



**TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC**

# **KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG**

**Hà Nội, 12 - 11 - 2020**

**ERSD 2020**



**NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI**



EARTH SCIENCES AND  
NATURAL RESOURCES FOR  
**SUSTAINABLE** DEVELOPMENT

**TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC**  
**KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN**  
**VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG**

**TIỂU BAN**

**KHOA HỌC CƠ BẢN**  
**TRONG LĨNH VỰC KHOA HỌC**  
**TRÁI ĐẤT VÀ MÔI TRƯỜNG**

## **ĐƠN VỊ TỔ CHỨC**

**Trường Đại học Mở - Địa chất (HUMG)**

## **CÁC ĐƠN VỊ PHỐI HỢP TỔ CHỨC**

**Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam**

**Tập đoàn Dầu khí Việt Nam**

**Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam**

**Tổng hội Địa chất Việt Nam**

**Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam**

**Hội Khoa học Công nghệ Mỏ Việt Nam**

**Hội Công trình ngầm Việt Nam**

**Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam**

**Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam**

**Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam**

**Hội Khoa học Kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam**

**Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam**

**Viện Địa chất và Địa vật lý biển**

**Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản**

**Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai**

**Trường Đại học Đông Á**

**Trường Đại học Thủ Dầu Một**

## **BAN TỔ CHỨC**

### **Trưởng ban**

GS.TS Trần Thanh Hải, *Trường Đại học Mở Địa - chất*

### **Phó Trưởng ban**

GS.TS Bùi Xuân Nam, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Triệu Hùng Trường, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Ủy viên**

GS.TS Võ Chí Mỹ, *Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam*

GS.TS Nguyễn Quang Phích, *Hội Công trình ngầm Việt Nam*

PGS.TS Trần Tuấn Anh, *Viện Địa chất, Viện HLKH&CN Việt Nam*

PGS.TS Đoàn Văn Cảnh, *Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam*

PGS.TS Tạ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*

PGS.TS Nguyễn Như Trung, *Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Hội Khoa học kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam*

TS Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*

TS Trần Xuân Hòa, *Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam*

TS Hoàng Văn Khoa, *Tổng hội Địa chất Việt Nam*

TS Đỗ Hồng Nguyên, *Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam*

TS Nguyễn Văn Nguyên, *Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam*

TS Lê Văn Quyền, *Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam*

TS Trịnh Hải Sơn, *Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Bộ Tài nguyên và Môi trường*

TS Nguyễn Quốc Thập, *Tập đoàn Dầu khí quốc gia Việt Nam*

TS Đặng Kim Triết, *Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai*

TS Trần Văn Trung, *Trường Đại học Thủ Dầu Một*

TS Đỗ Trọng Tuấn, *Trường Đại học Đông Á*

TS Nguyễn Thanh Tùng, *Viện Dầu khí Việt Nam*

## **BAN KHOA HỌC**

### **Trưởng ban**

GS.TS Bùi Xuân Nam, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Phó trưởng ban**

PGS.TS. Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Ủy viên**

GS.TSKH Hoàng Ngọc Hà, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

GS.TS Võ Trọng Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

GS.TS Trương Xuân Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

GS.TS Đỗ Như Tráng, *Trường Đại học Công nghệ GTVT*

PGS.TS Bùi Hoàng Bắc, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Đỗ Văn Bình, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Phùng Mạnh Đắc, *Hội KHCN Mô Việt Nam*

PGS.TSKH Hà Minh Hòa, *Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ*

PGS.TS Phạm Văn Hòa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Lê Văn Hưng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Hoàng Văn Long, *Viện Dầu khí Việt Nam*

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Quang Minh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Phạm Xuân Núi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Khổng Cao Phong, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Văn Sáng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Ngô Xuân Thành, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Đặng Trung Thành, *Trường Đại học Mở - Địa chất*  
PGS.TS Tạ Đức Thịnh, *Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam*

PGS.TS Nguyễn Thế Vinh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Lê Hồng Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Trần Quốc Cường, *Viện Địa chất, Viện HLKH&CN Việt Nam*

TS Công Tiến Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Trần Tuấn Dũng, *Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Viện HL KH&CN Việt Nam*

TS Nguyễn Đại Đồng, *Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam*

TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Bùi Thị Thu Thủy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Thế Truyền, *Viện NC Điện tử, Tin học, Tự động hóa*

TS Nguyễn Văn Xô, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

## **BAN BIÊN TẬP**

### **Trưởng ban**

TS Nguyễn Việt Nghĩa, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Phó Trưởng ban**

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Ủy viên**

PGS.TS Bùi Hoàng Bắc, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Trần Tuấn Minh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Bùi Ngọc Quý, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Đỗ Như Ý, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Thị Mai Dung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Phạm Trung Kiên, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

## **BAN THƯ KÝ**

### **Trưởng ban**

PGS.TS Đỗ Ngọc Anh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Phó Trưởng ban**

TS Nguyễn Thạc Khánh, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

### **Ủy viên**

PGS.TS Phạm Văn Luận, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

PGS.TS Nguyễn Văn Sáng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Tô Xuân Bản, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Trọng Dũng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Lê Quang Duyên, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Duy Huy, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Quốc Phi, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Ngô Thanh Tuấn, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

TS Nguyễn Mạnh Hùng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

ThS Nguyễn Ngọc Dung, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

ThS Hoàng Thu Hằng, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

ThS Nguyễn Thanh Hải, *Trường Đại học Mở - Địa chất*

ThS Phạm Đức Nghiệp, *Trường Đại học Mở - Địa chất*



## LỜI NÓI ĐẦU

Hội nghị Toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững - ERSD được Trường Đại học Mỏ - Địa chất (HUMG) và các đối tác tổ chức 2 năm một lần để các nhà chuyên môn trong và ngoài nước tụ hội, giới thiệu những kết quả và hướng nghiên cứu khoa học mới, thảo luận về các xu thế phát triển, thách thức và cơ hội mới đối với nhiều lĩnh vực khác nhau của Khoa học Trái đất, Tài nguyên và các ngành khác có liên quan.

Tiếp nối thành công của Hội nghị lần thứ nhất năm 2018 (ERSD 2018) và được sự cho phép của Bộ Giáo dục và Đào tạo, Hội nghị Toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên với Phát triển bền vững lần thứ hai (ERSD 2020) được Trường Đại học Mỏ - Địa chất (HUMG) đăng cai tổ chức với sự phối hợp đồng tổ chức của nhiều đơn vị quản lý, nghiên cứu khoa học, đào tạo và sản xuất có uy tín trong nước gồm Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam, Tập đoàn Dầu khí Quốc gia Việt Nam, Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, Cục Đo đạc, Bản đồ và Thông tin địa lý Việt Nam, Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai, Trường Đại học Đông Á, Trường Đại học Thủ Dầu Một, Tổng hội Địa chất Việt Nam, Hội Khoa học Công nghệ Mỏ Việt Nam, Hội Công trình ngầm Việt Nam, Hội Địa chất Thủy văn Việt Nam, Hội Địa chất Công trình và Môi trường Việt Nam, Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam, