertz oscillations of photoexcited carriers in GaAs p-i-n structures, Phys. Rev. B 74, (2006) 165305.
- [11] Nguyen PhuocThe, Ho KhacHieu, Investigation of velocity overshoot behavior in p-i-n GaAs semiconductor: The contribution of internal electric field, Physics Letters A, 383, ( 2019) 19.
- [12] D. N. Thao, S. Katayama, T. D. Khoa and M. Iida, Semicond. Sci. Technol., 19 (2004), S304–S307
- [13] J. Han, Journal of the Korean Physical Society, 71 (2017), 6.
- [14] K. H. Yeoh and D. S. Ong, AIP Conf. Proc. 1877 (2017), 80003-1–80003-6.
- [15] A. Ghosal, D. Chattopadhyay, and N. N. Purkait, Appl. Phys. Lett., 44 (1984), 8.
- [16] F. A. Buot and J. Frey, Solid-State Electronics, 26 (1983), 7, 617-632

# Cạnh tranh các trạng thái ngưng tụ trong cấu trúc vi hốc

## Competition of condensation states in microcavity

Ninh Quốc Huy<sup>a</sup>, Phan Văn Nhâm<sup>b</sup>

Quoc Huy Ninh, Van Nham Phan

<sup>a</sup>Cao đẳng Sư phạm Lạng Sơn, Đèo Giang, Lạng Sơn  
Langson College of Education, Deo Giang, Langson

<sup>b</sup>Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ cao, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam  
Institute of Research and Development, Duy Tan University, Danang, Vietnam

(Ngày nhận bài: 22/08/2019, ngày phản biện xong: 26/08/2019, ngày chấp nhận đăng: 28/8/2019)

### Tóm tắt

Trong gần đúng trường trung bình tĩnh, chúng tôi khảo sát sự tồn tại các trạng thái ngưng tụ trong cấu trúc vi hốc. Tương quan của hệ điện tử, lỗ trống và photon trong cấu trúc vi hốc được mô tả thông qua thế Coulomb giữa điện tử-lỗ trống và tương tác của điện tử, lỗ trống với photon. Khi có mặt của các tương tác này, chúng tôi tìm được hệ phương trình tự hợp, cho phép xác định các tham số trật tự trạng thái ngưng tụ exciton, polariton và photon trong hệ. Ở nhiệt độ không, kết quả tính số khẳng định sự tồn tại của các trạng thái ngưng tụ này. Khi thay đổi mật độ kích thích hay hằng số tương tác, sự cạnh tranh của các trạng thái ngưng tụ được thảo luận.

*Từ khóa:* trạng thái ngưng tụ exciton-polariton, cấu trúc vi hốc, gần đúng trường trung bình

### Abstract

In the framework of mean-field approximation, we analyze the existence of condensation states in a microcavity. Correlations of the electrons, holes, photons system in the microcavity are indicated in the electron-hole Coulomb interaction and matter-light coupling. In the presence of the interactions, we derive a set of self-consistent permitting us to evaluate order parameters addressing the excitonic, polaritonic, and photonic condensation states. Numerical results show us that at zero temperature there are condensation states in the systems. As functions of excitation density and interactions, a competition of the condensation states has been discussed.

*Keywords:* excitonic-polaritonic condensation states, microcavity, mean-field approximation

### 1. Mở đầu

Thời gian gần đây, với nỗ lực quan sát trạng thái lượng tử trong chất rắn ở điều kiện vĩ mô đã thu hút sự tập trung nghiên cứu rất lớn của các nhà nghiên cứu [1-3]. Ở dưới một nhiệt độ tới hạn, mật độ đủ lớn của các hạt hoặc giả hạt boson có thể ngưng tụ ở trạng thái lượng tử kết hợp vĩ mô được gọi là ngưng tụ Bose-Einstein

(BEC) [2]. Tuy nhiên, để quan sát được trạng thái này, nhiệt độ tới hạn phải đủ lớn, hay khối lượng hiệu dụng của các hạt/giả hạt boson phải đủ nhỏ và thời gian sống của các hạt phải đủ dài. Điều này có thể thực hiện được trong cấu trúc vi hốc, tại đó một trạng thái giả hạt boson-polariton do sự liên kết giữa exciton và photon có thể tồn tại. Polariton có khối lượng hiệu dụng rất nhỏ và

thời gian sống đủ lâu [1,4,5]. Trong thí nghiệm, sự ngưng tụ của các polariton đã được quan sát ngay cả ở nhiệt độ phòng [6,7]. Tuy nhiên, ngoài polariton, trong cấu trúc vi hốc còn tồn tại các exciton (do liên kết giữa điện tử và lỗ trống) và photon chưa liên kết. Exciton và photon cũng là những giả hạt boson và vì vậy ở điều kiện thích hợp các hạt này vẫn có thể ngưng tụ ở trạng thái BEC. Nghiên cứu sự cạnh tranh các trạng thái ngưng tụ của hệ exciton, polariton và photon trong cấu trúc vi hốc vì vậy rất cần thiết.

Để mô tả hệ điện tử, lỗ trống, và photon trong cấu trúc vi hốc, chúng tôi sử dụng Hamiltonian của hệ nhiều hạt, trong đó điện tử và lỗ trống được mô tả trong gần đúng liên kết chặt. Lực hút tĩnh điện Coulomb giữa điện tử và lỗ trống và ghép cặp điện tử photon được xem như định xứ. Trên cơ sở của Hamiltonian này, chuyển pha các trạng thái ngưng tụ của exciton, polariton và photon trong cấu trúc vi hốc được nghiên cứu bằng nhiều phương pháp khác nhau [8-10]. Trong nghiên cứu của chúng tôi, gần đúng Hartree-Fock không giới hạn dựa trên cơ sở là lý thuyết trường trung bình được sử dụng để khảo sát Hamiltonian trên. Với gần đúng này, chúng tôi thu được hệ phương trình tự hợp, cho phép xác định các tham số trật tự các trạng thái ngưng tụ. Từ phân tích đóng góp của các tham số trật tự này, chúng tôi thảo luận sự cạnh tranh các trạng thái ngưng tụ exciton, polariton và photon trong hệ. Mặc dù giới hạn ở nhiệt độ không, kết quả tính số vẫn cho ta một bức tranh cụ thể cạnh tranh trạng thái ngưng tụ của hệ. Kết quả vì vậy là cơ sở để chúng tôi khảo sát chi tiết hơn sự tồn tại trạng thái ngưng tụ trong cấu trúc vi hốc, vốn còn nhiều tranh cãi.

Bài báo được chia thành 4 phần. Ngoài lời giới thiệu trong phần 1, phần 2 trình bày Hamiltonian mô tả hệ điện tử, lỗ trống, photon trong cấu trúc vi hốc. Gần đúng trường trung bình, áp dụng cho mô hình cũng được trình bày trong phần này. Kết quả chúng tôi thu được hệ phương trình tự hợp cho các tham số trật tự trạng thái ngưng tụ. Phần

3 trình bày kết quả tính số và thảo luận. Cuối cùng, kết luận của bài báo được trình bày trong phần 4.

## 2. Mô hình và phương pháp lý thuyết

Để mô tả hệ điện tử, lỗ trống và photon trong cấu trúc vi hốc có kể tới tương tác điện tử-lỗ trống và tương tác điện tử-photon, chúng tôi sử dụng mô hình viết dưới dạng Hamiltonian sau:

$$H = H_0 + H_{\text{int}}, \quad (1)$$

trong đó,

$$H_0 = \sum_{\mathbf{k}} \varepsilon_{\mathbf{k}}^e e_{\mathbf{k}}^\dagger e_{\mathbf{k}} + \sum_{\mathbf{k}} \varepsilon_{\mathbf{k}}^h h_{\mathbf{k}}^\dagger h_{\mathbf{k}} + \sum_{\mathbf{q}} \omega_{\mathbf{q}} \psi_{\mathbf{q}}^\dagger \psi_{\mathbf{q}},$$

mô tả hệ điện tử, lỗ trống, photon không tương tác. Ở đây, điện tử và lỗ trống trong vật liệu được mô tả gần đúng trong điều kiện liên kết chặt với  $e_{\mathbf{k}}^\dagger (e_{\mathbf{k}})$ ,  $h_{\mathbf{k}}^\dagger (h_{\mathbf{k}})$  là các toán tử sinh (hủy) điện tử, lỗ trống ứng với xung lượng  $\mathbf{k}$ . Để đơn giản, chúng ta bỏ qua chỉ số spin của điện tử và lỗ trống. Trong gần đúng liên kết chặt, hệ thức tán sắc của điện tử và lỗ trống viết dưới dạng:

$$\varepsilon_{\mathbf{k}}^{e,h} = -2t\gamma_{\mathbf{k}} + \frac{E_g + 8t - \mu}{2},$$

với  $t$  là tích phân nhảy nút; trong hệ hai chiều với gần đúng liên kết chặt ta có  $\gamma_{\mathbf{k}} = 2(\cos k_x + \cos k_y)$  [10].  $t$  được giả thiết là như nhau với điện tử và lỗ trống. Để đơn giản, trong các tính toán về sau,  $t=1$  được xem như đơn vị của năng lượng.  $E_g$  mô tả khe năng lượng, hay khoảng cách giữa đáy của dải điện tử với đỉnh của dải lỗ trống.  $E_g < 0$  thể hiện 2 dải năng lượng xen phủ nhau và hệ ở trạng thái bán kim loại, ngược lại hệ ở trạng thái bán dẫn.  $\mu$  được xem như thế hóa khi ta giả sử hệ ở trạng thái cân bằng nhiệt động. Số hạng cuối của  $H_0$  mô tả thành phần photon không tương tác với  $\psi_{\mathbf{q}}^\dagger (\psi_{\mathbf{q}})$  là các toán tử sinh (hủy) photon ứng với xung lượng  $\mathbf{q}$  và  $\omega_{\mathbf{q}}$  là hệ thức tán sắc của photon,  $\omega_{\mathbf{q}} = \sqrt{(c\mathbf{q})^2 + \omega_0^2} - \mu$  với  $c$  là vận tốc ánh sáng.

Thành phần tương tác  $H_{\text{int}}$  trong Hamiltonian bao gồm tương tác Coulomb giữa điện tử và lỗ trống  $U$  và tương tác điện tử với photon  $g$ ,

trong không gian xung lượng được viết dưới dạng:

$$H_{\text{int}} = -\frac{U}{N} \sum_{\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2, \mathbf{q}} e_{\mathbf{k}_1+\mathbf{q}}^\dagger e_{\mathbf{k}_1} h_{\mathbf{k}_2-\mathbf{q}}^\dagger h_{\mathbf{k}_2} - \frac{g}{\sqrt{N}} \sum_{\mathbf{k}, \mathbf{q}} [e_{\mathbf{k}+\mathbf{q}}^\dagger h_{-\mathbf{k}}^\dagger \psi_{\mathbf{q}} + \text{H.c.}].$$

Để mô tả hệ điện tử, lỗ trống, photon trong cấu trúc vi hốc, một cách thuận lợi chúng ta sử dụng tham số điều chỉnh

$$d = \omega_0 - E_g.$$

Thực vậy, khi  $d$  nhỏ, các dải điện tử, lỗ trống và photon xen phủ nhau nhiều và vì vậy làm tăng cường khả năng ngưng tụ của các giả hạt photon. Ngược lại khi  $d$  lớn, ảnh hưởng của photon không còn đáng kể lên sự ghép cặp của điện tử và lỗ trống, hệ vì vậy gần với các cấu trúc bán dẫn thông thường.

Với Hamiltonian ở trên, trong bài báo này, chúng tôi sử dụng gần đúng trường trung bình tĩnh để thiết lập hệ phương trình tự hợp. Khi các thăng giáng tương quan được bỏ qua, ta dễ dàng thu được phương trình xác định tham số trật tự trạng thái ngưng tụ

$$\Delta = \frac{g}{\sqrt{N}} \langle \psi_0 \rangle - \frac{U}{N} \sum_{\mathbf{k}} \langle e_{\mathbf{k}}^\dagger h_{-\mathbf{k}}^\dagger \rangle.$$

Ở đây,  $d = \langle e_{\mathbf{k}}^\dagger h_{-\mathbf{k}}^\dagger \rangle$  có ý nghĩa của mật độ cặp điện tử-lỗ trống còn  $\langle \psi_0 \rangle$  là phân cực photon ở xung lượng  $\mathbf{0}$ . Số hạng sau vì vậy được xem như tham số trật tự trạng thái ngưng tụ exciton  $\Delta_{\text{ex}} = \frac{U}{N} \sum_{\mathbf{k}} \langle e_{\mathbf{k}}^\dagger h_{-\mathbf{k}}^\dagger \rangle$ , còn số hạng đầu thể hiện tham số trật tự trạng thái ngưng tụ photon  $\Delta_{\text{ph}} = \frac{g}{\sqrt{N}} \langle \psi_0 \rangle$ . Để dễ dàng phân biệt được các trạng thái ngưng tụ exciton, polariton hay photon chúng ta dựa vào các tỉ số thể hiện đóng góp của các tham số trật tự exciton,  $\Delta_{\text{ex}} / \Delta$  và tham số trật tự photon  $\Delta_{\text{ph}} / \Delta$ .

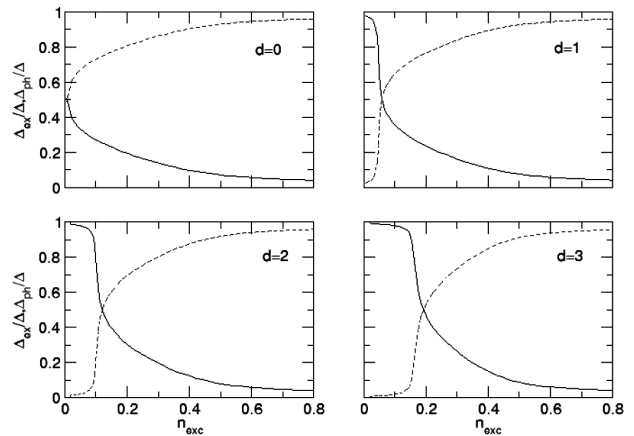
### 3. Kết quả tính số và thảo luận

Trong phần này, chúng tôi trình bày kết quả tính số để thảo luận sự cạnh tranh các trạng thái

trật tự ngưng tụ có thể trong hệ. Các tham số trật tự mô tả trạng thái ngưng tụ ở trên có thể được xác định một cách tự hợp. Ứng với mỗi thể hóa, chúng tôi thu được kết quả tự hợp cho các tham số trật tự cho hệ 2 chiều với số nút mạng tinh thể là  $N=200 \times 200$ . Thể hóa được xác định trên cơ sở cố định tổng số mật độ hạt kích thích

$$n_{\text{exc}} = \frac{1}{2N} \sum_{\mathbf{k}} (\langle e_{\mathbf{k}}^\dagger e_{\mathbf{k}} \rangle + \langle h_{\mathbf{k}}^\dagger h_{\mathbf{k}} \rangle) + \frac{1}{N} \sum_{\mathbf{q}} \langle \psi_{\mathbf{q}}^\dagger \psi_{\mathbf{q}} \rangle.$$

Để mô tả sự cạnh tranh các trạng thái ngưng tụ của hệ, trước hết, chúng tôi mô tả sự phụ thuộc của các tham số trật tự vào mật độ hạt kích thích cho trường hợp tương tác Coulomb đủ lớn,  $U=2$  và tương tác điện tử-photon nhỏ,  $g=0.2$ .



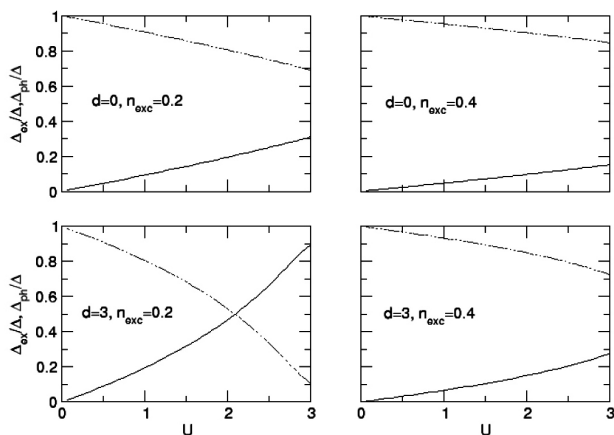
Hình 1. Sự phụ thuộc của các tỉ số tham số trật tự  $\Delta_{\text{ex}} / \Delta$  (màu đen liền nét) và  $\Delta_{\text{ph}} / \Delta$  (màu đỏ đứt nét) vào nồng độ hạt kích thích  $n_{\text{exc}}$  ứng với thể tương tác Coulomb  $U=2$  cho mỗi giá trị của  $d$  được viết bên trong hình vẽ.

Hình 1 mô tả sự phụ thuộc của  $\Delta_{\text{ex}} / \Delta$  và  $\Delta_{\text{ph}} / \Delta$  vào  $n_{\text{exc}}$  cho một số giá trị của  $d$  trong khoảng từ 0 tới 3 khi cố định  $\omega_0=0.5$ . Từ hình vẽ ta nhận thấy trong trường hợp  $d=0$ , tham số trật tự trạng thái ngưng tụ photon luôn lớn hơn giá trị của tham số trật tự trạng thái exciton ứng với mọi giá trị của mật độ hạt kích thích. Rõ ràng, trong trường hợp này ta chủ yếu quan sát được trạng thái ngưng tụ polariton khi mật độ hạt kích thích nhỏ và trạng thái ngưng tụ photon khi mật độ hạt kích thích lớn. Chú ý rằng, trong trường hợp này ta không quan sát được trạng thái ngưng tụ exciton. Thực vậy, trạng thái ngưng tụ exciton



chỉ được quan sát khi  $d$  đủ lớn. Như ở hình vẽ ta thấy khi  $d \geq 1$ , khi mật độ hạt kích thích nhỏ, tham số trật tự trạng thái ngưng tụ exciton đóng vai trò quan trọng, ưu tiên so với tham số trật tự trạng thái ngưng tụ photon. Vì vậy khi mật độ hạt kích thích nhỏ, hệ tồn tại trạng thái ngưng tụ exciton. Khi tăng nồng độ kích thích, vùng ngưng tụ exciton giảm và thay bằng ngưng tụ polariton. Khi nồng độ kích thích đủ lớn, ta thấy hệ ở trạng thái ngưng tụ photon. Càng tăng  $d$ , vùng ngưng tụ exciton càng được mở rộng. Thực vậy, việc tăng  $d$  dẫn tới tăng sự xen phủ của các dải điện tử và lỗ trống làm tăng cường khả năng ghép cặp của điện tử-lỗ trống. Mật độ exciton vì vậy tăng cường làm hệ ưu tiên trong sự hình thành trạng thái ngưng tụ exciton.

Để mô tả sâu sắc hơn sự cạnh tranh các trạng thái ngưng tụ trong cấu trúc vi hốc, chúng tôi khảo sát sự phụ thuộc của các tham số trật tự vào thế tương tác  $U$ , ứng với 2 giá trị rất khác nhau của  $d$  ( $d=0$  và  $d=3$ ). Hình 2 mô tả sự phụ thuộc của các tham số vào  $U$  với  $g=0.2$ ,  $\omega_0=0.5$  cho hai giá trị khác nhau của  $d$  khi mật độ hạt là  $n_{exc}=0.2$  và  $n_{exc}=0.4$ .



Hình 2: Sự phụ thuộc của các tỉ số tham số trật tự  $\Delta_{ex} / \Delta$  (màu đen liền nét) và  $\Delta_{ph} / \Delta$  (màu đỏ đứt nét) vào thế tương tác Coulomb  $U$  ứng với mỗi cặp giá trị của  $d$  và  $n_{exc}$  được viết bên trong hình vẽ.

Từ hình vẽ ta nhận thấy khi  $d$  nhỏ,  $d=0$ , trong khoảng  $U=0.3$  ta luôn nhận thấy tham số trật tự trạng thái photon lớn hơn tham số trật tự trạng thái exciton. Sự chênh lệch càng nhiều khi tăng

mật độ hạt kích thích. Điều này cho thấy, trong trường hợp này, mặc dù tăng thế Coulomb để tăng khả năng ghép cặp điện tử lỗ trống, nhưng ta chủ yếu chỉ quan sát được trạng thái ngưng tụ photon. Trong trường hợp mật độ kích thích nhỏ, ta có thể quan sát được trạng thái ngưng tụ polariton, tuy nhiên nó chỉ xảy ra khi tương tác Coulomb đủ lớn.

Tuy nhiên, khi  $d$  lớn, chúng ta nhận thấy đóng góp của tham số trật tự trạng thái exciton càng quan trọng khi ta tăng thế tương tác Coulomb. Như đã giải thích ở phần trước, việc tăng  $d$  làm tăng xen phủ của dải điện tử và dải dẫn, kết quả exciton được tăng cường và tăng khả năng ngưng tụ của exciton. Càng tăng  $U$ , thế Coulomb càng giúp việc tăng cường sự ghép cặp điện tử và lỗ trống, hệ của ta vì thế có thể ở trạng thái ngưng tụ exciton khi  $U$  đủ lớn. Trong trường hợp này, hệ vẫn ở trạng thái ngưng tụ photon nếu  $U$  nhỏ, khi đó ghép cặp exciton có thể không xảy ra, hoặc không đóng vai trò quan trọng. Khi  $U$  lớn hơn, hệ ở trạng thái ngưng tụ của polariton. Càng tăng mật độ hạt kích thích, vùng ngưng tụ photon càng được mở rộng trong khi đó vùng ngưng tụ exciton được dịch chuyển sang phía ứng với thế Coulomb lớn.

#### 4. Kết luận

Bằng gần đúng trường trung bình, chúng tôi đã khảo sát sự cạnh tranh các trạng thái ngưng tụ exciton, polariton và photon trong cấu trúc vi hốc. Khi bỏ qua thăng giáng tương quan của các số hạng tương tác Coulomb giữa điện tử-lỗ trống và tương tác điện tử-photon, chúng tôi thu được phương trình xác định tham số trật tự trạng thái. Phân tích đóng góp của các tham số trật tự trạng thái ngưng tụ exciton và photon chúng tôi khẳng định sự tồn tại của các trạng thái ngưng tụ trong hệ ở nhiệt độ không. Thực vậy, khi thế mật độ kích thích nhỏ, hệ có thể tồn tại trạng thái ngưng tụ exciton khi tham số điều chỉnh đủ lớn. Khi tăng mật độ kích thích, hệ chuyển sang trạng thái ngưng tụ polariton và tiếp đó là trạng thái ngưng

tụ photon. Khi thay đổi thể tương tác Coulomb chúng ta cũng thu được bức tranh mô tả sự cạnh tranh các trạng thái trật tự. Ứng với một giá trị xác định của mật độ kích thích, khi tương tác  $U$  nhỏ không đủ để hình thành liên kết cặp điện tử lỗ trống và hệ ở trạng thái ngưng tụ photon. Khi tăng  $U$ , ghép cặp hình thành và hệ dần xuất hiện trạng thái ngưng tụ của polariton và sau đó là ngưng tụ exciton khi tương tác Coulomb đủ lớn. Kết quả của bài báo vì vậy đã miêu tả chi tiết sự chuyển pha các trạng thái ngưng tụ trong cấu trúc vi hốc, là cơ sở để chúng tôi phát triển nghiên cứu những ảnh hưởng khác như nhiệt độ hay điều kiện không cân bằng lên bức tranh ngưng tụ của hệ exciton-polariton-photon trong hệ.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] J. Kasprzak, M. Richard, S. Kundermann, A. Baas, P. Jeambrun, J. M. J. Keeling, F. M. Marchetti, M. H. Szymańska, R. André, J. L. Staehli, V. Savona, P. B. Littlewood, B. Deveaud, and Le Si Dang. Bose-Einstein condensation of exciton polaritons. *Nature*, 443:409, 2006.
- [2] A. Griffin, D. W. Snoke, and S. Stringari, editors, *Bose-Einstein Condensation*. Cambridge University Press, Cambridge, 1995.
- [3] S. A. Moskalenko and D. W. Snoke. *Bose-Einstein Condensation of Excitons and Biexcitons*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2000.
- [4] H. Deng, G. Weihs, C. Santori, J. Bloch, and Y. Yamamoto. Condensation of semiconductor microcavity exciton polaritons. *Science*, 298:199, 2002.
- [5] A. Kavokin, G. Malpuech, and F. P. Laussy. Polariton laser and polariton superfluidity in microcavities. *Phys. Lett. A*, 306:187, 2003.
- [6] N Lundt, A Marynski, E Cherotchenko, A Pant, X Fan, S Tongay, G Sek, A V Kavokin, S Hoefling, and C Schneider. Monolayered  $\text{MoSe}_2$ : a candidate for room temperature polaritonics. *2D Materials*, 4: 015006, 2016.
- [7] M. Saba, C. Ciuti, J. Bloch, V. Thierry-Mieg, R. André, Le Si Dang, S. Kundermann, A. Mura, G. Bongiovanni, J. L. Staehli, and B. Deveaud. High-temperature ultrafast polariton parametric amplification in semiconductor microcavities. *Nature*, 414:731, 2001.
- [8] Kenji Kamide and Tetsuo Ogawa. What Determines the Wave Function of Electron-Hole Pairs in Polariton Condensates? *Phys. Rev. Lett.*, 105:056401, 2010.
- [9] Tim Byrnes, Tomoyuki Horikiri, Natsuko Ishida, and Yoshihisa Yamamoto. A BCS wavefunction approach to the BEC-BCS crossover of exciton-polariton condensates. *Phys. Rev. Lett.*, 105:186402, 2010.
- [10] Van-Nham Phan, Klaus W. Becker, and Holger Fehske. Ground-state and spectral signatures of cavity exciton-polariton condensates. *Phys. Rev. B*, 93:075138, 2016.

## The effects of refractive index and defects in silicon oxide films on the passivation qualities in c-Si solar cells

Ảnh hưởng của chiết suất và sai hỏng mạng trong màng mỏng Silic oxide lên pin mặt trời dị thể Silic

Thanh Thuy Trinh<sup>a</sup>, Jaewoo Choi<sup>b</sup>, Jinjoo Park<sup>b</sup>, Cheolmin Park<sup>c</sup>, Minkyu Ju<sup>b</sup>, Seunghwan Lee<sup>b</sup>, Jungmo Kim<sup>b</sup>, Junsin Yi<sup>b</sup>, Vinh Ai Dao<sup>d,\*</sup>

Trịnh Thanh Thủy, Jaewoo Choi, Jinjoo Park, Cheolmin Park, Minkyu Ju, Seunghwan Lee, Jungmo Kim, Junsin Yi, Đào Vĩnh Ái

<sup>a</sup>Department of Physics, International University - Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam  
Bộ môn Vật lý, Đại học Quốc Tế - Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

<sup>b</sup>School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Gyeonggi-do, Korea  
Khoa Kỹ thuật Thông tin và Truyền thông, Đại học Sungkyunkwan, Kyunggy, Hàn Quốc

<sup>c</sup>Department of Energy Science, Sungkyunkwan University, Gyeonggi-do, Korea

Khoa Khoa học Năng lượng, Đại học Sungkyunkwan, Kyunggy, Hàn Quốc

<sup>d</sup>FM&D Laboratory, Institute of Fundamental and Applied Sciences, Duy Tan University, Ho Chi Minh City, Vietnam  
Phòng thí nghiệm FM&D, Viện Nghiên cứu Khoa học Cơ bản và Ứng Dụng, Đại học Duy Tân, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

(Ngày nhận bài: 02/06/2019, ngày phản biện xong: 03/08/2019, ngày chấp nhận đăng: 20/08/2019)

### Abstract

In this study, SiO<sub>2</sub> films with different refractive index were grown by dry thermal oxidation for passivation application and as the antireflection layer of high-efficiency crystalline silicon solar cells. As-oxidation, the SiO<sub>2</sub> films with a low refractive index of 1.463 shows a low density of interface trap states ( $D_{it}$ ) of  $1.74 \times 10^{11}$  (cm<sup>-2</sup>.eV<sup>-1</sup>), and in turn low surface recombination velocity ( $S_{eff}$ ) of 73 cm.s<sup>-1</sup>. The simultaneously lowest  $S_{eff}$  and  $D_{it}$  indicated that the formation of hydrogen bonds at the SiO<sub>2</sub>/Si interface played an important role in surface passivation of Si wafers. In addition, the films yield an excellent level of surface passivation for dry oxidation SiO<sub>2</sub> films with an effective  $S_{eff}$  of 22 cm.s<sup>-1</sup> CZ crystalline silicon substrates after a 30 min forming gas anneal (FGA) at 550°C. An enhancement of surface passivation quality with assistance of FGA could be attributed to the shift in the shape distribution of mid-gap interface state density from V-shape to U-shape. Finally, simplified passivated emitter solar cells were fabricated on CZ c-Si substrates showing the highest efficiency of 18.75% with SiO<sub>2</sub> films act as a passivation as well as antireflection layer.

**Keywords:** dry thermal silicon oxide, surface passivation, refractive index, interface trap density.

### Tóm tắt

Trong nghiên cứu này, màng mỏng SiO<sub>2</sub> được chế tạo bằng phương pháp ôxy hóa nhiệt khô, được dùng làm lớp thụ động hóa sai hỏng mạng, đồng thời đóng vai trò là lớp chống phản xạ cho pin năng lượng mặt trời Silic. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng, màng SiO<sub>2</sub> với chiết suất thấp (1.463) có khả năng thụ động sai hỏng bề mặt tốt: mật độ bẫy bề mặt ( $D_{it}$ ) và vận tốc tái hợp bề mặt ( $S_{eff}$ ) lần lượt là  $1.74 \times 10^{11}$  (cm<sup>-2</sup>.eV<sup>-1</sup>) và 73 cm.s<sup>-1</sup>. Cả hai giá trị  $D_{it}$  và  $S_{eff}$  đều nhỏ chứng tỏ rằng sự hình thành các liên kết hydro tại mặt phân giới SiO<sub>2</sub>/Si đóng vai trò rất quan trọng trong việc thụ động hóa các sai hỏng

trên bề mặt Silic. Nhằm mục đích tăng cường hơn nữa đặc tính thụ động hóa sai hỏng bề mặt, mẫu Silic sau đó được nung 30 phút trong khí Ar/H<sub>2</sub> (90/10) ở 550°C. Sau khi nung, tốc độ tái hợp bề mặt đã giảm đáng kể xuống còn 22 cm.s<sup>-1</sup>. Tốc độ tái hợp giảm một cách đáng kể được giải thích bởi sự phân bố của mật độ bẫy của tiếp giáp tại giữa độ rộng vùng cấm dịch chuyển từ V-shape sang U-shape. Màng SiO<sub>2</sub> được sử dụng như lớp thụ động hóa sai hỏng và chống phản xạ cho pin mặt trời; hiệu suất chuyển đổi của pin mặt trời thu được là 18.75%.

*Từ khóa:* oxy hóa nhiệt, thụ động hóa bề mặt, chiết xuất, mật độ bẫy tiếp giáp.

## 1. Introduction

Silicon oxides (SiO<sub>2</sub>) are essential materials for many industrial applications [1]. They are widely used in solar cells [2-3], metal-oxide-semiconductor field transistor [4-5], and advanced bipolar devices to reduce surface recombination or to provide high-quality insulating layers [6-8]. SiO<sub>2</sub> has several features which make it an attractive photovoltaic material. Front and rear surfaces passivation with SiO<sub>2</sub> is a key characteristic in achieving desirable solar cell efficiency. During thermal growing of the SiO<sub>2</sub> on Si surface, there is evidence that a thin SiO<sub>x</sub> layer is formed at the Si/SiO<sub>2</sub> interface. The thickness and stoichiometry of this SiO<sub>x</sub> interface may influence to the performance of the semiconductor devices [9].

During the last few decades, there are a large number of experimental and theoretical research works dealing with the composition, electronic structure, distribution of Si<sup>n+</sup> species [10-11], and effect of ion or laser irradiation etc., of SiO<sub>x</sub> system [12-19]. And although SiO<sub>2</sub> films used for photovoltaic applications have been executed by many research groups [20-25], the relationship between the refractive index and the passivation from the defect states and the film composition have not been clearly demonstrated until now. In this paper, we describe the results of the research performed concerning the correlation between the refractive index and film composition to the antireflection and defect of SiO<sub>2</sub> films and the passivation at the interface between the SiO<sub>2</sub> and silicon substrate. Finally, in order to demonstrate the potential of the surface passivation of the SiO<sub>2</sub> with different selective refractive for high-efficiency silicon solar cells, the simplified passivated emitter cells were fabricated.

## 2. Experimental methods

For oxidation characterization Czochralski-growth (CZ) Si wafers with resistivity of 1-2 Ωcm were first cleaned with acetone/deionized (DI) water and then the native oxide was removed by etching using buffered hydrofluoric acid (BHF) for 1 min; the wafers were then rinsed in DI water and immediately loaded into the quartz chamber [24]. After purging the quartz chamber with N<sub>2</sub> at room temperature in order to clean the chamber, and fill the chamber as oxygen gas, a thermal oxide was grown in nominally dry oxidation ambient at temperature in range of 800 - 1050°C in order to alter the refractive index of the films. The thickness of SiO<sub>2</sub> and the N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> gas ratios was fixed at ~ 10 nm and 1/4, respectively, for all samples. The thicknesses and refractive index of the SiO<sub>2</sub> films were estimated by using spectroscopy ellipsometry (HR-190TM). The minority carrier lifetime ( $\tau_{\text{eff}}$ ) of the passivated wafers were measured by the quasi-steady-state photoconductance (QSSPC) method, using a commercial WCT-120 photoconductance set-up from Sinton Consulting. To estimate the shift in flat-band voltage and the interface trap states ( $D_{\text{it}}$ ), high-frequency capacitance-voltage (C-V) of the Metal-Oxide-Semiconductor (MOS) structure was characterized using an MDC meter (model 825). The molecular vibration mode and functional groups in the SiO<sub>2</sub> films were characterized by Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy. The solar cell performances were characterized by current-voltage measurements under illuminated AM1.5G, 100 mWcm<sup>-2</sup> conditions.

## 3. Results and discussions

Figure 1 shows the peak wave number of the optical absorption band caused by the Si-O-Si anti-symmetric stretching vibration mode and the full-

width at half maximum (FWHM) of the absorption band as a function of the refractive index of SiO<sub>2</sub> films. From Fig. 1 we can learn that the wave number decreased to 1074cm<sup>-1</sup>, whereas FWHM increased to 65.5 cm<sup>-1</sup> with increasing refractive index of SiO<sub>2</sub>. As well known that the shift of the Si-O-Si absorption peak towards a lower wave-number as well as a wider of FWHM results in larger silicon content inside the films, hence the films composition of SiO<sub>2</sub> was shifted from oxygen-rich phase to silicon-rich phase [2]. The refractive index of the amorphous silicon (silicon-rich phase) film and silicon oxide (oxygen-rich phase) film are about 3.6 and 1.46, respectively. Thus, it is clear that the excess oxygen content in the films induces a lower refractive index.

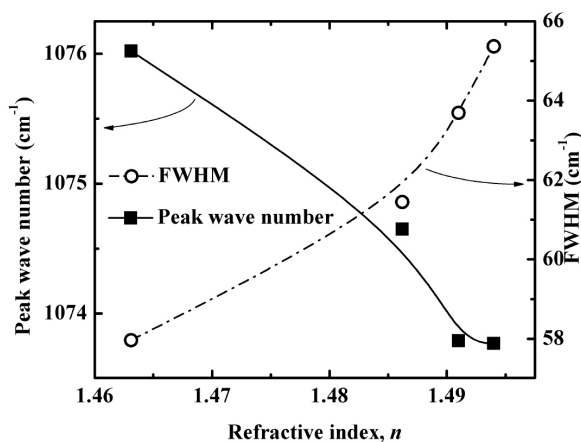
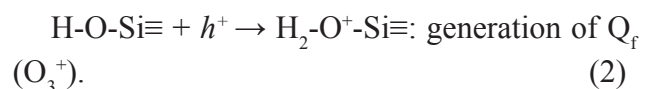
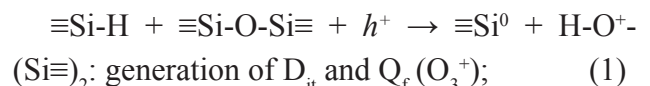


Figure 1. The peak wave number of the optical absorption band caused by the Si-O-Si antisymmetric stretching vibration mode and its full-width at half maximum (FWHM) of the absorption band as functions of the refractive index.

The others noticeable features of the SiO<sub>2</sub> films contributing to effective passivation are the interface trap states ( $D_{it}$ ) and flat-band shift ( $V_f$ ). The  $D_{it}$  and  $V_f$  of the SiO<sub>2</sub> films with different refractive index are shown in Fig. 2, in which the  $D_{it}$  of the interface between the SiO<sub>2</sub> and the Si surface was determined by high frequency capacitance method developed by Terman at room temperature [25]. The interface trap states are related to the structure defects at the insulator/semiconductor surface. The  $D_{it}$  increased, while the random shift of flat band voltage was observed

as the refractive index increases. It is commonly accepted that the amount of fixed charge and the interface trap states depend on the bond densities within the films. Lucovsky et al. developed model for the positive fixed charge  $Q_f$ , and  $D_{it}$  generation at SiO<sub>2</sub>/Si interface. The amount of positive fixed charge and interface trap states is directly proportion to  $\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$ ,  $\text{H-O-Si}\equiv$ , and  $\equiv\text{Si-H}$  bonds [26]:



Therefore, to elucidate the reason for altering of  $D_{it}$  and  $V_f$  with variation of refractive index, the bond densities of Si-O-Si, Si-O-H, and Si-H within the films as a function of refractive index were calculated and presented in Fig. 3. From Fig. 3 and equation (1) and (2), the lowest Si-H, Si-O-Si and S-O-H bond densities results in the larger flat voltage shift (larger positive fixed charge), whereas lowest interface trap states, as shown in Fig. 2

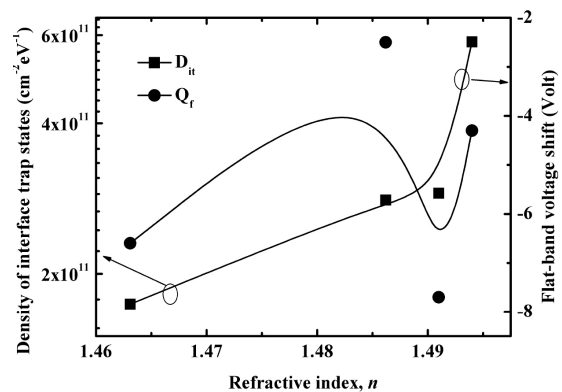


Figure 2. The variation of the interface trap states, and flat band shift for MOS structures as a function of refractive index of SiO<sub>2</sub> films.

Figure 4(a) shows the change of surface recombination velocity ( $S_{eff}$ ) in CZ silicon wafers as a function of refractive index of the silicon oxide. The wafer coated with high refractive index SiO<sub>2</sub> films of 1.494 had a high  $S_{eff}$ . The surface recombination velocity of CZ silicon wafers coated SiO<sub>2</sub> films decrease with decreasing refractive index. This means that there was a high



density of trap states for the effective minority carrier lifetime at the interface of high refractive index. The maximum effective lifetime gave the minimum  $S_{eff}$  of  $\sim 73$  cm/s. The passivation of a silicon surface can be achieved in two ways: by field-effect passivation or by neutralization of defect of interface states [27]. The highest positive fixed charges in deposited  $SiO_x$  film with refractive index of 1.491 (in Fig. 2) should have a positive effect on the surface passivation. However, we could not find suitable relation between  $S_{eff}$  and fixed positive chargers. Actually, an investigation of  $SiO_x$  films shows that there is no relation between lifetime and positive fixed charges. This implies that the fixed positive charges may have less or no contribution to the field-effect passivation in our case. The simultaneously highest  $\tau_{eff}$  and lowest interface trap states with refractive index of 1.463 indicates that the formation of neutralization of defect of interface states at the  $SiO_x/Si$  interface plays an important role in surface passivation.

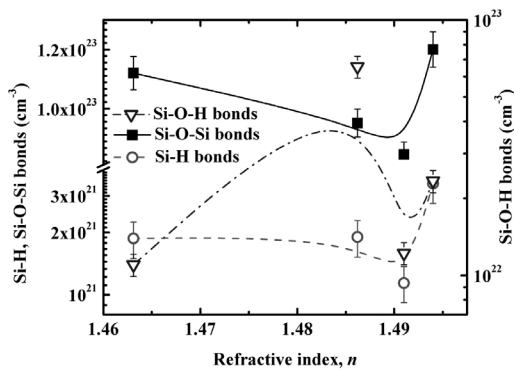


Figure 3. The variation in the concentration of Si-H, Si-O-Si, and Si-O-H bonds with different refractive index of  $SiO_2$  films.

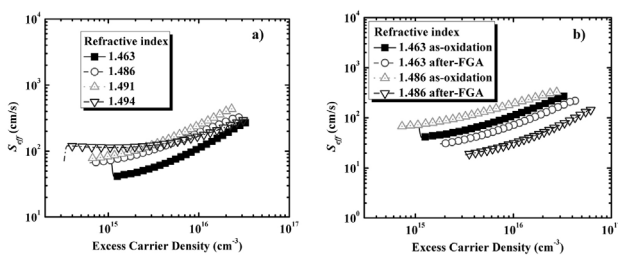


Figure 4. Surface recombination velocity as a function of the injection level for oxidation  $SiO_2$  films with different refractive index a) as-oxidation, and b) after the forming gas anneals at the temperature of  $550^\circ C$ .

For  $SiO_x$  grown by thermal oxidation, an annealing in forming gas is crucial to minimize the level of interface trap states [28]. In this investigation, the effect of forming gas annealing on surface passivation was also confirmed and the results are shown in Fig. 4(b). Under forming gas annealing (15%  $H_2$  in  $N_2$ ) at  $550^\circ C$  already improved the surface passivation to effective surface recombination velocities of 22 cm/s for  $SiO_2$  films with refractive index of 1.486. As shown in Fig. 5, the as-oxidized state for all kinds of high temperature oxidation is characterized by V-shaped distribution, which is dominated in the middle part of the gap by  $U_M$  and  $P_L$  states [29]. With FGA treatment, not only lower the interface state density but also shifting minimum  $D_{it}$  as well as shaped-distribution from V-shaped to U-shaped was achieved. The lower  $D_{it}$  as well as the shifting in shape-distribution can be attributed to the saturation of dangling bonds of the  $U_M$ ,  $P_L$  and  $P_H$  group by hydrogen [29].

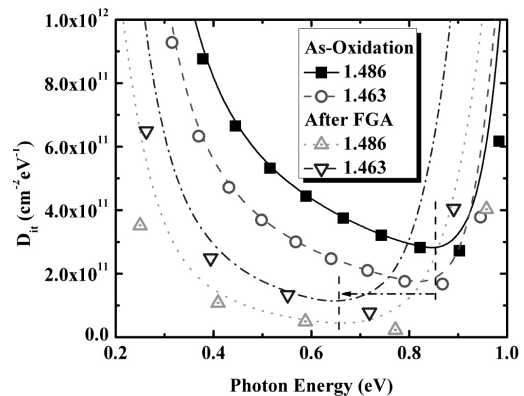


Figure 5. Influence of annealing temperature on density of states distribution at a  $SiO_2/Si$  interface.

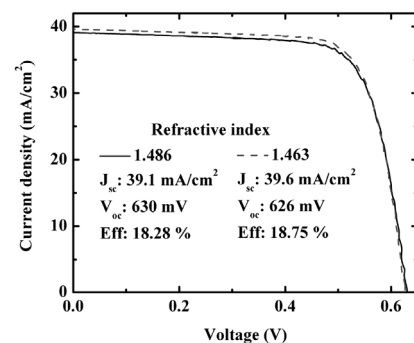


Figure 6. Illuminated voltage current characteristics of CZ Si solar cells using  $SiO_2$  with refractive index of 1.463 and 1.486 as a passivation as well as antireflection layer.

In order to demonstrate the potential of the surface passivation of the SiO<sub>2</sub> with different selective refractive index for high-efficiency silicon solar cells, simplified passivated emitter cells were fabricated on CZ c-Si substrates. The illuminated current-voltage characteristics of the c-Si solar cells fabricated for SiO<sub>2</sub> with refractive index of 1.463 and 1.486 were observed by the AM 1.5 global spectrums, as shown in Fig. 6. The short circuit current density ( $J_{sc}$ ), the open circuit voltage ( $V_{oc}$ ), and the conversion efficiency of the c-Si solar cell fabricated with refractive index of 1.463 were 39.6 mA/cm<sup>2</sup>, 626 mV, and 18.75%, respectively. The  $V_{oc}$  of the c-Si solar cells were biggest in achieving highest passivation ability of refractive index of 1.486, whereas, the  $J_{sc}$  were biggest in achieving low surface reflectance of refractive index of 1.463. The higher  $J_{sc}$  along with lower refractive index can be attributed to the lower surface average reflectance, as shown in Fig. 7.

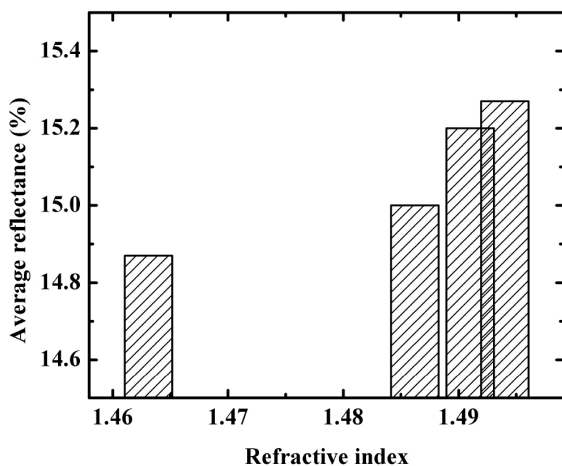


Figure 7. Variation of average reflectance of the of CZ Si solar cells using SiO<sub>2</sub> with refractive index.

#### 4. Conclusions

In summary, the correlation between the refractive index and film composition to the defect of SiO<sub>2</sub> films and the passivation of the interface between the SiO<sub>2</sub> and Si substrate was described. As-oxidation, the higher refractive index resulted in lower surface passivation quality of SiO<sub>2</sub> coated Si wafers. In this case, the lowest surface recombination velocity of 73 cm.s<sup>-1</sup> was obtained for CZ Si wafer

coated by SiO<sub>2</sub> film with refractive index of 1.463, it seemed to be due to a stoichiometric SiO<sub>2</sub> film. Furthermore, the films yielded an excellent level of surface passivation by dry oxidation SiO<sub>2</sub> films with an effective  $S_{eff}$  of 22 cm<sup>s</sup><sup>-1</sup> CZ crystalline silicon substrates after a 30 min forming gas anneal at 550°C. This enhancement of surface passivation quality could be attributed to the shift in the shape distribution of mid-gap interface state density from V-shape to U-shape. Finally, simplified passivated emitter solar cells were fabricated on CZ c-Si substrates showing highest efficiency of 18.75% with SiO<sub>2</sub> films acting as a passivated as well as antireflection layer. In this investigation, the  $V_{oc}$  of the device was dependent on the passivation quality of c-Si wafers, whereas the  $J_{sc}$  of the device was determined by refractive index of the antireflection layer. These results indicated that the passivated quality and refractive index of the SiO<sub>2</sub> films should be carefully turned in order to obtain the maximum efficiency for c-Si solar cells.

#### Acknowledgment

This research is funded by Vietnam National Foundation for Science and Technology Development (NAFOSTED) under grant number 103.02-2017.43.

#### References

- [1] T. Hiramatsu, T. Matsuda, H. Furuta, H. Nitta, T. Kawaharamura, C. Li, M. Furuta, and T. Hirao: Jpn. J. Appl. Phys. 49 (2010) 03CA03.
- [2] T. Sameshima, K. Sakamoto, Y. Tsunoda, and T. Saitoh: Jpn. J. Appl. Phys. 37 (1998) L1452.
- [3] Y. Ahn, S. H. Choudhury, D. Lee, S. Sada, M. Siddk, M. Jo, S. Park, Y. D. Kim, D. H. Kim, and H. Hwang: Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011) 071503.
- [4] H. Ueda, Y. Ohsawa, Y. Tanaka, and T. Nozawa: Jpn. J. Appl. Phys. 48 (2009) 126001.
- [5] T. Nishiguchi, S. Saito, N. Kameda, M. Kekura, H. Nonaka, and S. Ichimura: Jpn. J. Appl. Phys. 48 (2009) 116509.
- [6] C. Lim and J. Hanna: Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) L1270.
- [7] K. Murakami, N. Fukata, K. Ishioka, M. Kitajima, N. Uchida, K. Morisawa, H. Morihoro, R. Shirakawa, and M. Tsujimura: Jpn. J. Appl. Phys. 48 (2009) 091204.

- [8] Y. Mitani and H. Satake: *Jpn. J. Appl. Phys.* 42 (2003) 5426.
- [9] Y. N. Sun, A. Feldman, and E. N. Farabaugh: *Thin Solid Films* 157 (1998) 351.
- [10] Y. Abe, N. Miyata, E. Ikenaga, H. Suzuki, K. Kitamura, S. Igarashi, and H. Nohira: *Jpn. J. Appl. Phys.* 48 (2009) 041201.
- [11] F. Giustino, A. Bongiorno and A. Pasquarello: *J. Appl. Phys.* 43 (2004) 7895.
- [12] J. Sritharathikhun, C. Banerjee, M. Otsubo, T. Sugiura, H. Yamamoto, T. Sato, A. Limmanee, A. Yamada, and M. Konagai: *Jpn. J. Appl. Phys.* 46 (2007) 3296.
- [13] S. Ogata, S. Ohno, M. Tanaka, T. Horikawa, and T. Yasuda: *Jpn. J. Appl. Phys.* 49 (2010) 022403.
- [14] M. Sometani, R. Hasunuma, M. Ogino, H. Kuribayashi, Y. Sugahara, and K. Yamabe: *Jpn. J. Appl. Phys.* 48 (2010) 05DB03.
- [15] T. Yanagishita, T. Endo, K. Nishio, and H. Masuda: *Jpn. J. Appl. Phys.* 49 (2010) 065202.
- [16] J. Kim, Y. Kim, S. Hong, T. Hong, and J. Han: *Jpn. J. Appl. Phys.* 49 (2010) 05EA02.
- [17] K. Ohsawa, Y. Hayashi, R. Hasunuma, and K. Yamabe: *Jpn. J. Appl. Phys.* 48 (2009) 05DB02.
- [18] N. Hirashita, S. Tokitoh, and H. Uchida: *Jpn. J. Appl. Phys.* 32 (1993) 1787.
- [19] T. Futatsuki, T. Oe, H. Aoki, N. Komatsu, C. Kimura, and T. Sugino: *Jpn. J. Appl. Phys.* 49 (2010) 04DF18.
- [20] S. Rattanapan, T. Watahiki, S. Miyajima, and M. Konagai: *Jpn. J. Appl. Phys.* 50 (2011) 082301.
- [21] K. Kim, H. Kim, P. Jang, C. Jung, and K. Seomoon: *Electronic Materials Letter* 7 (2011) 171.
- [22] D. Jung, J. Kim, C. Nahm, H. Choi, S. Nam, and B. Park: *Electronic Materials Letter* 7 (2011) 185.
- [23] S. W. Glunz and F. Feldmann: *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 185 (2018) 260.
- [24] Y. F. Zhuang, S. H. Zhong, X. J. Liang, H. J. Kang, Z. P. Li and W. Z. Shen: *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 193 (2019) 379.
- [25] T. C. Kho, K. Fong, K. McIntosh, E. Franklin, N. Grant, M. Stocks, S. P. Phang, Y. Wan, Er-C. Wang, K. Vora, Z. Ngwe, A. Blakers: *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 189 (2019) 245.
- [24] V. A. Dao, N. V. Duy, J. Heo, W. Choi, Y. Kim, N. Lakshminarayan, and J. Yi: *Jpn. J. Appl. Phys.* 48 (2009) 066509.
- [25] S. Jung, D. Gong, and J. Yi: *Solar Energy Materials & Solar Cells* 95 (2011) 546.
- [26] G. Lucovsky, Z. Jing, and D. Lee: *J. Vac. Sci. Technol. B* 14 (1996) 2832.
- [27] V. A. Dao, V. D. Nguyen, J. Heo, H. Choi, Y. Kim, N. Lakshminarayan, and J. Yi: *Vacuum* 84 (2009) 410.
- [28] H. Nagayoshi, Y. Onozawa, M. Ikeda, M. Yamaguchi, Y. Yamamoto, T. Uematsu, T. Saito, and K. Kamisako: *Jpn. J. Appl. Phys.* 35 (1996) L1047.
- [29] W. Füssel, M. Schmidt, H. Angermann, G. Mende, and H. Flietner: *Nucl. Instr. And Meth. In Phys. Res. A* 377 (1996) 177.

## Đóng góp của Phan Khôi đối với sự phát triển tiếng Việt và Văn học đầu thế kỷ XX

Phan Khoi's contributions to the development of Vietnamese language  
and Literature in the early 20<sup>th</sup> century

Hoàng Thị Hường  
Hoang Thi Huong

*Khoa Khoa học Xã hội và Nhân văn, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam  
Department of Social Sciences and Humanities, Duy Tan University, Danang, Vietnam*

*(Ngày nhận bài: 30/07/2019, ngày phản biện xong: 19/08/2019, ngày chấp nhận đăng: 22/08/2019)*

### Tóm tắt

Từ khi cầm bút Phan Khôi đã có ý thức viết về những vấn đề có tác động đến xã hội, trong đó có sinh hoạt văn chương. Ảnh hưởng từ hoạt động báo chí của Phan Khôi đến văn hóa, văn chương Việt Nam có thể được nhìn nhận qua những vấn đề: Thúc đẩy sự phát triển của ngôn ngữ Việt; giới thiệu văn học nước ngoài qua dịch thuật; tạo ra các tranh luận về văn chương và bằng văn chương.

*Từ khóa:* Phan Khôi, phát triển, ngôn ngữ, dịch thuật, tranh luận văn chương

### Abstract

Since the beginning of his writing career, Phan Khoi tended to write about issues that had impacts on society, including literary activities. Influences from Phan Khoi's journalistic activities can be acknowledged through the following matters: Encouraging the development of Vietnamese language, introducing foreign literatures through translation, promoting debates on literature and by literature.

*Keywords:* Phan Khoi, development, language, translation, debates on literature

### Đặt vấn đề

Tuy xuất thân là một trí thức cựu học nhưng Phan Khôi (1887 - 1959) rất nhạy bén để nhận ra giá trị của những cái mới. Từ việc chú trọng đến vấn đề chuẩn hóa ngôn ngữ, ưu tiên tuyển chọn dịch thuật những tác phẩm có tầm vóc tư tưởng và tìm hướng đi mới cho văn học cho thấy ông đã ý thức rất rõ việc dọn đường để hướng đến xây dựng một nền quốc văn hiện đại. Được biết đến với vai trò là một nhà văn hóa, đặc biệt rất thành công trên lĩnh

vực báo chí và không chuyên tâm cho hoạt động văn chương nhưng nội dung các bài báo đề cập đến những vấn đề liên quan đến văn chương của Phan Khôi lại có sức ảnh hưởng rất lớn. Đặt trong bối cảnh xã hội giai đoạn những năm đầu thế kỷ XX, khi văn học quốc ngữ chưa thật sự trưởng thành mới thấy hết được những nỗ lực đóng góp của ông. Ảnh hưởng từ hoạt động báo chí của Phan Khôi đến ngôn ngữ, văn hóa, văn chương Việt Nam có thể được nhìn nhận qua những vấn đề sau.

## 1. Thúc đẩy sự phát triển của ngôn ngữ Việt

Từ khi tiếp xúc với văn minh phương Tây, xã hội Việt Nam đã diễn ra những biến động, thay đổi mạnh mẽ ở nhiều phạm vi và chạm đến chiều sâu nhất của đời sống tinh thần. Quá trình biến đổi này đã được thể hiện và phổ cập bởi báo chí.

Trước hết Phan Khôi, qua hoạt động báo chí đã cổ động mạnh mẽ cho việc *dùng chữ quốc ngữ*. Sự xuất hiện của chữ quốc ngữ được xem là dấu hiệu quan trọng của quá trình hiện đại hóa về văn hóa, văn học trong xã hội Việt Nam. Trạng thái đồng hiện của các văn tự: Hán, Nôm, Quốc ngữ, Pháp ngữ là đặc điểm nổi bật của văn tự Việt Nam cuối thế kỷ XIX. Thậm chí mãi đến những năm đầu thế kỷ XX, một số tờ báo như *Đảng cổ tụng báo* và *Nam Phong tạp chí* vẫn còn sử dụng chữ Hán ở một số chuyên mục riêng. Điều đó chứng tỏ bước đầu chữ quốc ngữ không hề dễ dàng chen chân vào đời sống văn hóa, văn học Việt Nam mặc dù trong chính sách đồng hóa của thực dân Pháp (đặc biệt là ở Nam Kỳ) có chủ trương khuyến khích dùng chữ quốc ngữ theo mẫu La tinh. Với tâm thế của kẻ đi khai hóa và mong muốn chinh phục nhanh chóng người Việt, chính quyền thực dân đã dùng nhiều biện pháp khác nhau vừa khuyến khích, vừa cưỡng bức dùng chữ quốc ngữ như là một công cụ chuyển tiếp trong “thời kỳ quá độ tiến lên chữ Pháp”. Pháp mong muốn thay thế chữ Nôm và chữ Hán bằng chữ quốc ngữ với mục đích tách người dân An Nam hoàn toàn, vĩnh viễn ra khỏi những ảnh hưởng của văn hóa Trung Hoa; đồng thời với ưu thế ghi âm giản tiện, dễ đọc, dễ nhớ chữ quốc ngữ cũng sẽ là công cụ thuận lợi để Pháp truyền bá văn hóa, dễ dàng hơn trong chính sách đồng hóa của mình. Đồng thời ngay tại thời điểm này, một số trí thức thời kỳ đầu như Trương Vĩnh Ký, Huỳnh Tịnh Của, Nguyễn Trọng Quản,... sau đó là các nhà nho duy tân như Phan Châu Trinh, Trần Quý Cáp,... Phan Khôi cũng đã sớm nhận ra ưu thế của loại chữ dễ đọc, dễ viết này và đã tìm cách phổ biến chữ quốc ngữ như một công cụ

kiến thiết xã hội, đưa xã hội hướng đến văn minh. Phan Khôi kiên quyết không tán đồng với quan điểm bảo thủ của một số nhà cựu học khi cho rằng dùng chữ quốc ngữ là đồng nghĩa với việc thỏa hiệp với giặc ngoại xâm, đồng thời cũng không ủng hộ phương án dùng chữ Pháp làm quốc văn của các trí thức Tây học như Hồ Quý Kiên. Trong bối cảnh văn hóa khá phức tạp lúc bấy giờ cùng những thiên kiến chính trị khác biệt nhau, việc quyết tâm sử dụng và phổ biến chữ quốc ngữ để trở thành chữ viết của dân tộc là một thức nhận sáng suốt, đầy bản lĩnh của Phan Khôi cũng như các nhà nho duy tân và trí thức Âu học mang tinh thần dân tộc.

Bên cạnh việc cổ súy, vận động toàn dân học chữ quốc ngữ, Phan Khôi cũng đặc biệt quan tâm đến việc *chỉnh đốn chính tả*. Là một văn tự mới nên trong quá trình sử dụng, chữ quốc ngữ lúc bấy giờ đã bộc lộ không ít những hạn chế và đôi chỗ vẫn còn lạ lẫm với người dùng. Khi bàn về quá trình phát triển “đi về phương Nam” của văn nghệ dân tộc, nhà nghiên cứu Nguyễn Văn Xuân đã chỉ ra một hạn chế của tình trạng đa phương ngữ vào những năm đầu thế kỷ XX – thời điểm chữ quốc ngữ được khuyến khích sử dụng, và in ấn xuất hiện: “Tiếng Việt phổ biến trong toàn dân tộc Việt, nhưng thổ âm thì lại quá nhiều. Những thổ âm còn tệ hơn điển tích...” [9; 592]. Có lẽ ý thức rất rõ về điều này nên trong quá trình hoạt động nghề nghiệp của mình, đặc biệt là trong khoảng thời gian làm việc cho báo chí Sài Gòn từ năm 1928-1933, Phan Khôi đã thường xuyên đề cập đến vấn đề chỉnh huấn chữ quốc ngữ, nghiên cứu so sánh với tiếng Pháp, chữ Nôm, chữ Hán, chỉ ra những chỗ khả thủ, khắc phục những vấn đề còn tồn tại với ý thức trách nhiệm “làm cho tiếng ta tiến đến bậc hoàn mỹ”, dành một phần quan trọng trong việc nâng cao nhận thức của công chúng đối với việc sử dụng đúng chữ quốc ngữ - ngôn ngữ dân tộc. Những bài viết mang tinh thần phản biện sâu sắc của Phan Khôi về vấn đề chữ quốc ngữ (sử dụng như thế nào là đúng



sai, cách dùng quán từ, danh từ, động từ ra sao...) trong thời kỳ Phan Khôi góp mặt với báo chí Sài Gòn (từ 1928 đến 1933) gắn với *Đông Pháp thời báo* (1928), *Thần chung* (1929-1930), *Phụ nữ Tân văn* (1929-1933), *Trung lập* (1930-1933) rất có ý nghĩa, bởi khi ấy nước ta đang trong quá trình hoàn thiện chữ quốc ngữ, và dùng nó làm phương tiện cho cuộc vận động canh tân văn hoá xã hội.

Mặc dù lý luận về ngôn ngữ tại thời điểm này còn rất sơ khai nhưng Phan Khôi đã sớm nhận ra được những vấn đề mang tính nguyên tắc của ngôn ngữ và chỉ rõ đặc điểm của ngôn ngữ tiếng Việt. Một loạt các bài báo đề cập đến chữ quốc ngữ được đăng trên báo chí Sài Gòn những năm từ 1928 đến 1933 cho thấy sự đóng góp của Phan Khôi đối với Việt ngữ học trên phương diện nghiên cứu về ngữ pháp, từ vựng, ngữ âm của tiếng Việt; đồng thời thể hiện ý thức mong muốn phổ biến ngôn ngữ dân tộc như: “Cách xưng hô của người mình” (*Thần chung*, số 208, 17-1-1929), “Trả lời cho một độc giả hỏi về chữ quốc ngữ” (*Thần chung*, số 115, 7-6-1929), “Lại trả lời cho một độc giả hỏi về chữ quốc ngữ” (*Thần chung*, số 115, 7-6-1929), “Mẹo tiếng An Nam mới” (*Thần chung*, số 185, ngày 31-8-1929, “Chữ Quốc ngữ ở Nam Kỳ với thể lực phụ nữ” (*Phụ nữ tân văn*, số 28, ngày 7-11-1929), “Viết chữ quốc ngữ phải viết đúng” (*Phụ nữ tân văn*, số 31, ngày 5-12-1929), “Dấu hỏi ngã cũng cần phải phân biệt” (mục Nói chuyện viết quốc ngữ) (*Thần chung*, số 273, ngày 17-12-1929 và *Trung lập*, số 6038, ngày 27-12-1929), “Đính chánh lại những chữ mà người ta hay dùng sai nghĩa” (*Phụ nữ tân văn*, số 43, ngày 13-3-1930)... Quan điểm đầu tiên, rất quan trọng và khá nhất quán mà Phan Khôi đề cập trong các bài viết trên là *dùng chữ quốc ngữ trước hết phải đúng*, vì theo ông bản thân chữ quốc ngữ nước ta thời điểm đó chưa gọi là một thứ chữ thành văn, nên cần hoàn thiện để hướng đến tính khoa học, chuẩn xác. Phan Khôi nhận ra rằng, người mình (dân Việt nói chung)

viết quốc ngữ sai, tùy tiện... Một thứ chữ lộn xộn, mà còn viết sai thì làm sao có thể đem ra học được? Cho nên, cần phải sửa sang, bồi bổ nó cho một ngày kia nó thành văn, hầu làm cái lợi khí tốt cho chúng ta. Với mục đích rất rõ ràng như vậy nên Phan Khôi là người khởi xướng cho cuộc thảo luận về “vấn đề viết đúng chữ quốc ngữ”, cùng vấn đề sách giáo khoa tiếng Việt kéo dài gần ba năm trên báo chí Sài Gòn.

Trong “Cảm tưởng khi chấm bài luận quốc ngữ” in trong *Phụ nữ tân văn* (số 54, 29-5-1930), Phan Khôi đã nhận thấy: “...người An Nam ta viết chữ quốc ngữ còn sai lầm lắm. Hết thấy 16 quyển mà chỉ được một vài quyển viết ít lỗi mà thôi còn bao nhiêu thì nhiều lỗi quá, giá bắt lỗi về nét chữ thì không hơi nào mà bắt”. Và ông đã chỉ ra những lỗi sai cơ bản trong chính tả là sự nhầm lẫn khi sử dụng các chữ c và t, x và s, ch và tr, có g hay không giữa các vùng miền Trung, Nam, Bắc. Bên cạnh đó ông cũng thống kê những lỗi sai khi dùng dấu chấm câu. Ví dụ dùng dấu chấm hỏi tùy tiện. Những phân tích cụ thể như vậy cho thấy Phan Khôi rất coi trọng việc viết đúng tiếng Việt. Ông thậm chí cho rằng bài văn được xem là trôi chảy, “hay” đến mức như thế nào mà viết không đúng từ, sử dụng sai dấu chấm câu thì cũng gần như bỏ đi.

Trong một bài báo khác “Hai dấu hỏi ngã cũng cần phải phân biệt” (mục Nói chuyện viết quốc ngữ, *Thần chung*, số 273, 17-12-1929 và *Trung lập* số 6038, 27-12-1929), Phan Khôi lại tiếp tục đề cập đến vấn đề lỗi chính tả một cách cụ thể hơn, như là *dị âm* hay *đồng âm* trong bữa (bữa ăn), bửa (bửa củi) rồi kết luận rằng không thể xô bồ hỏi, ngã vì cho là nó đồng âm.... Có thể chứng minh qua những gì Phan Khôi viết ở bài báo khi tranh luận với quan điểm của ông Lê Quang Vân (nêu trong báo *Lục tỉnh tân văn*) như sau:

“Coi cái ví dụ ấy thì thấy ông vẫn biết phân biệt hai dấu ấy rồi: *bửa củi* thì chữ *bửa* theo dấu hỏi; còn *bữa ăn* thì chữ *bữa* theo dấu ngã. (...) Chữ “bửa” dấu hỏi với chữ “bữa” dấu ngã đã là

khác đầu thì nó là *dị âm*, chứ sao ông lại gọi là *đồng âm*? Bởi ông cho là đồng âm nên ông nói lẫn nhau vô hại, như vậy là ông cũng còn sai đó. Thiệt ra thì, theo cho đúng tiếng An Nam, chữ *bữa củi* với chữ *bữa ăn* phát âm khác nhau, nó cũng như cái ví dụ ông đã lấy, chữ “*ích lợi*” và chữ “*ít lợi*” là khác nhau vậy. Nếu bên chữ “*ích lợi*” và chữ “*ít lợi*” mà ông muốn phân biệt, thì bên kia chữ “*bữa ăn*” và chữ “*bữa củi*” ông cũng phải phân biệt mới được” [2 ;267].

Liên quan đến vấn đề ngữ pháp tiếng Việt, trong bài “Theo thuyết chính danh đính chánh lại cách xưng hô tên người Việt Nam” (*Phụ nữ tân văn*, số 58, ngày 26-6-1930 và số 59, ngày 03-7-1930), Phan Khôi đã một mặt cắt nghĩa về nguyên tắc đặt danh từ như thế nào và chỉ ra cái hại của việc không sử dụng danh từ cho chính đáng. Đề dùng đúng danh từ, về mặt lý thuyết ngữ dụng học, khi gọi tên một sự vật tất yếu phải hiểu đặc tính của nó nhằm phân biệt với sự vật khác. Trên cơ sở này có thể phân chia danh từ thường dùng thành hai loại: *danh từ hữu nguyên* và *danh từ duyên khởi*. Như vậy với Phan Khôi có bốn lưu ý trong nghĩa chính danh: (1) Một người chỉ nên có một tên, tránh trường hợp nhầm lẫn, lộn xộn, (2) Tên phải kêu theo chủ nó, (3) Tên xưng trên báo và tạp chí chỉ có hai cách mà thôi, là xưng tên thiệt của người viết bài cùng là xưng biệt hiệu (hoặc kêu là bút tự) của người ấy; (4) Tên kêu giữa xã hội và trên lịch sử khác nhau. Giữa xã hội, là những người ở đồng thời với nhau, theo phép lịch sự, khi kêu tên một người nào, phải để chữ ông hay là chữ tiên sanh lên trước cái tên. Song, trên lịch sử thì trái lại, chỉ kêu một cái tên trống mà thôi, không có ông hay tiên sanh nữa, nếu nhà làm sử nào mà không tuân cái luật ấy, thì lại thành ra tay sử gia nhà quê vậy. Ngoài ra ông còn phân tích nhiều dẫn chứng để chỉ ra tác hại của việc dùng danh từ không đúng. Vậy làm cách nào để có thể sử dụng chữ quốc ngữ chuẩn xác? Phan Khôi nhận ra và khẳng định vai trò hết sức quan trọng của báo chí trong việc nâng cao nhận

thức của công chúng về chữ quốc ngữ. Trong bài viết “Chữ quốc ngữ ở Nam Kỳ với thể lực của phụ nữ” trên *Phụ nữ tân văn* (số 28, ngày 07-11-1929), Phan Khôi chỉ ra khởi nguồn và quá trình phát triển chữ quốc ngữ ở 3 miền Bắc - Trung - Nam. Khởi nguồn chữ quốc ngữ được dùng rất chuẩn, nhất là ở Nam Kỳ, nơi mà theo Phan Khôi có hai đại sư về quốc ngữ là Trương Vĩnh Ký và Huỳnh Tịnh Trai. Nhưng về sau ông đã phân tích các lỗi sai khi dùng chữ quốc ngữ của người dân Nam Kỳ mà nguyên nhân bắt đầu từ các nhà làm báo tiền bối là nhà nho sót lại, chỉ học vắn rồi ráp lại viết nên thành ra “loạn xỉ”, “...không còn chỗ nói nữa! Ai muốn viết thế nào đó thì viết, tuồng như họ muốn nổi cách mạng nghịch cùng Huỳnh Tịnh Trai và Trương Vĩnh Ký! Bỏ hết thảy, đừng nói; chỉ nói một chữ *dịch* (traduire) mà viết ra chữ *vịt* trong một quyển luật đã in và bán chạy như ngựa rồi kia, cũng đủ cho các ông đương khốc mà phải bật cười” [2; 254]. Phan Khôi đã nêu ra trách nhiệm của báo chí trong việc khắc phục tình trạng này: “Tôi không có quyền sửa đổi trong một tờ báo cho trở nên đúng. Song tôi mong rằng có một tờ báo nào ở Sài Gòn đây sẽ làm tiên phong mà sửa đổi cho đúng đi. Tôi thiệt mong ở *Phụ nữ tân văn*” [2; 255]. Báo chí là cơ quan ngôn luận, phổ dụng, độc giả đọc báo thường xuyên nên nếu luôn tiếp xúc với các lỗi viết sai, cầu thả ở báo thì sẽ phương hại vô cùng. Quan điểm này cũng đã được nhấn mạnh ở một loạt bài “Viết chữ quốc ngữ phải đúng” đăng trên *Phụ nữ tân văn* số 31 (05-12-1929), “Tại sao chúng ta không nên bỏ qua chữ quốc ngữ và phải viết đúng”, đăng trên *Thần chung* số 341 (20-3-1930) và *Trung lập* số 6105 (22-3-1930). Trước đó Hồ Quý Kiên đã đưa ra quan điểm “nên dẹp chữ quốc ngữ lại, lấy chữ Pháp làm quốc văn Việt Nam” nghĩa là người Việt nên chuyên học chữ Pháp, còn chữ quốc ngữ viết sao miễn đọc, hiểu không cần đúng vì theo ông tiếng An Nam khuyết điểm nhiều quá, không thể nào bồi bổ được. Phan Khôi không hoàn toàn tán đồng mà phân tích rằng

vẫn biết tiếng Pháp là thứ tiếng khoa học, dùng nó như là một sự tiếp xúc trực tiếp với văn minh Âu Mỹ (trong khi tiếng quốc ngữ đi theo đường vòng), song văn minh thì phải chú trọng yếu tố văn minh đại chúng. Đa số người dân Việt không phải ai cũng có điều kiện học tiếng Pháp và xem tiếng Pháp là ngôn ngữ dân tộc mà cần phải có một thứ chữ riêng của dân tộc mình. Vì thế, trên phương diện báo chí Phan Khôi luôn quan tâm đề cập đến vấn đề phổ cập chữ quốc ngữ và đồng thời cũng khuyến cáo chung cho người Việt rằng muốn học và viết đúng chữ quốc ngữ tự thân mỗi cá nhân phải cố gắng và cần có ý thức rằng đây là vấn đề tự trọng của bản thân và dân tộc.

Như vậy, Phan Khôi, qua hoạt động học thuật và báo chí, còn được biết đến là một nhà ngôn ngữ thực hành. Ông đảm nhận vai trò dọn vườn, sửa chữ, sửa văn, xông xáo trên các diễn đàn thảo luận về văn học và ngôn ngữ. Trên báo chí Sài Gòn giai đoạn 1929-1933, ông nhiều lần trả lời các độc giả những thắc mắc về vấn đề sử dụng chữ quốc ngữ, cụ thể là vấn đề dùng hỏi, ngã như thế nào trên các chữ a, e, â, o..., giải thích sâu về vấn đề thanh, âm trong nguyên tắc chữ quốc ngữ... Trong một loạt bài trên *Phụ nữ tân văn* năm 1931, Phan Khôi đã chỉ ra những vấn đề khi sử dụng tiếng Việt dẫn đến sai lệch như: “Tiếng hay văn Việt Nam cũng chỉ một mà thôi” (11-6-1931), cho rằng không nên thói phong khác biệt phương ngữ để rồi vô tình gây chia rẽ dân tộc, “Đính chánh lại cách xưng tên của người Việt Nam” (26-6-1930) chỉ ra những danh từ bị dùng sai sẽ dẫn đến sự thiên lệch trong kết luận vấn đề. Riêng ở *Trung lập*, Phan Khôi còn có rất nhiều bài về ngôn ngữ, tham gia thảo luận về thể loại văn chương... Việc làm này của Phan Khôi góp phần nâng cao nhận thức của công chúng về chữ quốc ngữ, đồng thời góp phần hiện đại hóa văn phong báo chí. Trong bài viết “Văn nghị luận phải viết như thế nào?” đăng trên *Trung lập* (số 6491, năm 1931) Phan Khôi bày tỏ quan điểm: “Trong văn quốc ngữ ta, cái lối viết của ông Hoàng Tích Chu thật nó biệt hẳn ra một lối đủ mà kêu được là

“lối văn Hoàng Tích Chu” sự ấy trong làng văn ta... cũng khá gọi là tay hào kiệt”. Đánh giá cao cách đặt câu ngắn gọn, dễ hiểu nhưng sâu sắc của Hoàng Tích Chu, Phan Khôi cũng tán thành quan điểm hướng đến đổi mới tiếng Việt trên báo chí, tránh lối diễn đạt dài dòng, hướng đến câu văn gãy gọn, minh bạch, khúc chiết và đưa ngôn ngữ sống động đời sống vào câu văn tiếng Việt. Bên cạnh đó, Phan Khôi còn rất *ủng hộ lối viết văn ngắn gọn, dễ hiểu* và bản thân Phan Khôi hầu hết đều dùng lối viết rõ ràng, mạch lạc, chặt chẽ.

Những minh chứng trên cho thấy Phan Khôi đã nhận thức rất rõ chuẩn hóa chữ quốc ngữ có vai trò quan trọng trong việc xây dựng nền quốc văn thống nhất, phát triển theo hướng văn minh. Như vậy, bằng những hoạt động của nhà ngôn luận, Phan Khôi đã góp phần vào vấn đề truyền bá chữ quốc ngữ và dùng báo chí làm phương tiện chuyên tải những kiến thức để phổ biến và phát triển tiếng Việt trong công chúng xã hội.

## 2. Giới thiệu văn học nước ngoài qua dịch thuật

Trong tiến trình hiện đại hóa văn học, việc đến với văn chương các nước phát triển (đặc biệt là phương Tây) qua con đường dịch thuật là một biểu hiện của nhu cầu tiếp nhận, giao lưu văn hóa, văn học. Việc làm này của Phan Khôi là bước chuẩn bị trên cả hai phương diện thể loại và chất liệu ngôn từ cho một bước chuyển quan trọng của văn học dân tộc. Bên cạnh việc bảo tồn những giá trị văn hóa cũ, yêu cầu cần thiết là bắt nhịp với thời đại. Dịch thuật vì thế đóng vai trò cầu nối giữa truyền thống và hiện đại, giữa văn hóa trong nước với văn hóa ngoại nhập.

Đóng góp cụ thể của Phan Khôi trên phương diện dịch thuật là đã tạo ra nguồn tư liệu đáng lưu ý về văn học Nga, Pháp và Trung Quốc.

Về mảng văn học Nga, ông dịch *Kể chuyện mình, Bờ ao* của Eroshenko (trên các số 722, 727, 730, 731, 732, 774 của *Đông Pháp thời báo*), giới thiệu “Cái thế lực của nhà văn hào” (*Đông Pháp thời báo*, số 727, năm 1928). Mặc



dù không thạo tiếng Nga, song qua bản chữ Hán, Phan Khôi đã chọn các nhà văn Nga này để giới thiệu với công chúng Việt Nam bởi đây là những nhà văn có tư tưởng tiến bộ với sức ảnh hưởng lớn. Ngôi bút của họ đã tác động mạnh mẽ góp phần vào sự thay đổi nhiều bình diện xã hội. Trong bài “Cái thế lực của nhà văn hào”, Phan Khôi đã khẳng định: “ông Tolstoy không hề có chút binh lính súng đạn gì hết, song cũng thắng được, ấy là nhờ ông có cái ngôi bút” [1; 131] và khi “ngôi vua nước Nga đổ, vua Ni-cô-la bị giết, nước Nga trở nên dân chủ, rồi lại trở nên nước cộng sản, người ta cho rằng ấy là nhờ thế lực của quân cách mạng bấy giờ và thế lực của Lý - Ninh; nhưng lại có người nói rằng ấy là nhờ thế lực của ông Tolstoy, nhờ ngôi bút của ông Tolstoy vậy” [1; 131]. Phan Khôi rõ ràng đã muốn công chúng mở mang tầm nhìn khi tiếp xúc với những tác phẩm của những nhà văn có tư tưởng tiến bộ này. Kể cả khi chọn giới thiệu về thi nhân mù Eroshenko và dịch những tự truyện của ông (**Kể chuyện mình**), Phan Khôi góp phần lan tỏa thông điệp mà nhà văn chuyên tải trong những câu chuyện về cách giáo dục áp đặt, nhồi nhét ở một trường học bên Nga; phản ánh bản chất thối nát của chế độ Nga hoàng để công chúng Việt hiểu rõ, từ đó thức tỉnh, thay đổi nhân sinh quan.

Về mảng văn học Pháp, ông dịch bài thơ **Quan về vườn** của H.de Rancan (đăng trên *Đông Pháp thời báo*, số 716 năm 1928); dịch phần đầu tiểu thuyết (qua bản dịch chữ Hán) **Bá tước Monte Cristo** của Alexandre Dumas cha và đặt tiêu đề là **Thầy trò trong khám** đăng 31 kì trên *Đông Pháp thời báo* từ số 741 – 773, cũng trong năm 1928.

Với văn học Trung Quốc, ông dịch một số đoạn trong sử ký của Tư Mã Thiên (“*Thơ trả cho Nhiệm An*”, “*Thích khách liệt truyện*”); dịch *Trò miêng* của Lam Thiệt Nhại; dịch *Bức thư trả lời cho Lưu Mông của Tư Mã Quang*; dịch *Tần Sĩ Lục* (chép chuyện người kỳ sĩ đất Tần của Tống Liêm); dịch *Họa ký* (ghi các nhân vật của một quyển vẽ của Hàn Dũ)... đăng trên *Phụ nữ tân*

*văn* (số 133 năm 1932); giới thiệu và dịch năm bài thơ của Khang Hữu Vi trên *Trung lập* (số 6487 năm 1931); dịch một số chương của bộ thi thoại nổi tiếng nhất đời Thanh là **Tùy Viên thi thoại** và dịch thơ Viên Mai. Bên cạnh đó, Phan Khôi còn giới thiệu Hồ Thích – nhà tư tưởng, học giả lớn của Trung Quốc, người khởi xướng thuyết dùng bạch thoại thay thế cho văn ngôn, đăng trên *Đông Pháp thời báo* (số 807, năm 1928). Việc chọn giới thiệu về các nhà cách mạng tư tưởng này đều nằm trong chủ đích của Phan Khôi. Đặc biệt, Phan Khôi rất quan tâm đến Lỗ Tấn, một nhà văn có nhiều sáng tác phản ánh hiện thực, phê phán sự hủ bại của xã hội, đồng thời có lối viết hiện đại.

Ngoài ra, Phan Khôi còn cùng với ông W.Cadman dịch **Kinh thánh** cho Hội Tin lành Việt Nam. Trong bài giới thiệu “Giới thiệu và phê bình Thánh Kinh báo” đăng trên *Phụ nữ tân văn* (số 74, 1930), Phan Khôi cho rằng: “Có nhiều chữ trong tiếng Pháp – nhiều không kể xiết – nếu chẳng biết đến **Kinh Thánh** thì chỉ hiểu nghĩa cạn mà thôi. Ai đã thông thạo **Kinh Thánh** rồi thì chắc hiểu sâu hơn mà lấy làm khoái lắm. Văn quốc ngữ ta cũng nên dùng chữ Kinh Thánh vào. Làm như vậy thì tiếng mình được dồi dào thêm, chớ có hại gì đâu” [3; 563]. Phan Khôi còn nhận thấy rõ “văn chương của **Thánh kinh báo** còn giúp cho văn quốc ngữ ta trong lúc mới lập nền. Bởi văn chương **Thánh kinh báo** đặt một cách thật rõ, thật gọn mà lại dễ hiểu, rất hiệp với lối bình dân học” [3; 564]. Qua bài giới thiệu này chúng ta nhận thấy “một Phan Khôi cao thượng, phóng khoáng, cởi mở, tôn trọng những giá trị văn hóa và tôn giáo của nhân loại”, đồng thời rất có ý thức trong việc truyền bá những ưu việt trong các tác phẩm dịch đến với công chúng nước ta [10].

Toàn bộ hoạt động dịch thuật của Phan Khôi bộc lộ rất rõ tiêu chí chọn dịch của ông là những tác giả, tác phẩm có giá trị về mặt tư tưởng “khác người ta, có thể gọi là cách mạng”, có phương pháp tiếp cận biệt lập, độc đáo [6; 753], hoặc “có

quan hệ với sử liệu” [6; 753]. Thậm chí ông chọn dịch những tác phẩm của những nhà hoạt động chính trị, văn hoá như Khang Hữu Vi, Hồ Thích. Điều này sẽ tạo ra sự hấp dẫn cho độc giả báo chí. Ngoài ra còn có thể nhận thấy, trong hầu hết các tác phẩm đã dịch Phan Khôi luôn coi trọng lối dịch sát nghĩa, khúc chiết, dễ hiểu và đặc biệt quan tâm yếu tố phải dịch đúng, bởi ông quan niệm “sự dịch sách là rất cần mà lại rất quan hệ. Quan hệ cái gì? Bởi vì, lần này là lần dịch đầu tiên ta đem một cái đạo lý nào hay một cái học thuyết nào dịch ra mà công hiến cho quốc dân, cốt nhất phải cho đúng. Bằng sai đi thì sau này chắc sẽ mất công chữa lại, và cũng chưa chắc là chữa lại được nữa” [4; 574].

Như vậy, qua hoạt động dịch thuật, Phan Khôi đã giúp cho độc giả nước ta tiếp cận với những tài năng văn chương nước ngoài, làm phong phú vốn hiểu biết về văn chương của xã hội Việt Nam. Việc làm này không chỉ đáp ứng nhu cầu thưởng thức văn chương, mà còn góp phần mở rộng tầm nhìn, tạo chất xúc tác, kích thích những ý tưởng sáng tạo mới cho văn học trong nước, đưa văn chương và độc giả văn chương nước nhà hòa nhập vào dòng chảy văn minh nhân loại.

### 3. Tạo ra các tranh luận về văn chương và bằng văn chương

Môi trường học thuật truyền thống ở Việt Nam vốn *tĩnh*, không coi trọng tranh luận. Tuy nhiên vào những năm 30 của thế kỷ XX đã xảy ra rất nhiều cuộc bút chiến và tranh luận sôi nổi. Điều đặc biệt là hầu hết những cuộc bút chiến này đều có sự tham gia của Phan Khôi, thậm chí ông còn luôn là người khơi mào.

Có thể liệt kê những cuộc tranh luận có sự tham gia của Phan Khôi như: tranh luận về *Truyện Kiều*, tranh luận về quyền của phụ nữ, tranh luận về Nho giáo, tranh luận về quốc học, tranh luận về thơ cũ và thơ mới, tranh luận về duy tâm và duy vật... Vu Gia trong một công trình nghiên cứu của mình đã nhận định: “Làng báo Việt Nam vào những năm đầu thập niên 30 của thế kỷ XX, nếu

không có Phan Khôi thì buồn đến chừng nào? Bây giờ nhìn lại, ta thấy hầu hết các cuộc tranh luận nổ ra ở giai đoạn này là do Phan Khôi khởi xướng, có nhiều cuộc tranh luận đã tạo ra nhiều tên tuổi, đã lôi kéo nhiều bậc thức giả, nhiều cây bút tên tuổi bấy giờ vào cuộc và hình thành hai trận tuyến rõ rệt” [7; 544-545]. Phan Khôi đã đặt ra vấn đề ta chân trong văn học từ rất sớm, thậm chí trước khi có cuộc tranh luận học thuật sôi nổi giữa hai quan điểm “Nghệ thuật vị nghệ thuật hay nghệ thuật vị nhân sinh”. Trong bài báo “Nên bài xích lối văn không thành thực” (đăng ở báo *Tràng An*, số 88 năm 1935 và số 89 năm 1936), Phan Khôi cho rằng một nền văn học có giá trị thì trước hết phải chú trọng ở sự thành thực. Nếu văn học không thành thực thì trong sự biểu hiện và phê bình đều sai lầm, giả dối thì là văn học vô giá trị. Chính là từ bài viết này, cuộc tranh luận “nghệ thuật vị nghệ thuật hay nghệ thuật vị nhân sinh” đã được châm ngòi để rồi sau đó Hải Triều và Hoài Thanh bút chiến sôi nổi trên báo chí. Cũng từ cuộc tranh luận này, vai trò và bản chất của văn nghệ mới được nhìn nhận lại rõ hơn.

Như vậy, có thể thấy phong cách đặc trưng của Phan Khôi trong phê bình là cách đặt vấn đề hoặc gây hấn, dẫn đến tranh luận. Vì thế tranh luận đã trở thành một phong cách viết đặc thù ở Phan Khôi. Những vấn đề mà Phan Khôi quan tâm trong các cuộc tranh luận thuộc nhiều lĩnh vực khác nhau, từ văn hóa đến tư tưởng, triết học, lịch sử đến ngôn ngữ, văn chương... Đối tượng tranh luận Phan Khôi cũng đều là những trí thức nổi tiếng đương thời như Phạm Quỳnh, Trần Trọng Kim, Tân Đà, Lê Du, Hải Triều, Huỳnh Thúc Kháng... Điều đáng chú ý là khi đã vào cuộc tranh luận ông rất thẳng thắn, quyết liệt và luôn đặt mục tiêu truy tìm đến cùng chân lý. Với quan điểm *luận lý học cai trị mọi sự ở đời*, Phan Khôi đã góp phần tạo nên một môi trường học thuật dân chủ và hiện đại. Nhiều vấn đề được làm sáng tỏ, chân lý được khẳng định từ những cuộc tranh luận khoa học này. Bản thân “những bài nghị luận, bút chiến sắc sảo, phong cách mạnh



mẽ, đây ấn tượng trong giai đoạn giao thời của ông đã tạo tiền đề tư tưởng cần thiết cho các cuộc cách tân hiện đại hóa của văn học Việt Nam nửa đầu thế kỷ XX” [8; 130].

Riêng ở lĩnh vực văn học, Phan Khôi cũng đã có những bài viết thể hiện rõ quan điểm của mình bàn về phép làm văn nghị luận như bài “Văn nghị luận phải viết như thế nào?” đăng ở *Trung lập*, số 6491 năm 1931. Ở đây, Phan Khôi đã đặt vấn đề làm thế nào để có thể viết một bài văn nghị luận tốt sau khi bàn về lối viết của Hoàng Tích Chu, và ông không đề cao lối viết này. Phan Khôi cho rằng: “văn nghị luận không lấy văn làm mục đích mà lấy việc làm mục đích” [5; 301], nghĩa là không chỉ phải viết hay, lời xuôi lẽ thuận, không viết suông mà còn chú ý đến tính thực tế đời sống. Ngoài ra Phan Khôi cũng rất nhạy bén khi đặt vấn đề về sự cần thiết của một thể loại mới khi “Giới thiệu lối văn phê bình nhân vật” (đăng ở *Phụ nữ tân văn*, số 93 năm 1931). Những bài viết này rất có giá trị, góp tiếng nói thiết thực để xây dựng một nền quốc văn ngày càng hiện đại.

Ngoài ra, một loạt những bài viết về “Khái luận về văn học chữ Hán ở nước ta”, “Tục ngữ, phong dao và địa vị của nó trong văn học”, “Thi văn với thời đại”, “Vận ngữ với thơ” viết năm 1939 được tạp chí *Tao đàn* sưu tập cho thấy tư duy phê bình sắc sảo của Phan Khôi.

Trong bài về “Khái luận về văn học chữ Hán ở nước ta” để đi đến khẳng định và phát ra lời kêu gọi: “Hỡi, người Việt Nam, trở về với quốc văn” [6; 85] Phan Khôi vừa tổng kết thành quả văn học chữ Hán nước ta vừa đưa ra những phân tích hết sức cụ thể về sự non yếu của văn học chữ Hán. Ông cho rằng nguyên nhân quan trọng nhất gây ra sự non yếu là bởi việc sử dụng văn tự Hán (mà bản chất là thứ ngôn ngữ ngoại lai) khiến người sáng tác rất khó chuyển tải những trạng thái tinh tế trong tâm hồn, tập tục và đời sống thường nhật của người Việt. Hơn nữa, lối viết rập khuôn, “hứng lấy cặn bã” của người Tàu đã làm văn chương của An Nam “chẳng có một

chút gì là đặc tính của An Nam, thành thử chúng ta, dù đến trên loài mỹ văn ấy, cũng không lập nổi một nền văn học riêng cho mình” [6; 8]. Cách lập luận chặt chẽ, phân tích thấu đáo kèm theo dẫn chứng cụ thể ở bài viết này càng cho thấy ông là người bút phê bình rất ấn tượng.

Hay với bài “Tục ngữ, phong dao và địa vị của nó trong văn học”, Phan Khôi thể hiện sự am tường về văn học cũng như phương pháp tư duy sắc bén của kiểu phê bình “lý đoán” khi đưa ra cách phân loại rất cụ thể giữa tục ngữ và phong dao và qua đó khẳng định vị trí quan trọng của những hình thức dân gian này trong văn học.

Không chỉ ở những bài viết thuần túy về văn học mà đúng như nhận xét của một nhà nghiên cứu, những loạt bài viết về văn hóa, văn chương được lồng vào những vấn đề xã hội liên quan đến nữ giới mà Phan Khôi đăng trên báo chí Sài Gòn cũng thể hiện rõ: “sự nhất quán với tư tưởng tiến bộ. Phan Khôi đã xuất phát từ việc xác định phụ nữ như một đối tượng được thể hiện trong văn chương để đi đến việc khẳng định vai trò của họ với tư cách là chủ thể của hoạt động sáng tạo nghệ thuật. Đó là cách thức góp phần thúc đẩy quá trình dân chủ hóa đời sống xã hội và văn chương. Hiện đại hóa xã hội gắn với hiện đại hóa văn học trở thành ý thức thường trực nơi ngòi bút Phan Khôi” [8; 325]. Tư tưởng nữ quyền luận qua hàng loạt bài báo sắc bén của ông đã tạo nên những hiệu ứng tích cực. Nội dung công kích chế độ gia đình phong kiến cổ hủ, chống lại hôn nhân cưỡng bức, đấu tranh cho quyền lợi chính đáng và đề cao vai trò người phụ nữ là những nội dung chủ yếu trong sáng tác của *Tự lực văn đoàn* sau này đã được Phan Khôi đề cập trước đó trong các bài báo của mình. Điều này cho phép khẳng định ảnh hưởng về mặt tư tưởng từ Phan Khôi đến tiểu thuyết *Tự lực văn đoàn*.

Ở phạm vi thi ca, mặc dù không phải là thành viên của phong trào Thơ mới song Phan Khôi cũng là người khơi mào cho cuộc đấu tranh quyết liệt giữa thơ cũ và thơ mới.

Trên lĩnh vực văn xuôi, tuy không thành công ở phương diện thực hành sáng tác nhưng ông cũng đã rất xông xáo và khẳng định tư tưởng tiến bộ của mình ở phương diện lý thuyết. Phan Khôi đã sớm khẳng định: “về tiểu thuyết, khuynh hướng về chủ nghĩa tả thực, lại trọng về tâm lý, cũng chủ trương theo phái nghệ thuật vì nhân sanh. Cái khuynh hướng ấy, cái chủ trương ấy, tôi nhận là đáng đem ra mà thi hành trong cõi tiểu thuyết nước ta ngày nay vậy. Cứ tả thực mà tả cho đúng tâm lý thì đủ làm cho vui cái tâm cảnh của kẻ đọc rồi tự họ cảm hóa lấy, chớ còn cứ theo cái sáo khuyên răn cũ, là tầm thường, người đời nay chán rồi” [2; 322]. Bằng cách đưa ra quan điểm để kích thích đối thoại ở các học giả cùng thời, Phan Khôi đã phần nào xác lập cơ sở lý thuyết để hàng loạt những tiểu thuyết viết theo khuynh hướng hiện thực chủ nghĩa ra đời sau đó như một cách đổi mới lối viết khuôn sáo, và được đánh giá cao...

### Kết luận

Hoạt động báo chí, văn chương, học thuật của Phan Khôi đã cho thấy những *bước chuyển* quyết liệt của ông: bắt đầu từ khát vọng canh tân xã hội đến hoạt động canh tân văn hóa, văn chương. Đây là con đường dẫn thân đầy chủ động của một trí thức Nho học hết sức quyết liệt và triệt để. Cái bóng lớn của Nho giáo không chỉ che phủ văn hóa Việt Nam mà thậm chí cả phương Đông. Để vượt qua được nó không hề đơn giản nhưng Phan Khôi đã nhiều lần thoát ra khỏi bóng rợp Nho giáo ngót ngàn năm này.

Ông đã rất thành công trong tư cách một nhà báo chuyên nghiệp với lập luận sắc sảo và tinh thần phê phán quyết liệt. Bằng báo chí, Phan Khôi đã tấn công vào thành trì của chế độ phong

kiến, đồng thời chủ trương tiếp nhận tinh thần của văn minh phương Tây. Hoạt động này đã được thể hiện qua: 1) cổ súy dùng chữ quốc ngữ, kêu gọi thống nhất quy ước chính tả cho văn tự mới này, kêu gọi dùng lối viết ngắn gọn, dễ hiểu; 2) qua dịch thuật giới thiệu văn học nước ngoài đến với người đọc trong nước và 3) đẩy lên những cuộc tranh luận về văn chương và bằng văn chương – một hoạt động quen thuộc của các nhà canh tân văn hoá xã hội, đồng thời cũng cho thấy rõ vai trò của Phan Khôi trong tư cách một nhà phê bình văn học với nhãn quan độc đáo.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lại Nguyên Ân (sưu tầm và biên soạn, 2003), *Phan Khôi tác phẩm đăng báo 1928*, Nxb Đà Nẵng – Trung tâm Văn hóa Ngôn ngữ Đông Tây, Đà Nẵng.
- [2] Lại Nguyên Ân (sưu tầm và biên soạn, 2005), *Phan Khôi tác phẩm đăng báo 1929*, Nxb Đà Nẵng – Trung tâm Văn hóa Ngôn ngữ Đông Tây, Đà Nẵng.
- [3] Lại Nguyên Ân (sưu tầm và biên soạn, 2006), *Phan Khôi tác phẩm đăng báo 1930*, Nxb Đà Nẵng – Trung tâm Văn hóa Ngôn ngữ Đông Tây, Đà Nẵng.
- [4] Lại Nguyên Ân (2007), “Phan Khôi và báo chí Sài Gòn những năm 1920 – 1930”, *Nghiên cứu văn học*, số 8, tr. 131-146.
- [5] Lại Nguyên Ân (sưu tầm và biên soạn, 2007), *Phan Khôi tác phẩm đăng báo 1931*, Nxb Đà Nẵng – Trung tâm Văn hóa Ngôn ngữ Đông Tây, Đà Nẵng.
- [6] Lại Nguyên Ân (sưu tầm và biên soạn, 2009), *Phan Khôi tác phẩm đăng báo 1932*, Nxb Đà Nẵng – Trung tâm Văn hóa Ngôn ngữ Đông Tây.
- [7] Vu Gia (2003), *Phan Khôi tiếng Việt, Báo chí và thơ Mới*, Nxb Đại học Quốc gia, TP. Hồ Chí Minh
- [8] Sở Văn hóa, Thể thao và Du lịch Quảng Nam (2014), “Phan Khôi những đóng góp trên lĩnh vực văn hóa dân tộc”, *Kỷ yếu Hội thảo*, Sở Thông tin và Truyền thông Quảng Nam.
- [9] Nguyễn Văn Xuân (1968), *Khi những lưu dân trở lại*, Thời mới, Sài Gòn.
- [10] <https://antontruongthang.com>

# Các nhân tố ảnh hưởng đến chất lượng thông tin trong báo cáo tài chính của doanh nghiệp kinh doanh bất động sản niêm yết trên thị trường chứng khoán Việt Nam

Factors affecting the information quality in financial statements of real estate company listed on Vietnam stock market

Lê Nguyễn Nguyên Nguyên, Nguyễn Thị Thủy Hương  
Le Nguyen Nguyen Nguyen, Nguyen Thi Thuy Huong

*Khoa Kế toán - Kiểm toán, Trường Đại học Tài chính - Kế toán, Quảng Ngãi, Việt Nam  
Accounting and auditing department, University of Finance and Accountancy, Quang Ngai, Vietnam*

*(Ngày nhận bài: 07/07/2019, ngày phản biện xong: 02/08/2019, ngày chấp nhận đăng: 20/08/2019)*

## Tóm tắt

Bài viết nghiên cứu các nhân tố ảnh hưởng đến chất lượng việc công bố thông tin trong báo cáo tài chính của các doanh nghiệp kinh doanh bất động sản niêm yết trên thị trường chứng khoán Việt Nam. Mẫu nghiên cứu bao gồm báo cáo tài chính của 65 doanh nghiệp kinh doanh bất động sản thời điểm năm 2017 niêm yết trên thị trường chứng khoán Việt Nam. Kết quả nghiên cứu cho thấy có 5 nhân tố ảnh hưởng đến chất lượng công bố thông tin trong báo cáo tài chính của doanh nghiệp kinh doanh bất động sản niêm yết trên thị trường chứng khoán Việt Nam

*Từ khóa:* Các nhân tố, chất lượng, công bố thông tin, doanh nghiệp kinh doanh bất động sản.

## Abstract

The study aims at identifying factors affecting the information disclosure quality in financial statements of real estate companies listed on Vietnam stock market. The study's samples include 65 financial statements of real estate companies in 2017 listed on Vietnam stock market. The results show that there are five factors affecting the information disclosure quality in financial statements of real estate companies listed on Vietnam stock market.

*Keywords:* Factors, quality, information disclosure real estate companies.

## 1. Đặt vấn đề

Theo quan điểm của Bộ Tài chính, được thể hiện trong Sổ tay công bố thông tin (CBTT) dành cho các công ty niêm yết thì “công bố thông tin được hiểu là phương thức để thực hiện quy trình minh bạch của doanh nghiệp (DN) nhằm đảm bảo các cổ đông và công chúng đầu tư có thể tiếp cận thông tin một cách công bằng và đồng thời”.

Công bố thông tin có thể giúp cải thiện sự am

hiều của cộng đồng về cấu trúc và những hoạt động của công ty, chính sách, sự tuân thủ những tiêu chuẩn về môi trường, đạo đức và những mối quan hệ của công ty đó với cộng đồng nơi mà họ hoạt động. Một hệ thống CBTT hiệu quả có khả năng thúc đẩy tính minh bạch thông tin, là yếu tố then chốt của thị trường với vai trò làm nền tảng cho công tác điều hành ở các công ty và gia tăng năng lực của các cổ đông trong việc thực hiện

quyền sở hữu dựa trên hiểu biết cơ bản về CBTT. Ngược lại, hoạt động công bố yếu kém và hành xử không minh bạch có thể gia tăng hành vi thiếu đạo đức, tăng chi phí cho thị trường, tăng chi phí vốn và kết quả là phân bổ nguồn lực không hiệu quả không chỉ riêng cho công ty và cổ đông mà cho cả nền kinh tế. Các cổ đông và nhà đầu tư tiềm năng yêu cầu tiếp cận với thông tin một cách thường xuyên, các thông tin đáng tin cậy và có khả năng so sánh thật chi tiết giúp họ tiếp cận với vấn đề quản lý cũng như thực hiện những quyết định rõ ràng về định giá, quyền sở hữu và quyền biểu quyết. Thông tin trên thị trường chứng khoán (TTCK) Việt Nam nói chung chưa đảm bảo được tính minh bạch và hiệu quả.

Theo Lopes và Lodrigues (2007), việc CBTT chịu ảnh hưởng đa chiều từ các nhân tố xuất phát cả trong và ngoài DN. Các nhân tố bên trong thuộc về đặc tính DN có thể dễ dàng xác định như quy mô, cấu trúc, mức hoạt động,... thì yếu tố từ bản thân nhà quản trị và kế toán viên cũng tác động không nhỏ. Các nhân tố bên ngoài như văn hóa quốc gia, hệ thống pháp luật, trình độ phát triển, thị trường vốn, các tổ chức tài chính luôn có tác động chi phối các mối quan hệ của DN và gián tiếp điều chỉnh chất lượng CBTT.

Thông kê trong nghiên cứu của Yuan Dinh, Linghui Fu, Hever Stolowy và Huiwen Wang, 2004 đã cung cấp một mô tả cụ thể và đầy đủ các nhân tố trước đây về CBTT. Từ 1965 đến nay, nhiều nghiên cứu tiếp tục được thực hiện, trong đó mang tính tổng hợp cao nhất có thể kể đến nghiên cứu của Dulacha G Balako (2007), Fama (1983), Chen và Jaggi (2000), Haniffa và Cooke (2002), Ho và Wong (2001), Bradbury (1990), Foker (1992).

Nghiên cứu thực nghiệm của Dhaliwal (1980) cho rằng, chi phí trực tiếp của việc tạo lập và CBTT bắt buộc ở những công ty lớn nhiều hơn các công ty nhỏ. Nghiên cứu của Cerf (1961), Singhvi và Desai (1971), Firth (1979), Cooke (1989), Wallace và cộng sự (1994) đã tìm thấy

bằng chứng thực nghiệm về mối liên hệ thuận chiều giữa quy mô công ty và chất lượng CBTT.

Theo nghiên cứu của Inchausti (1997), các DN có mức sinh lời cao sẽ CBTT nhiều hơn để tác động tích cực đến giá cổ phiếu của nó trên thị trường vốn. Còn theo Lang và Lundholm (1993), mối quan hệ này không rõ ràng và tùy thuộc và mức độ sinh lời cũng như bối cảnh thực tế của doanh nghiệp.

Phần lớn các nghiên cứu ủng hộ cho dự đoán rằng thời gian hoạt động càng lâu thì chất lượng CBTT của DN càng lớn. Các nghiên cứu của Caferman và Cooke (2002) đều ủng hộ cho mối quan hệ thuận chiều này.

Haniffa và Cooke (2002) cho rằng các mức độ phức tạp trong cấu trúc DN với sự tồn tại của các công ty con sẽ có tác động đáng kể đến CBTT của DN.

Kế thừa và phát triển từ các nghiên cứu trước, bài viết này đi sâu nghiên cứu về các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng CBTT trong BCTC của các DN kinh doanh bất động sản (BDS) niêm yết trên TTCK Việt Nam.

## 2. Giải quyết vấn đề

### 2.1 Phương pháp nghiên cứu

#### 2.1.1 Giả thiết nghiên cứu

Dựa vào các nghiên cứu trên, các biến được đưa ra các giả thiết như sau:

*Tỷ lệ sở hữu nhà nước trong cấu trúc vốn tại DN kinh doanh BDS niêm yết trên TTCK Việt Nam càng cao thì chất lượng CBTT trong BCTC sẽ càng cao.*

Vai trò kiểm soát của nhà nước mang lại sự tin tưởng đối với cổ đông về việc thông tin sẽ được công bố tốt hơn. Do vậy đặt ra giả thiết về kỳ vọng tồn tại mối liên hệ thuận chiều giữa tỷ lệ sở hữu vốn bởi nhà nước và chất lượng CBTT của doanh nghiệp. Tỷ lệ này được đo bằng giá trị sở hữu bởi nhà nước chia cho tổng giá trị của DN (giá trị sổ sách).



Quy mô tại DN kinh doanh BĐS niêm yết trên TTCK Việt Nam càng lớn thì chất lượng CBTT trong BCTC càng cao.

Với nhiều lập luận được đưa ra (đã phân tích ở nội dung trước) quy mô (kích cỡ) DN là một yếu tố quan trọng có khả năng cao ảnh hưởng cùng chiều tới chất lượng CBTT. Tuy nhiên, nghiên cứu của Đoàn Nguyễn Trang Phương (2010), Lê Thị Trúc Loan (2012) không tìm thấy mối liên hệ giữa quy mô công ty và chất lượng CBTT. Do vậy cần kiểm định lại giả thiết này tại Việt Nam.

DN kinh doanh BĐS niêm yết trên TTCK Việt Nam sẽ CBTT càng nhiều khi đòn bẩy tài chính càng lớn.

Lý thuyết đại diện cho rằng đòn bẩy tài chính tăng sẽ làm tăng chất lượng CBTT. Đòn bẩy tài chính được tính bằng nợ phải trả chia cho vốn chủ sở hữu của DN. Các nghiên cứu thực nghiệm cho kết quả khác nhau về vấn đề này, quan hệ thuận chiều được tìm thấy ở nghiên cứu của Bradbury (1992), Naser (2002), không có liên quan như ở nghiên cứu của Carson và Simnee (1997). Vì vậy cần kiểm định lại giả thiết.

*Mức sinh lời càng cao thì DN kinh doanh BĐS niêm yết trên TTCK Việt Nam sẽ CBTT càng cao.*

Các công bố trước đây đã kiểm chứng thực nghiệm mối quan hệ giữa mức sinh lời và chất lượng CBTT. Nghiên cứu của Wallace và Naser (1994), Barako (2007) cho kết quả nghịch, nghiên cứu của Belkaoui và Kahl (1978) không tìm thấy mối quan hệ, nghiên cứu của Singhvi (1968), Lê Thị Trúc Loan (2012) lại thấy ảnh hưởng thuận chiều giữa hai đối tượng này. Vì vậy cần kiểm tra lại giả thiết. Mức sinh lời - khả năng tạo lợi nhuận của DN được đo lường bằng nhiều chỉ số, có thể kể đến như ROA (Lợi nhuận trước thuế/Tổng tài sản), ROE (Lợi nhuận sau thuế/vốn chủ sở hữu), tỷ lệ sinh lời trên doanh thu (Lợi nhuận trước thuế/Doanh thu thuần) và tốc độ tăng trưởng doanh thu.

*Thời gian hoạt động càng lâu, chất lượng CBTT của DN kinh doanh BĐS niêm yết trên TTCK Việt Nam càng cao.*

Các nghiên cứu của Caferman và Cooke (2002), Akhtarudin (2005), Alsaeed (2006) đều ủng hộ cho mối quan hệ thuận chiều giữa thời gian hoạt động (tuổi DN) và chất lượng CBTT. Tại Việt Nam chất lượng CBTT thực sự có bước chuyển mình trong giai đoạn gần đây, sau Đổi mới và đặc biệt là từ thời điểm DN bắt đầu niêm yết trên TTCK. Từ thời điểm này, để đáp ứng những yêu cầu công bố bắt buộc và phức tạp hơn của công ty niêm yết, hầu hết các DN cải thiện nhiều về bộ máy kế toán, kiểm soát của mình. Do vậy nghiên cứu này sử dụng số năm tính từ thời điểm niêm yết đến nay làm đại diện cho yếu tố thời gian hoạt động của DN.

*Nếu được kiểm toán bởi Big 4, chất lượng CBTT của DN kinh doanh BĐS niêm yết trên TTCK Việt Nam càng cao.*

Nghiên cứu của Singhvi (1968), Firth (1977) không tìm thấy mối liên hệ nào trong khi các nghiên cứu của Hosain và cộng sự (1995), Ahmed (1996) lại khẳng định sự lựa chọn công ty kiểm toán có ảnh hưởng đến kết quả CBTT trong BCTC. Trong nghiên cứu này yếu tố kiểm toán được đo lường bằng biến giả, nếu kiểm toán của đơn vị thuộc nhóm Big 4 tức nhóm bốn công ty kiểm toán hàng đầu thế giới sẽ được mã hóa là 1, ngược lại kiểm toán là các công ty không phải Big 4 sẽ được đánh số là 0.

*DN kinh doanh BĐS niêm yết trên TTCK Việt Nam sẽ CBTT nhiều hơn khi càng có nhiều chi nhánh hoặc công ty con.*

Haniffa và Cooke (2002), Courtis (1978) đều ủng hộ cho quan điểm về tồn tại mối quan hệ giữa tính phức tạp của DN và chất lượng CBTT. Theo nghiên cứu của Mohammed Hossain (2008) kì vọng rằng những DN có số công ty con càng nhiều thì CBTT sẽ nhiều hơn.

### 2.1.2 Chọn mẫu

Chọn 65 doanh nghiệp kinh doanh BĐS niêm yết trên TTCK Việt Nam có BCTC năm 2017 đã được kiểm toán.



## 2.1.3 Đo lường các biến

do (b<sub>0</sub>); Sai số ngẫu nhiên (e)

Biến phụ thuộc: Chỉ số CBTT (I); Tham số tự Các biến độc lập được thể hiện ở bảng 1:

Bảng 1: Kí hiệu và đo lường các biến độc lập của mô hình

TT	Kí hiệu biến	Tên nhân tố ảnh hưởng	Chỉ tiêu đo lường và cách xác định	Chiều ảnh hưởng
1	SH1	Sở hữu của cổ đông nước ngoài	Tỷ lệ sở hữu của cổ đông nước ngoài	+
2	QM	Quy mô DN	Tổng doanh thu, tổng tài sản	+
3	DB	Đòn bẩy tài chính	Nợ phải trả/vốn chủ sở hữu	+
4	SL	Mức độ sinh lời	ROA, ROE, tỷ suất lợi nhuận/doanh thu Tốc độ tăng trưởng của doanh thu	+
5	TG	Thời gian niêm yết	Số năm tính từ khi DN niêm yết	+
6	KT	Kiểm toán độc lập	Biến giả 0: nếu công ty kiểm toán thuộc Big 4; 1: nếu không thuộc Big 4	+
7	CTC	Số công ty con	Số công ty con của DN	+

## 2.1.4 Mô hình nghiên cứu

Tác giả sử dụng mô hình hồi quy tuyến tính bội theo phương pháp bình phương bé nhất với sự hỗ trợ của phần mềm SPSS 23.0 để nghiên cứu các nhân tố ảnh hưởng của mỗi biến giải thích thông qua chỉ tiêu chất lượng CBTT. Mô hình hồi quy tuyến tính được sử dụng:

$$I = b_0 + b_1.SH1 + b_2.QM + b_3.DB + b_4.SL + b_5.TG + b_6.KT + b_7.CTC + e$$

Trong đó: Chỉ số CBTT (I), Tham số tự do (b<sub>0</sub>), Sai số ngẫu nhiên (e)

## 3. Kết quả nghiên cứu

Sau khi thực hiện thống kê mô tả và kiểm định tương quan hạng Pearson, kiểm định phương sai sai số thay đổi, kiểm định phân phối chuẩn ta cần loại đi các biến không có ý nghĩa thống kê đối với biến phụ thuộc chất lượng CBTT và chạy lại mô hình với những biến có ý nghĩa, cho kết quả ở bảng 2:

Bảng 2: Mô tả hệ số ảnh hưởng của các nhân tố đến chất lượng thông tin BCTC

Mô hình hồi quy bội	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.	VIF
	B	Std. Error	Beta			
(Constant)	,408	,070		5,835	,000	
Tỷ lệ sở hữu của cổ đông nước ngoài	-,014	,008	-,182	-1,783	,078	1,635
Log tổng tài sản	,055	,012	,446	4,663	,000	1,430
LN/DT	-,014	,003	-,326	-3,895	,000	1,046
Tuổi niêm yết	,055	,002	,220	2,424	,017	1,288
Kiểm toán	,026	,013	,189	1,965	,053	1,453

Biến phụ thuộc: Chỉ số CBTT

R<sup>2</sup> = 41,8%, Adjust R<sup>2</sup> = 38,6%, Sig. = 0,000, Durbin-Watson = 2,102

Xét về từng nhân tố ảnh hưởng đến chất lượng CBTT, quay trở lại phân tích ở phần xây dựng giả thiết cho mô hình ta thấy rằng mỗi nhân tố đều tồn tại những kết quả nghiên cứu trái chiều theo cả ba hướng: thuận, nghịch hoặc không ảnh hưởng. So sánh kết quả mô hình với

những nghiên cứu trước đây, bên cạnh những khác biệt được giải thích từ nguồn số liệu, bối cảnh nghiên cứu thì ta cũng thấy nhiều kết luận tương tự, được trình bày ở bảng tổng hợp sau: (nhân tố không ảnh hưởng không đưa vào trong bảng)

Bảng 3: Tổng hợp các kết quả nghiên cứu có liên quan

TT	Kí hiệu biến	Các nghiên cứu đồng kết luận	Các nghiên cứu không cùng kết luận	Chiều ảnh hưởng
1	SH1		Hanifa và Cooke (2002), Singhvi (1968)	-
2	QM	Cerf (1961), Singhvi và Desai (1971), Firth (1979), Cooke (1989), Wallace và cộng sự (1994)...	Đoàn Nguyễn Trang Phương (2010), Lê Thị Trúc Loan (2012)	+
3	SL	Wallace và Naser (1994), Barako (2007)	Belkaoui và Kahl (1978), McNally và Hasseldine (1982), Đoàn Nguyễn Trang Phương (2010), Singhvi (1968),...	-
4	TG	Caferman và Cooke (2002), Alsaeed (2006), Akhtarudin (2005),...		+
5	KT	Hossain và cộng sự (1995), Ahmed (1996)	Singhvi (1968), Firth (1977),...	+

Như vậy mô hình hồi quy bội với năm biến độc lập: Tỷ lệ sở hữu của cổ đông nước ngoài, Log tổng tài sản, LN/DT, Tuổi niêm yết và kiểm toán thỏa mãn tất cả các giả định cho mô hình hồi quy bội, do đó có thể dùng để giải thích cho sự biến động của chất lượng công bố thông tin trong báo cáo tài chính của các doanh nghiệp kinh doanh bất động sản niêm yết trên thị trường chứng khoán Việt Nam. Mô hình được biểu diễn như sau:

$$I = 0,408 - 0,014SH_1 + 0,055QM - 0,014SL + 0,055TG + 0,026KT$$

#### 4. Kết luận và một số đề xuất

Tác giả nghiên cứu các đặc điểm tài chính của DN, bỏ qua các yếu tố về văn hóa, hành vi, chất lượng đội ngũ kế toán, phần mềm kế toán, áp lực thuế... trong DN, thì trên cơ sở các nhân tố ảnh hưởng đến chất lượng CBTT được xác định ở nghiên cứu này, kết quả cũng cho thấy rằng việc CBTT của các DN kinh doanh BĐS niêm yết trên TTCK Việt Nam chịu ảnh hưởng bởi các nhân tố:

sở hữu của cổ đông nước ngoài, quy mô DN, mức độ sinh lời, thời gian niêm yết và kiểm toán độc lập. Nhân tố tỷ lệ sở hữu của cổ đông nước ngoài và nhân tố sức sinh lời có ảnh hưởng ngược chiều với chất lượng công bố thông tin trong BCTC. Công ty có quyền sở hữu vốn của nước ngoài và sức sinh lời càng cao thì chất lượng thông tin BCTC càng thấp, nó có xu hướng báo cáo lợi nhuận không đúng với thực tế mà theo hướng tạo ra tín hiệu tốt cho nhà đầu tư nước ngoài, hoặc khả năng điều chỉnh giảm lợi nhuận nhằm giảm thuế TNDN phải nộp. Các công ty có quy mô lớn, thời gian niêm yết càng lâu và BCTC được kiểm toán bởi Big 4 thì chất lượng công bố thông tin trong BCTC càng cao.

Dựa trên các kết luận nghiên cứu, tác giả sẽ đưa ra một số đề xuất để tác động đến các nhân tố ảnh hưởng nhằm nâng cao chất lượng CBTT trong BCTC của các DN kinh doanh BĐS niêm yết trên TTCK Việt Nam như sau:

Một là, tăng cường quản lý nhà nước, thể hiện

ở ba khía cạnh: cần quy định cái gì, khi nào và chế tài xử lý vi phạm ra sao.

*Thứ nhất*, về nội dung CBTT trong BCTC, nhà nước cần xem xét lại hệ thống văn bản quy phạm pháp luật, như điều 29 Luật Kế toán, BCTC cần lập theo chuẩn mực và chế độ kế toán. Do đó cần thống nhất giữa quy định về chuẩn mực và chế độ kế toán hiện hành. Nếu không như hiện nay ta nghiêm nhiên chấp nhận rằng chỉ cần công bố như chế độ kế toán là đủ; cần hoàn thiện các quy định về công bố bằng các văn bản hướng dẫn rõ ràng. Chẳng hạn Thông tư 210/2009 về công cụ tài chính đã yêu cầu DN trình bày giá trị hợp lý của tài sản và nợ phải trả tài chính thì cần có văn bản hướng dẫn chi tiết xác định giá trị hợp lý như thế nào, nếu không quy định này xem như không có tác dụng. Bằng chứng là nhiều DN không trình bày hoặc trình bày theo kiểu đối phó.

*Thứ hai*, các quy định của luật cần được ban hành kịp thời và có hệ thống. Sự chênh lệch giữa các văn bản tạo ra một trở ngại khách quan cho DN trong quá trình CBTT. Chẳng hạn chuẩn mực kiểm toán được ban hành trước chuẩn mực kế toán là một bài học kinh nghiệm.

*Thứ ba*, nhà nước cần có quy định chặt chẽ về công tác kiểm tra và xử lý nghiêm các hành vi sai phạm.

*Thứ tư*, cần xây dựng bộ chỉ số minh bạch thông tin và công bố thông tin để đo lường mức độ minh bạch thông tin của các công ty kinh doanh bất động sản niêm yết trên TTCK Việt nam dựa trên các báo cáo thường niên, báo cáo quản lý của ban giám đốc, báo cáo quản trị công ty cho ban kiểm soát bao gồm cả thông tin bắt buộc và thông tin tự nguyện không phân biệt quy mô doanh nghiệp, khả năng sinh lời, thời gian niêm yết...

*Hai là*, tăng cường chất lượng kiểm toán nội bộ, kiểm toán độc lập. Để nâng cao chất lượng kiểm toán hướng tới nâng cao chất lượng BCTC ta quan tâm tới ba phương diện:

*Thứ nhất*, tăng cường và hoàn chỉnh khung

pháp lý để kiểm soát công tác kiểm toán, tránh sự không đồng nhất hoặc nhập nhằng giữa các văn bản dưới luật khiến kế toán viên và kiểm toán viên bối rối khi lập và kiểm tra BCTC. Luật Kiểm toán được ban hành và có hiệu lực ngày 1.1.2012 chế tài áp dụng xử lý sai phạm trong kiểm toán BCTC của các công ty niêm yết cần được ban hành một cách chi tiết hơn, ngay cả việc tăng mức phạt cũng cần được xem xét. Tăng số lượng công ty kiểm toán bị thanh tra hàng năm là một yêu cầu cấp thiết trong tình hình hiện nay, hoặc hạn chế thời lượng các hợp đồng kiểm toán, luân chuyển các nhà cung cấp được kiểm toán và minh bạch hóa các chi phí kiểm toán là cần thiết.

*Thứ hai*, cần có những giải pháp theo hướng khuyến khích, trợ giúp các công ty kiểm toán nâng cao chất lượng báo cáo kiểm toán. Các giải pháp này tập trung vào hai mảng đào tạo con người và xây dựng tài liệu hướng dẫn kiểm toán.

*Thứ ba*, kiểm toán viên hoặc đại diện công ty kiểm toán cần yêu cầu các công ty mà mình thực hiện kiểm toán BCTC phải mời mình tham dự họp Đại hội đồng cổ đông thường niên để phát biểu ý kiến về những vấn đề liên quan đến BCTC năm trong trường hợp báo cáo kiểm toán có các khoản ngoại trừ trọng yếu. Ngoài ra, trong mọi trường hợp kiểm toán viên phải luôn đảm bảo tính độc lập, không vì sợ mất khách hàng hay cạnh tranh về giá phí kiểm toán.

*Ba là*, xây dựng văn hóa doanh nghiệp (DN). Điều này xuất phát từ bản thân DN mà cụ thể là nhận thức và quan điểm của nhà quản trị, sau đó là bộ máy kế toán tại doanh nghiệp. Tư duy “chuyện làm ăn của công ty giống như chuyện riêng tư, chỉ nên giữ trong nhà, việc gì phải công khai cho người không quen thuộc biết”, đang chi phối hành động của nhà quản trị. Tất nhiên giá trị BCTC doanh nghiệp công bố cũng từ đó mà giảm đáng kể. Từ những lập luận đó, văn hóa ở mỗi DN cần được xây dựng, bắt đầu từ khâu đào tạo tại trường đại học và sau đó là truyền thông đại chúng. Nhà nước có thể tác động đến yếu tố này

thông qua hoàn thiện giáo dục tư duy ở trường đào tạo, các hội nghị khoa học về nội dung này. Ngoài ra khuyến khích mở cửa nền kinh tế tạo cơ hội cho nhà quản trị trong nước tiếp cận với nhà quản trị các tập đoàn lớn trên thế giới, du học,... để tăng cường hội nhập cũng là một động thái tích cực để dần loại trừ những tư duy cũ ra khỏi thực tế quản trị tập đoàn hiện tại.

### Tài liệu tham khảo

- [1] Bộ Tài chính (2006), Chế độ kế toán, QĐ15/QĐ-BTC/2006; Luật chứng khoán số 70/2006/QH11, Luật chứng khoán sửa đổi số 62/2010/QH11. Thông tư 52/2012/TT - BTC.
- [2] Chính phủ (2012), QĐ252/QĐ-TTg/2012; *Phê duyệt chiến lược phát triển thị trường chứng khoán Việt Nam giai đoạn 2011 – 2020*.
- [3] Lê Thị Trúc Loan (2012), *Bàn về mối quan hệ giữa một số nhân tố thuộc đặc điểm doanh nghiệp và mức độ công bố thông tin của các doanh nghiệp niêm yết trên thị trường chứng khoán Việt Nam*, Kỷ yếu Hội thảo Khoa học Kế toán, kiểm toán trong quá trình cải cách và hội nhập, Trường Đại học Kinh tế, Đại học Đà Nẵng, (8/2012), pp 119 -127
- [4] Nguyễn Công Phương, Nguyễn Thị Thanh Phương (2014), *Các yếu tố ảnh hưởng đến mức độ công bố thông tin tài chính của các công ty niêm yết*, Tạp chí phát triển kinh tế, Số 287, pp 15 - 34.
- [5] Đoàn Nguyễn Trang Phương (2010), *Các yếu tố ảnh hưởng đến mức độ công bố thông tin của các công ty niêm yết trên thị trường chứng khoán Việt Nam*, Kỷ yếu Hội thảo khoa học 35 năm phát triển và hội nhập, Trường Đại học Kinh tế, ĐHQĐN, (9/2010), pp 210 -216.
- [6] Akhtarudin, M. (2005), Corporate Mandatory Disclosure Practises in Bangladesh, International Journal of Accounting, 40, tr.399-422.
- [7] Biddle, G.and G.Hilary (2006), Accounting quality and firm-level capital investment, The Accounting Review 81, pp 963-982.
- [8] Cooke, T. E. (1989), Disclosure in the corporate annual reports of Swedish companies, Accounting & Business Research, 19, pp. 113-124.
- [9] Mohammed Hossain and Helmi Hammami, 2009, Voluntary disclosure in the annual reports of an emerging country: the case of Qatar.
- [10] Naser, K.; Al-Khatib, K.; Karbhari, Y.,2002, Empirical evidence on the depth of corporate information disclosure in developing countries: The case of Jordan, International Journal of Commerce & Management; 2002; 12, 3/4.
- [11] Singhvi, S.S. (1968), Characteristics and implication of inadequate disclosure: A case study of India, The international journal of Accounting, 3(2), pp 29-44.
- [12] www.cophieu68.vnwww//Cophieu68.com; www.hsx.vn; www.ssc.gov.vn.

# Thực trạng phát triển hoạt động bảo hiểm liên kết đầu tư tại Việt Nam và một số giải pháp hoàn thiện

Current situation of the development of investment - linked insurance activities in Vietnam  
and some complete solutions

Huỳnh Thị Minh Duyên  
Minh Duyên Huynh Thi

*Khoa Tài chính ngân hàng, Trường Đại học Tài chính - Kế toán, Quảng Ngãi, Việt Nam  
Finance and Banking Department, University of Finance and Accountancy, Quangngai, Vietnam*

*(Ngày nhận bài: 01/08/2019, ngày phản biện xong: 28/08/2019, ngày chấp nhận đăng: 30/08/2019)*

## Tóm tắt

Thị trường bảo hiểm Việt Nam ngày càng khẳng định được vai trò quan trọng trong nền kinh tế, góp phần hỗ trợ cho các chính sách an sinh xã hội, đồng thời đây cũng là kênh huy động vốn hữu hiệu cho nền kinh tế. Trước đây các dòng sản phẩm bảo hiểm thuần bảo vệ luôn chiếm tỷ trọng lớn nhưng thời gian gần đây dòng sản phẩm đầu tư có xu hướng tăng. Vì vậy các công ty bảo hiểm nhân thọ đã nắm bắt xu hướng và cung cấp dòng sản phẩm bảo hiểm liên kết đầu tư để đáp ứng nhu cầu khách hàng. Sản phẩm bảo hiểm liên kết đầu tư (BHLKĐT) xuất hiện đầu tiên tại Việt Nam vào năm 2006 đã tạo ra bước ngoặt mới cho thị trường bảo hiểm nhân thọ (BHNT). Bài viết trên cơ sở nhận định, đánh giá thực trạng phát triển sản phẩm này trong thời gian qua để đưa ra một số đề xuất phát triển thị trường BHLKĐT trong tương lai.

*Từ khóa:* thị trường bảo hiểm, sản phẩm bảo hiểm, bảo hiểm nhân thọ, bảo hiểm liên kết đầu tư.

## Abstract

Vietnam insurance market is increasingly playing an important role in the economy, contributing to social security policies, and this is also an effective capital mobilization channel for the economy. Previously, pure insurance product lines always accounted for a large proportion, but recently the investment product line tends to increase. Therefore, life insurance companies have captured the trend and provided investment-linked insurance product lines to meet customer needs. The investment-linked insurance product (BHLKĐT) first appearing in Vietnam in 2006 has created a new turning point for the life insurance market (BHNT). This article is based on the assessment of the development situation of in the past time in order to give some suggestions to develop this market in the future.

*Keywords:* insurance market, insurance product, life insurance, investment-linked insurance.

## 1. Giới thiệu

Bảo hiểm là nhu cầu tất yếu của con người trong việc đối mặt với rủi ro. Ngày nay, khi đời sống dân được nâng cao thì ý thức và nhu cầu về bảo hiểm của người dân sẽ tăng lên, nhất là lĩnh vực bảo hiểm nhân thọ trong đó có sản phẩm

BHLKĐT. Vì điểm nổi bật của BHLKĐT là khả năng thỏa mãn hai nhu cầu của khách hàng, vừa được bảo vệ vừa được tham gia vào các quỹ đầu tư có sẵn nên đây được xem là tiềm năng để phát triển dòng sản phẩm này trong thời gian tới.



Tại Việt Nam, BHLKĐT bao gồm hai loại: Bảo hiểm liên kết chung (Universal Life Insurance) là loại bảo hiểm chỉ có một quỹ đầu tư duy nhất là quỹ liên kết chung được hình thành từ nguồn phí của các hợp đồng bảo hiểm; và bảo hiểm liên kết đơn vị (Unit-Linked Insurance) là loại bảo hiểm có tối thiểu 02 quỹ

đầu tư, mỗi quỹ có các chiến lược đầu tư khác nhau với độ rủi ro khác nhau để người mua bảo hiểm có thể lựa chọn quỹ đầu tư theo mức độ rủi ro của mình. Có thể nhận thấy được những điểm khác biệt giữa hai loại hình bảo hiểm liên kết chung và bảo hiểm liên kết đơn vị trong bảng so sánh dưới đây.

Bảng 1. So sánh sự khác biệt giữa bảo hiểm liên kết chung và bảo hiểm liên kết đơn vị

Bảo hiểm liên kết chung	Bảo hiểm liên kết đơn vị
Đầu tư vào các kênh lãi suất tốt và an toàn	Đầu tư vào các kênh lãi suất rất tốt
Khách hàng không được phép chọn quỹ đầu tư	Khách hàng được chọn quỹ đầu tư và chọn tỷ lệ
Cam kết chia lãi ở mức nhất định	Không cam kết chia lãi
Lãi suất tốt trung bình	Lãi suất tốt nhất

Sản phẩm BHLKĐT đầu tiên ra đời tại Việt Nam với tên gọi “*Kế hoạch tài chính trọn đời*” vào tháng 3/2006 do công ty bảo hiểm Chubb Life Việt Nam giới thiệu. Sau hơn 12 năm phát triển, BHLKĐT đã trở thành một trong những sản phẩm chủ lực của các doanh nghiệp BHNT và là cầu nối giữa thị trường bảo hiểm và thị trường chứng khoán. Đối với sản phẩm BHLKĐT cũng đã có một số bài báo của các tác giả nói về việc phát triển sản phẩm này, kinh nghiệm quốc tế và đề xuất cho Việt Nam [4]; phát triển BHLKĐT trên thị trường BHNT [6]; hay xu hướng phát triển BHLKĐT [7] nhưng chỉ dừng lại ở việc nêu ra lợi ích của sản phẩm, đánh giá thực trạng chung, kinh nghiệm và đề xuất cho thị trường Việt Nam.

Tuy nhiên, hiện nay sự phát triển của sản phẩm BHLKĐT đang nghiêng về sản phẩm bảo hiểm liên kết chung. Sản phẩm này chiếm ưu thế hơn so với sản phẩm bảo hiểm liên kết đơn vị. Vì sao lại như vậy? Qua bài báo này tác giả sẽ làm rõ vấn đề này, đồng thời cập nhật thực trạng phát

triển hoạt động BHLKĐT tại Việt Nam. Từ đó sẽ có những phân tích, đánh giá tổng quan về thị trường bảo hiểm nhân thọ nói chung và đề xuất một số giải pháp phát triển hoạt động BHLKĐT trong thời gian tới.

## 2. Thực trạng phát triển hoạt động BHLKĐT tại Việt Nam

### 2.1. Phương pháp nghiên cứu

Trong bài báo này, tác giả sử dụng phương pháp thống kê, mô tả, phân tích, tổng hợp, so sánh, thu thập số liệu, tài liệu từ niên giám bảo hiểm, công ty, sách báo, website.

### 2.2. Thực trạng phát triển hoạt động BHLKĐT tại Việt Nam giai đoạn 2015 - 2018

Kể từ khi ra đời, sản phẩm BHLKĐT đã có sự tăng trưởng mạnh mẽ thể hiện trên cả 3 chỉ tiêu: Số hợp đồng bảo hiểm khai thác mới, số tiền đã chi trả bảo hiểm và số phí bảo hiểm, khiến cho tỷ trọng đóng góp của BHLKĐT trong lĩnh vực BHNT ngày càng tăng.

Bảng 2. Sự tăng trưởng của BHLKĐT giai đoạn 2015 - 2018

BH Liên kết đầu tư	Năm 2015	Năm 2016	Năm 2017	Năm 2018
Hợp đồng bảo hiểm (Hợp đồng)	460.763	634.970	831.199	1.097.183
Số tiền bảo hiểm (Tỷ đồng)	205.115	302.163	443.931	652.579
Phí bảo hiểm (Tỷ đồng)	5.772	8.880	11.288	14.562

(Nguồn: Tổng hợp từ niên giám bảo hiểm qua các năm)

Năm 2015, tỷ trọng số hợp đồng bảo hiểm mới chiếm 35,6%; tỷ trọng số tiền bảo hiểm đã chi trả cho người mua bảo hiểm chiếm gần 67%; tỷ trọng doanh thu phí bảo hiểm chiếm 47,41% trong các nghiệp vụ của BHNT.

Tính đến 31/12/2016, thị trường bảo hiểm có 63 doanh nghiệp kinh doanh bảo hiểm (trong đó có 30 doanh nghiệp bảo hiểm (DNBH) phi nhân thọ, 18 DNBH nhân thọ, 02 DN tái bảo hiểm và 13 DN môi giới bảo hiểm và 01 chi nhánh DNBH phi nhân thọ nước ngoài. Theo số liệu của Cục Quản lý Giám sát bảo hiểm (Bộ Tài chính), trong năm 2016, số lượng hợp đồng khai thác mới (hợp đồng bảo hiểm chính) ước đạt 1.617.402 hợp đồng, tăng 14,46% so với cùng kỳ năm 2015. Trong đó, sản phẩm bảo hiểm hỗn hợp chiếm tỷ trọng lớn nhất (ước đạt 40%), tiếp đến là sản phẩm BHLKĐT (ước đạt 36,8%) và bảo hiểm tử kỳ (ước đạt 12,6%). Năm 2016, doanh thu phí khai thác mới ước đạt 16.753 tỷ đồng (bao gồm cả sản phẩm chính và bổ trợ), tăng 26,3% so với cùng kỳ năm 2015. Nghiệp vụ chiếm tỷ trọng lớn là BHLKĐT, với doanh thu phí khai thác mới ước đạt 7.604 tỷ đồng (chiếm tỷ trọng 50%) và bảo hiểm hỗn hợp với doanh thu phí khai thác mới ước đạt 6.806 tỷ đồng (chiếm tỷ trọng 45%), cao hơn rất nhiều so với các nghiệp vụ bảo hiểm khác như nghiệp vụ bảo hiểm hưu trí (ước đạt 87 tỷ đồng, chiếm tỷ trọng 0,6%). Đến cuối năm 2016, đã có 16/18 DNBH nhân thọ triển khai nghiệp vụ bảo hiểm liên kết chung như: Bảo Việt, Manulife, Chubb, Dai-ichi, AIA, Hanwha và Sun Life có tỷ trọng doanh thu phí bảo hiểm liên kết chung lớn trên tổng doanh thu phí khai thác mới. Tổng doanh thu phí bảo hiểm nhân thọ năm 2016 ước đạt 49.677 tỷ đồng (tăng 29,8% so với năm 2015), trong đó tỷ trọng doanh thu phí bảo hiểm hỗn hợp vẫn chiếm tỷ trọng cao nhất với khoảng 49%; tiếp đến là BHLKĐT với 40%; bảo hiểm tử kỳ 0,7%; bảo hiểm hưu trí 0,6%; các nghiệp vụ còn lại chiếm tỷ trọng không đáng kể. Số lượng hợp

đồng có hiệu lực (theo hợp đồng chính) ước đạt 6.833.677 hợp đồng; tăng 17,6% so với cùng kỳ năm trước. Trong đó, sản phẩm bảo hiểm hỗn hợp chiếm tỷ trọng đa số (58,3%); tiếp đến là sản phẩm liên kết đầu tư (32,9%); sản phẩm tử kỳ (7,2%); sản phẩm hưu trí (0,4%); các sản phẩm còn lại chiếm 1,1%. Trong dòng sản phẩm BHLKĐT, bảo hiểm liên kết chung hiện chiếm ưu thế rõ rệt so với bảo hiểm liên kết đơn vị. Tính đến ngày 31/12/2016, tổng giá trị của các quỹ liên kết chung trên toàn thị trường là 33.492 tỷ đồng. Trong đó, giá trị quỹ liên kết chung của Bảo Việt Nhân thọ là lớn nhất đạt 13.924 tỷ đồng, chiếm 41,57%; Chubb Life đứng ở vị trí thứ 2 đạt 5.120 tỷ đồng, chiếm 15,29%; tiếp đến là AIA đạt 4.354 tỷ đồng, chiếm 13%. Hầu hết các quỹ liên kết chung đều chọn trái phiếu Chính phủ, trái phiếu được Chính phủ bảo lãnh và tiền gửi ngân hàng để đầu tư tài sản quỹ, ít đầu tư vào cổ phiếu và trái phiếu doanh nghiệp vì tính rủi ro cao. Năm 2016, thu nhập từ lãi trái phiếu của các quỹ BHLK chung có giá trị quỹ trên 1.000 tỷ đồng, chiếm trung bình trên 90% tổng thu nhập từ hoạt động đầu tư, cho thấy vai trò rất lớn của các quỹ này đối với thị trường trái phiếu Chính phủ. Trong khi đó, hiện chỉ có 3 doanh nghiệp BHNT triển khai sản phẩm BHLK đơn vị là Prudential, Manulife và Dai-ichi với 14 quỹ đầu tư có mục tiêu, cơ cấu đầu tư khác nhau: sản phẩm “Phú Bảo Gia Thịnh Vượng” của Prudential có 6 quỹ liên kết đơn vị; sản phẩm “Phúc Lộc Thịnh Vượng” của Manulife với 3 quỹ; sản phẩm “An Thịnh Đầu Tư” của Dai-ichi có 5 quỹ. Năm 2016, quỹ liên kết đơn vị của Prudential có doanh thu lớn nhất 278,4 tỷ đồng; trong đó doanh thu của Quỹ cổ phiếu Việt Nam có mức sinh lời cao nhất 176,1 tỷ đồng chiếm 63,3% doanh thu của các quỹ liên kết đơn vị tại Prudential. Các quỹ của Manulife có thu nhập 157,4 tỷ đồng; trong đó quỹ tăng trưởng đầu tư vào cổ phiếu có mức sinh lời cao nhất 78,3 tỷ đồng. Các quỹ liên kết đơn vị

của Dai-ichi có tổng thu nhập là 33,6 tỷ đồng; chiếm tỷ trọng lớn trong đó là thu nhập từ quỹ phát triển và quỹ tăng trưởng. So với các quỹ BHLK chung, các quỹ BHLK đơn vị đã đầu tư mạnh mẽ hơn vào các cổ phiếu niêm yết và đạt được mức sinh lời khá tốt. Các cổ phiếu được lựa chọn đầu tư là các “blue chips” (cổ phiếu thượng hạng) trên thị trường như VNM, VCB, VIC, GAS, HPG, FPT... Trong đó cổ phiếu của VNM là một trong số những cổ phiếu tốt nhất thị trường chứng khoán (TTCK) được các quỹ bảo hiểm đầu tư với tỷ lệ lớn: 13,4% tại các quỹ liên kết đơn vị Dai-ichi; 14,4% tại các quỹ liên kết đơn vị tại Prudential; trung bình khoảng 12% tại các quỹ liên kết đơn vị Manulife, cho thấy hoạt động đầu tư của các quỹ này đã góp phần quan trọng thúc đẩy thanh khoản trên TTCK.

Trong năm 2017, số lượng hợp đồng khai thác mới của các sản phẩm bảo hiểm chính đạt 1.964.262 hợp đồng; tăng 27,64% so với năm 2016. Tổng doanh thu phí bảo hiểm các hợp đồng khai thác mới đạt 22.552 tỷ đồng; tăng 28,88% so với năm 2016. Về thị phần doanh thu phí bảo hiểm khai thác mới (bao gồm cả bảo hiểm bổ trợ), Bảo Việt nhân thọ chiếm 20,60%; Prudential chiếm tỷ trọng 18,34%; Dai-ichi chiếm 16,11%; Manulife chiếm 13,75%; AIA chiếm 10,50%; Generali chiếm 4,8%; Chubb chiếm 4,45%; 11 doanh nghiệp BHNT còn lại chiếm thị phần 11,44%. Phí bảo hiểm khai thác mới của nghiệp vụ bảo hiểm liên kết đầu tư chiếm tỷ trọng lớn nhất 55,88% tổng phí khai thác mới toàn thị trường, tiếp theo là nghiệp vụ BH hỗn hợp chiếm 38,79% tổng phí khai thác mới, đứng thứ ba là nghiệp vụ bảo hiểm tử kỳ chiếm 2,1% tổng phí khai thác mới. Số tiền BH của các hợp đồng khai thác mới của nghiệp vụ BHLKĐT đứng đầu chiếm 76,58% số tiền BH toàn thị trường; tiếp đến là nghiệp vụ BH hỗn hợp chiếm 14,38%; thứ ba là nghiệp vụ BH tử kỳ chiếm 5,61%.

Trong năm 2018, tổng doanh thu phí bảo hiểm khai thác mới đạt 20.835 tỷ đồng; tăng 35,88%

so với cùng kỳ năm trước. Thị phần doanh thu phí BH khai thác mới như sau: Bảo Việt nhân thọ (18,62%); Dai-ichi (18,17%); Prudential (16,08%); Manulife (14,49%); AIA (9,8%); MB Ageas (3,67%); Chubb (3,65%); Generali (3,49%); Hanwha (2,7%); Aviva (1,95%); FWD (1,8%); BIDV MetLife (1,33%) và Cathay (1,12%); 5 doanh nghiệp còn lại chiếm thị phần 3,13%. Nghiệp vụ BHLKĐT chiếm tỷ trọng lớn nhất, đạt 60,01% doanh thu phí khai thác mới. Tiếp đến là BH hỗn hợp chiếm tỷ trọng 24,91%; BH tử kỳ chiếm tỷ trọng 2,78%; BH hưu trí chiếm tỷ trọng 0,54%; các nghiệp vụ còn lại chiếm 9,85%. So với cùng kỳ năm ngoái, doanh thu khai thác mới của nghiệp vụ BHLKĐT tăng 59,76%; nghiệp vụ BH hỗn hợp giảm 2,37%; nghiệp vụ BH tử kỳ tăng 91,84%. Về số lượng hợp đồng khai thác mới, năm 2018 đạt 1.667.912 hợp đồng, dẫn đầu là nghiệp vụ BHLKĐT với 807.277 hợp đồng (chiếm tỷ trọng 48,4%), tăng trưởng 38,84% so với cùng kỳ năm 2017; kế tiếp là BH tử kỳ với 430.968 hợp đồng BH cá nhân và thành viên trong nhóm (chiếm tỷ trọng 25,84%), tăng trưởng 70,64% so với cùng kỳ năm 2017; nghiệp vụ BH hỗn hợp là 400.051 hợp đồng (chiếm tỷ trọng 23,99%), giảm 17,86% so với cùng kỳ năm 2017. Số lượng hợp đồng khai thác mới các nghiệp vụ còn lại chiếm tỷ trọng 1,78%; tăng 110,5% so với cùng kỳ năm 2017. Số lượng hợp đồng có hiệu lực (hợp đồng chính) đạt 8.468.927 hợp đồng, tăng 14,67% so với cùng kỳ năm 2017. Tổng doanh thu phí bảo hiểm nhân thọ đạt 59.843 tỷ đồng tăng 32,81% so với cùng kỳ năm 2017. Tính doanh thu phí theo từng nghiệp vụ thì nghiệp vụ BHLKĐT chiếm tỷ trọng lớn nhất là 49,51%; tiếp theo là nghiệp vụ BH hỗn hợp 38,83%. Thị phần tổng doanh thu phí BH cụ thể như sau: Bảo Việt nhân thọ (25,9%); Prudential (21,8%); Dai-ichi (13,4%); Manulife (12,9%); AIA (9,9%); Chubb (3,5%); Generali (2,6%); Hanwha (2,5%); Aviva (1,4%); MB Ageas (1,3%); các DN còn lại chiếm thị phần nhỏ dưới 1%.

Bảng 3. So sánh thị trường bảo hiểm Việt Nam từ 2016 - 2018

	Năm 2016	Năm 2017	Năm 2018
<b>1. Số lượng các DNBH</b>			
DNBH phi nhân thọ	30	30	30
DNBH nhân thọ	18	18	18
DN tái bảo hiểm	2	2	2
DN môi giới bảo hiểm	13	14	14
<b>Tổng cộng</b>	<b>63</b>	<b>64</b>	<b>64</b>
<b>2. Năng lực tài chính ngành BH</b>			
Tổng tài sản (tỷ đồng)	248.247	316.300	378.285
Tổng dự phòng nghiệp vụ (tỷ đồng)	146.524	189.248	236.876
Doanh thu phí BH (tỷ đồng)	87.364	107.821	113.020
Bồi thường và trả tiền BH (tỷ đồng)	25.609	31.904	39.880
<b>3. Đầu tư trở lại nền kinh tế (tỷ đồng)</b>	<b>198.150</b>	<b>247.815</b>	<b>299.798</b>

(Nguồn: Cục quản lý giám sát bảo hiểm)

Như vậy, có thể thấy qua ba năm, BHLKĐT tăng trưởng vượt bậc về số lượng hợp đồng, số tiền đã chi trả bảo hiểm và số phí bảo hiểm. Tuy nhiên, tại Việt Nam hiện nay, sự phát triển của sản phẩm BHLKĐT chủ yếu là sản phẩm bảo hiểm liên kết chung, có 17/18 công ty BHNT cung cấp các sản phẩm BHLK chung, đầu tư vào trái phiếu Chính phủ, tiền gửi ngân hàng với tỷ trọng trên 85%. Với yêu cầu đặc thù của hoạt động kinh doanh bảo hiểm là luôn phải bảo đảm năng lực tài chính nhằm đáp ứng cam kết dài hạn của các hợp đồng bảo hiểm (đặc biệt trong lĩnh vực bảo hiểm nhân thọ), các DNBH luôn ưu tiên lựa chọn các tài sản tài chính có tính an toàn cao và thời hạn dài. Do đó việc lựa chọn trái phiếu Chính phủ và tiền gửi ngân hàng là những công cụ đầu tư có tính thanh khoản cao để đáp ứng kịp thời nhu cầu thanh toán thường xuyên. Hơn nữa, theo Nghị định 73/2016/NĐ-CP đầu tư vốn nhân rồi từ dự phòng nghiệp vụ bảo hiểm đối với doanh nghiệp BHNT thì: Mua trái phiếu Chính phủ, gửi tiền tại các tổ chức tín dụng không hạn chế; còn mua cổ phiếu, trái phiếu doanh nghiệp, chứng chỉ quỹ tối đa 50%; kinh doanh bất động sản tối đa 20% vốn nhân rồi từ dự phòng nghiệp vụ bảo hiểm. Do vậy mà hiệu quả đầu tư còn khiêm tốn.

Trong khi đó, chỉ có 4 công ty BHNT kinh doanh sản phẩm BHLK đơn vị. Đó là: Prudential

với sản phẩm “Pru - Đầu tư linh hoạt”, AIA với sản phẩm “InvestA”, Manulife với sản phẩm “Điểm tựa đầu tư”, Dai-ichi với sản phẩm “An thịnh đầu tư”. Như vậy, còn tương đối ít sản phẩm BHLK đơn vị để người dân lựa chọn và tính rủi ro khi đầu tư vào cổ phiếu, trái phiếu doanh nghiệp cao hơn nên người dân còn e dè trong việc lựa chọn sản phẩm này. Vì vậy, trong thời gian tới sự phát triển của sản phẩm BHLK đơn vị sẽ mở ra hướng đầu tư đa dạng cho các DNBH, tạo ra lợi nhuận tiềm năng hơn như cổ phiếu, chứng chỉ quỹ, hay các công cụ phái sinh.

### 2.3. Thực trạng cơ sở pháp lý cho hoạt động BHLKĐT

Để thúc đẩy hoạt động BHLKĐT ngày càng phát triển thì các bên tham gia bảo hiểm cũng đóng vai trò rất quan trọng, nhất là người tham gia môi giới, đại lý bảo hiểm. Tuy nhiên cơ sở pháp lý cho các tổ chức, cá nhân tham gia hoạt động BHLKĐT vẫn còn một số hạn chế nhất định. Chẳng hạn, trước đây, theo Nghị định 67/2014/NĐ-CP thì đại lý bảo hiểm bán bảo hiểm liên kết đơn vị phải đáp ứng các điều kiện: i) Được DNBH đào tạo và chứng nhận hoàn thành khóa học về sản phẩm bảo hiểm liên kết đơn vị; ii) Đáp ứng một trong các điều kiện kinh nghiệm: có ít nhất 01 năm kinh nghiệm hoạt động đại lý bảo hiểm liên tục; hoặc có ít nhất 06 tháng



kinh nghiệm làm việc liên tục trong lĩnh vực tài chính, ngân hàng, bảo hiểm và có chứng chỉ chuyên môn về chứng khoán do Ủy ban chứng khoán nhà nước cấp; hoặc có ít nhất 06 tháng kinh nghiệm hoạt động đại lý bảo hiểm liên tục và có bằng tốt nghiệp từ cao đẳng trở lên trong lĩnh vực tài chính, ngân hàng, bảo hiểm. Đối với đại lý bảo hiểm bán BHLK chung phải đáp ứng các điều kiện: i) Được DNBH đào tạo và chứng nhận hoàn thành khóa học về sản phẩm BHLK chung; ii) Có ít nhất 03 tháng kinh nghiệm hoạt động đại lý bảo hiểm hoặc đã có ít nhất 01 năm làm việc trong lĩnh vực tài chính, ngân hàng, bảo hiểm hoặc đã tốt nghiệp từ cao đẳng trở lên trong lĩnh vực tài chính, ngân hàng, bảo hiểm.

Chính những quy định này đã hạn chế số lượng đại lý tham gia BHLKĐT. Do đó, theo quy định mới tại khoản đ, mục 2, Điều 11, Nghị định 151/2018/NĐ/CP của Chính phủ về sửa đổi bổ sung một số nghị định, quy định về điều kiện đầu tư, kinh doanh thuộc phạm vi quản lý nhà nước của Bộ Tài chính, đại lý bảo hiểm bán BHLK đơn vị, BHLK chung chỉ cần được doanh nghiệp bảo hiểm đào tạo và chứng nhận hoàn thành khóa học về sản phẩm BHLK đơn vị hoặc BHLK chung. Nhân viên môi giới bảo hiểm sẽ không phải đáp ứng một trong các điều kiện: Có ít nhất 01 năm kinh nghiệm hoạt động đại lý bảo hiểm liên tục; hoặc có ít nhất 06 tháng kinh nghiệm làm việc liên tục trong lĩnh vực tài chính, ngân hàng, bảo hiểm và có chứng chỉ chuyên môn về chứng khoán do Ủy ban Chứng khoán Nhà nước cấp; hoặc có ít nhất 06 tháng kinh nghiệm hoạt động đại lý bảo hiểm liên tục và có bằng tốt nghiệp từ cao đẳng trở lên trong lĩnh vực tài chính, ngân hàng, bảo hiểm như quy định tại Điều 86 của Nghị định 73/2016/NĐ-CP. Việc bãi bỏ điều kiện về kinh nghiệm bán bảo hiểm là điều kiện rất tốt để các doanh nghiệp BHNT tiếp tục phát triển các dòng sản phẩm BHLKĐT.

Bên cạnh đó, việc thực hiện Quyết định số 35/2015/QĐ-TTg ngày 20/8/2015 của Thủ

tướng Chính phủ sửa đổi, bổ sung Quyết định số 02/2012/QĐ-TTg ban hành danh mục hàng hóa, dịch vụ thiết yếu phải đăng ký hợp đồng theo mẫu, điều kiện giao dịch chung, trong đó bổ sung “Bảo hiểm nhân thọ” thuộc danh mục hàng hóa, dịch vụ thiết yếu phải đăng ký hợp đồng theo mẫu, điều kiện giao dịch chung dẫn đến sự chông chéo về thẩm quyền giữa Bộ Tài chính và Bộ Công thương, khó áp dụng trên thực tiễn. Do đó, cần sửa đổi quy định của pháp luật để tránh chông chéo về thẩm quyền giữa Bộ Tài chính và Bộ Công thương, đảm bảo việc phê chuẩn sản phẩm BHNT và đăng ký hợp đồng theo mẫu theo hướng liên thông một cửa.

#### **2.4. Thực trạng quản lý, giám sát hoạt động bảo hiểm từ phía các cơ quan chức năng**

Để phát triển loại hình BHLKĐT, mang lại lợi ích cho người mua bảo hiểm, cơ quan quản lý đóng vai trò quan trọng trong việc tạo lập khuôn khổ pháp lý để khuyến khích các DNBH triển khai loại hình bảo hiểm này và thực hiện công tác quản lý giám sát đảm bảo DNBH phát triển an toàn hiệu quả, bảo vệ quyền lợi của người tham gia bảo hiểm.

Theo quy định hiện hành, Việt Nam đang áp dụng 03 phương thức quản lý, giám sát sản phẩm bảo hiểm gồm: Ban hành quy tắc, điều khoản, biểu phí để áp dụng thống nhất; phê chuẩn sản phẩm; đăng ký sản phẩm trước khi triển khai. Bộ Tài chính là cơ quan phê chuẩn quy tắc, điều khoản và biểu phí đối với các sản phẩm thuộc nghiệp vụ bảo hiểm nhân thọ. Việc Bộ Tài chính phê chuẩn quy tắc, điều khoản, biểu phí sẽ đảm bảo rõ ràng khi thực hiện hợp đồng bảo hiểm, tránh các quy định khó hiểu, phức tạp, dễ gây nhiều cách hiểu khác nhau nhằm tránh trục lợi bảo hiểm từ cả phía DNBH và người tham gia bảo hiểm.

Hiện nay, các cơ quan quản lý, giám sát bảo hiểm thực hiện giám sát các DNBH theo 02 phương thức: Giám sát từ xa và kiểm tra tại chỗ. Tuy nhiên, một số quy định như: Mục tiêu giám



sát còn chung chung, chưa đề cập riêng đến mục tiêu ngăn ngừa trục lợi bảo hiểm; chưa chú trọng đến mô hình giám sát nội bộ mà DNBH cần phải xây dựng để đánh giá khả năng thanh toán và quản lý của DNBH nhằm đảm bảo an toàn trong hoạt động kinh doanh, tránh trục lợi bảo hiểm. Mặt khác, hệ thống phần mềm quản lý giám sát còn khá thô sơ, chưa cập nhật được các dữ liệu lịch sử về các vụ việc trục lợi bảo hiểm để giám sát, ngăn chặn. Vì vậy, cần phải hoàn thiện quy định về nội dung giám sát, nhất là quy định về mô hình giám sát nội, giúp ngăn ngừa và hạn chế trục lợi bảo hiểm. Theo đó, cần có tiêu chí rõ ràng, nhất quán và có thể định lượng được nhằm phản ánh chính xác tình hình của DNBH, tránh trục lợi bảo hiểm. Ngoài ra, cần phải bổ sung quy định cơ quan quản lý nhà nước phải có hệ thống công nghệ thông tin đảm bảo kết nối với DNBH để thực hiện tốt chức năng giám sát, ngăn ngừa vi phạm.

Bên cạnh đó, pháp luật mới có quy định về việc cấp phép thành lập doanh nghiệp môi giới bảo hiểm nhưng còn bỏ ngỏ đối với đại lý bảo hiểm là tổ chức và các đơn vị thực hiện dịch vụ phụ trợ cho hoạt động kinh doanh bảo hiểm (ví dụ: Đơn vị giám định). Đây là những chủ thể đóng vai trò khá quan trọng, vì tư vấn của đại lý bảo hiểm hay kết luận giám định của các đơn vị giám định rất có ý nghĩa trong việc tham gia bảo hiểm cũng như bồi thường bảo hiểm.

### **2.5. Thực trạng kinh doanh sản phẩm BHLKĐT tại Việt Nam**

Đối với các DNBH, việc triển khai bảo hiểm liên kết đầu tư giúp DN đa dạng hóa sản phẩm, đáp ứng nhu cầu bảo hiểm kết hợp yếu tố đầu tư, góp phần thu hút khách hàng.

Để đáp ứng mục tiêu duy trì khả năng thanh toán và nâng cao khả năng sinh lợi thì các công ty bảo hiểm cần đa dạng hoá danh mục đầu tư nhằm phân tán và giảm thiểu rủi ro, đồng thời có chiến lược đầu tư thích hợp với quy mô doanh nghiệp.

Hiện nay các khoản cho vay có thể chấp của DNBH chủ yếu đảm bảo bằng bất động sản. Ngoài ra, các khoản vay theo đơn BHNT ngày càng gia tăng. Đây cũng là một hình thức thu hút thêm khách hàng, được các DNBH sử dụng như hình thức cạnh tranh.

Việc đầu tư chứng khoán cũng được các DNBH sử dụng rộng rãi, nhất là các loại chứng khoán có tính thanh khoản cao như trái phiếu Chính phủ, cổ phiếu. Mặc dù có đa dạng hoá danh mục đầu tư nhưng các DNBH vẫn chủ yếu đầu tư vào tiền gửi ngân hàng, trái phiếu Chính phủ (trên 85%), trong khi đó đầu tư vào chứng khoán công ty, bất động sản, cho vay và góp vốn với các cơ sở đầu tư khác ở mức khá thấp. Do đó, tỷ suất lợi nhuận tài sản đầu tư của DNBH còn khiêm tốn. Điều này làm hạn chế khả năng cạnh tranh của các sản phẩm BHNT so với các sản phẩm tài chính khác trên thị trường.

### **2.6. Thực trạng năng lực cạnh tranh của DNBH**

Năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp là thực lực và lợi thế mà doanh nghiệp có thể huy động để duy trì và cải thiện vị trí của nó so với các đối thủ cạnh tranh trên thị trường một cách lâu dài, nhằm đem lại lợi ích ngày càng cao cho doanh nghiệp. Vì vậy để nâng cao năng lực cạnh tranh của mình, hiện nay các DN BHNT thường áp dụng: Nâng cao năng lực tài chính; đổi mới, nghiên cứu sản phẩm mới đáp ứng yêu cầu thị trường; đổi mới, cải tiến công nghệ quản lý, ứng dụng thương mại điện tử trong giao dịch với khách hàng, đa dạng hoá kênh phân phối; đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao, am hiểu thị trường bảo hiểm; xây dựng hệ thống quản trị DN tiên tiến.

Trong đó, có thể thấy vốn điều lệ là chỉ số thể hiện năng lực tài chính của DNBHNT, là nền tảng để DNBH đầu tư vào phát triển sản phẩm, hệ thống chăm sóc khách hàng hay bổ sung quỹ dự phòng rủi ro.

Bảng 4. Bảng xếp hạng công ty Bảo hiểm nhân thọ theo Vốn điều lệ

(Cập nhật 10/05/2019)

STT	Công ty BHNT	Năm thành lập	Vốn điều lệ (tỷ đồng)
1	Manulife Việt Nam	12/06/1999	9.695
2	Dai - ichi life	18/01/2007	7.700
3	Hanwha Life Việt Nam	12/06/2008	4.891
4	Generali	20/04/2011	4.692
5	Prudential Việt Nam	01/11/1999	4.128
6	Cathay Life	21/11/2007	3.343
7	AIA	17/04/2000	3.244
8	FWD	29/11/2016	2.811
9	Aviva Việt Nam	29/07/2011	2.557
10	Bảo Việt Nhân Thọ	02/6/1996	2.500
11	Sun Life	24/01/2013	1.870
12	Chubb Life VN	04/05/2005	1.550
13	MB Ageas Life	21/07/2016	1.500
14	Fubon Việt Nam	01/07/2008	1.400
15	Mirare Asset Prévoir	17/03/2005	1.079
16	Phú Hưng Life	30/08/2013	1.058
17	BIDV Metlife	21/07/2014	1.000
18	Vietcombank - Cardif (VCLI)	23/10/2008	600

(Nguồn: wikitaichinh.com)

Ngoài ra, chỉ tiêu doanh thu khai thác mới AFYP (phí bảo hiểm quy năm) sử dụng để đánh giá năng lực hoạt động và khả năng cạnh tranh của doanh nghiệp bảo hiểm trên thị trường trong thời điểm hiện tại.

Bảng 5. Bảng xếp hạng các công ty BHNT theo doanh thu phí bảo hiểm khai thác mới (AFQP)

Quý 1/2019

STT	Công ty BHNT	AFYP Quý 1/2009 (tỷ đồng)
1	Manulife Việt Nam	1.141
2	Bảo Việt Nhân Thọ	1.101
3	Dai - ichi Life	916
4	Prudential Việt Nam	893
5	AIA	748
6	Generali	283
7	MB Ageas Life	233
8	Hanwha Life Việt Nam	205
9	Chubb Life VN	200
10	FWD	163
11	Aviva Việt Nam	107
12	Cathay Life	94

13	Sun Life	88
14	Phú Hưng Life	66
15	Vietcombank - Cardif (VCLI)	59
16	Mirare Asset Prévoir	41
17	BIDV Metlife	31
18	Fubon Việt Nam	7

(Nguồn: wikitaichinh.com)

Hơn nữa, việc nghiên cứu và phát triển sản phẩm mới cũng là vấn đề chú trọng của DNBH trong thời gian tới. Xã hội ngày càng phát triển, người dân trở nên quan tâm hơn đến vấn đề sức khỏe và bảo vệ quyền lợi bản thân thì việc cho ra đời các sản phẩm mới, nhất là sản phẩm hội tụ các yếu tố quan trọng trong việc lập kế hoạch tài chính cá nhân là bảo vệ, tiết kiệm và đầu tư luôn được chú ý, đáp ứng kịp thời nhu cầu khách hàng. Trong khảo sát người dùng bảo hiểm của Vietnam Report (2018), đa số (63,6% người phản hồi) đều thống nhất việc công ty liên tục nghiên cứu và phát triển các sản phẩm mới cho nhiều đối tượng khách hàng khác nhau là yếu tố quyết định uy tín của công ty bảo hiểm trên truyền thông.

Bên cạnh đó, để sản phẩm tiếp cận gần hơn với khách hàng, các DNBH hiện đang đẩy mạnh việc mở rộng mạng lưới. Không chỉ phát triển mạng lưới thông qua thành lập các chi nhánh, văn phòng; các doanh nghiệp còn đẩy mạnh các kênh phân phối mới như bancassurance (kênh bán bảo hiểm qua ngân hàng), bán hàng trực tuyến, mạng xã hội... và mở rộng hợp tác bán chéo sản phẩm với các đối tác như hiệp hội, các công ty fintech, các công ty dịch vụ chăm sóc sức khỏe. Thời gian qua, có một số thương vụ lớn trên thị trường như hợp tác chiến lược giữa Manulife và Techcombank, Aviva Việt Nam bắt tay với Vietinbank hay thỏa thuận độc quyền 15 năm giữa AIA và VPBank... Kênh bancassurance tại Việt Nam trong hai năm qua đã có những chuyển biến vượt bậc, trở thành kênh phân phối quan trọng thứ hai trên thị trường bảo hiểm, sau kênh đại lý truyền thống.

### 3. Kết luận

Bên cạnh những kết quả mà hoạt động BHLKĐT đã đạt được trong thời gian qua, vẫn còn một số nguyên nhân ảnh hưởng đến hoạt động phát triển sản phẩm cần cải thiện và khắc phục như sau:

*Thứ nhất*, TTCK Việt Nam chưa phát triển đến mức là nền tảng cho sự ra đời của loại hình BHLKĐT. Số lượng cổ phiếu, chứng chỉ quỹ niêm yết tăng nhanh nhưng chưa thật sự đa dạng và phong phú, hiện vẫn còn thiếu các loại quỹ đầu tư, nhất là quỹ đầu tư ủy thác. Bên cạnh đó, hiểu biết của người dân về tài chính, chứng khoán, và đầu tư có bài bản còn rất ít, tập trung chủ yếu ở các thành phố, đô thị lớn. Vì vậy “khách hàng tiềm năng” của loại hình bảo hiểm này còn hạn chế. Hơn nữa, “niềm tin” về TTCK bị sụt giảm nghiêm trọng do thời gian qua thị trường phát triển khá âm ảm. Đây là rào cản rất lớn cho việc triển khai dòng sản phẩm này.

*Thứ hai*, áp lực cạnh tranh lớn từ các định chế tài chính khác như công ty chứng khoán, quỹ đầu tư, ngân hàng đầu tư..., với sản phẩm đa dạng, tiện lợi và hấp dẫn hơn.

*Thứ ba*, yếu tố tâm lý của khách hàng vì nhiều người còn suy nghĩ tham gia bảo hiểm sẽ mất khoản phí và phí bảo hiểm được đưa vào khoản mục “bị mất, bị lỗ” trong hiện tại, và vì vậy tạo ra tâm lý “định giá thấp” những khoản “lời”, tức những khoản chi trả nhận được trong tương lai (cho cả hai trường hợp có xảy ra rủi ro cho họ và họ được bồi thường, hay trong trường hợp hợp đồng đáo hạn). Đánh giá cao những điều bị mất trong hiện tại, và đánh giá thấp thu nhập từ tương lai do việc phân tích các dòng tiền này khiến cho bảo hiểm nhân thọ (dù có yếu tố đầu tư) có vị thế thấp hơn các loại hình đầu tư thuần túy khác.

Tuy nhiên, trong tương lai khi khả năng tích lũy của người dân tăng lên và các kênh đầu tư khác trở nên bão hòa với rủi ro cao hơn thì BHLKĐT thời gian tới sẽ trở nên sôi động và dần trở thành kênh đầu tư được người dân tin tưởng lựa chọn, phù hợp với xu hướng của thị trường tài chính thế giới.

### 4. Kiến nghị

Trong thời gian tới, để phát triển hoạt động BHLKĐT, cần tập trung vào các vấn đề sau:

*Đối với cơ quan quản lý, giám sát bảo hiểm*

Tiếp tục hoàn thiện khung pháp lý nhằm quản lý hoạt động liên kết đầu tư trên thị trường bảo hiểm nhân thọ, tránh sự chồng chéo về thẩm quyền giữa các cơ quan quản lý, giảm thiểu thủ tục hành chính, hướng đến liên thông một cửa.

Tăng cường kiểm tra, giám sát hoạt động liên kết đầu tư trên thị trường bảo hiểm nhân thọ. Đặc biệt, chú trọng các vấn đề như: chi trả quyền lợi bảo hiểm theo thỏa thuận tại hợp đồng bảo hiểm, chấp hành theo quy định về việc tách quỹ chia lãi, chia lãi cho chủ hợp đồng, hạch toán doanh thu và chi phí đúng quy định... Thông qua hoạt động thanh tra, kiểm tra cũng giúp phát hiện ra những bất cập, vướng mắc trong cơ chế, chính sách để sửa đổi, bổ sung từ đó môi trường pháp lý ngày càng hoàn thiện hơn.

*Đối với doanh nghiệp bảo hiểm*

BHLKĐT không chỉ là sản phẩm thuần túy bảo vệ cho khách hàng, mà còn giúp họ xác định đúng nhu cầu, đạt được mục tiêu tài chính. Do đó, cần nghiên cứu hoàn thiện và bổ sung thêm các lợi ích, tính năng mới từ sản phẩm BHLKĐT như: Có thể được linh hoạt thay đổi hạn mức đầu tư giữa các quỹ; cho phép khách hàng có thể tự chọn một quỹ hoặc phối hợp giữa các quỹ để tự tạo danh mục đầu tư phù hợp với kỳ vọng lợi nhuận và khả năng chấp nhận rủi ro của mình; tạo ra nhiều cơ hội đầu tư sinh lời hấp dẫn cùng quyền lợi bảo hiểm khi xảy ra rủi ro; hạn mức bảo vệ, phí đóng, quỹ đầu tư; rút tiền để thực hiện các kế hoạch tài chính phù hợp với nhu cầu trong từng thời kỳ... Từ đó đưa ra giải pháp đầu tư tối ưu, phù hợp với mục tiêu và năng lực tài chính của khách hàng.

Hoạt động đầu tư, định hướng đầu tư, kết quả đầu tư cần được công khai, minh bạch. Đây là việc làm rất quan trọng nhằm tạo niềm tin cho khách hàng. Hơn nữa, hoạt động đầu tư thường gắn liền với rủi ro nên khách hàng cần biết chính xác các chi phí liên quan và kết quả đầu tư thông qua các bảng thông tin thường niên về hợp đồng của mình.

*Đối với khách hàng*

Khách hàng nên căn cứ vào điều kiện tài chính, nhu cầu của bản thân và gia đình để lựa

chọn loại sản phẩm BHLKĐT phù hợp. Vì việc hiểu biết về đầu tư sẽ rất có ích cho người tham gia bảo hiểm khi lựa chọn quỹ đầu tư, tránh được nguy cơ thua lỗ. Thông thường DNBH sẽ đưa ra các quỹ đầu tư khác nhau với mức độ rủi ro cũng sẽ khác nhau. Khi quỹ đầu tư hoạt động tốt, bên mua bảo hiểm sẽ là người được hưởng lợi nhưng trong trường hợp rủi ro giá trị của các đơn vị đầu tư không tăng hoặc bị giảm sẽ ảnh hưởng đến quyền lợi bảo hiểm của bên mua bảo hiểm mà không có sự bù đắp nào từ phía DNBH.

**Tài liệu tham khảo**

- [1] Bộ Tài chính (2017), Tổng quan thị trường bảo hiểm năm 2016.
- [2] Bộ Tài chính (2018), Tổng quan thị trường bảo hiểm năm 2017.
- [3] Bộ Tài chính (2019), Tổng quan thị trường bảo hiểm năm 2018.
- [4] Nguyễn Thị Khánh Ly (2017), “Phát triển các sản phẩm bảo hiểm liên kết đầu tư: Kinh nghiệm quốc tế và đề xuất cho Việt Nam”, Trung tâm Nghiên cứu khoa học và đào tạo chứng khoán Thành phố Hồ Chí Minh.
- [5] Nguyễn Thị Hoài Thu (2017), “Ngăn ngừa trục lợi bảo hiểm bằng các quy định về quản lý, giám sát của cơ quan nhà nước”, Cục Quản lý giám sát bảo hiểm, Bộ Tài chính.
- [6] Phạm Hồng Nhung (2017), “Phát triển bảo hiểm liên kết đầu tư trên thị trường bảo hiểm nhân thọ”, Tạp chí tài chính số tháng 08.
- [7] Thảo Hà (2016), “Bảo hiểm liên kết đầu tư - Xu hướng mới trên thị trường bảo hiểm nhân thọ”, Báo Người đưa tin số tháng 12.

# THẺ LỆ VIẾT VÀ GỬI BÀI

1. Bài nhận đăng là các công trình mới có ý nghĩa khoa học và thực tiễn trong các lĩnh vực khoa học và công nghệ, chưa công bố ở bất kỳ tạp chí nào.

2. Một số lưu ý về hình thức và bố cục của bài báo

2.1. Hình thức của bài báo

- Bài viết được soạn thảo bằng các phần mềm soạn thảo văn bản MS Word, không quá 10 trang giấy khổ A4. Hình ảnh trong bài viết rõ ràng, theo định dạng PNG, JPG hoặc WMF. Tên hình vẽ đặt ở phía dưới, tên bảng biểu đặt ở phía trên, hình và bảng được đánh số thứ tự.

2.2. Bố cục của bài báo

- Phần tiêu đề: chứa các thông tin sau:

- Tiêu đề bài báo: bằng tiếng Việt và tiếng Anh, súc tích, đầy đủ thông tin.
- Tên các tác giả: ghi đầy đủ theo thứ tự họ, chữ lót và tên. Phía trên tên tác giả liên lạc (corresponding author) được đánh dấu \*.
- Cơ quan công tác: cung cấp địa chỉ thuận lợi cho việc liên hệ.
- Địa chỉ e-mail: địa chỉ e-mail (nếu có) của các tác giả có tên trong bài báo.

- Phần tóm tắt: bằng tiếng Việt và tiếng Anh giới thiệu một cách ngắn gọn về mục đích nghiên cứu và kết quả đạt được của bài báo.

- Phần nội dung: đầy đủ các mục: a. Đặt vấn đề (nêu rõ mục đích, đối tượng nghiên cứu, tính thời sự của vấn đề); b. Giải quyết vấn đề (phương pháp nghiên cứu, phương tiện sử dụng khi nghiên cứu, nội dung nghiên cứu đã thực hiện); c. Kết quả nghiên cứu và thảo luận; d. Kết luận.

- Phần tài liệu tham khảo: chỉ nêu các tài liệu trích dẫn đã được liệt kê, sắp thứ tự bằng số chứa trong các ngoặc vuông, định dạng như sau:

- Đối với sách, luận án, báo cáo: số thứ tự, họ và tên tác giả hoặc tên cơ quan ban hành, tên sách (luận án, báo cáo), nhà xuất bản, nơi xuất bản, năm xuất bản.
- Đối với bài báo: số thứ tự, họ và tên tác giả, tên bài báo, tên tạp chí, tập, số, năm xuất bản, số trang.

3. Địa chỉ gửi bài: Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Duy Tân, 03 Quang Trung, Đà Nẵng; ĐT: 0236.3827111- 413; Email: tapchikhcn@duytan.edu.vn.

## **Lưu ý:**

- Ban biên tập chỉ nhận những bài đã được chuẩn bị theo đúng các qui định trên. Nếu bài không được đăng, tòa soạn sẽ không trả lại bản thảo.

---

Giấy phép hoạt động báo chí in số 1245/GP-BTTTT ngày 05/08/2011

In tại Công ty CP In và Dịch vụ Đà Nẵng, 420 Lê Duẩn, TP Đà Nẵng

Số lượng      bản; Khổ 21 × 28,5 cm

In xong và nộp lưu chiểu ngày: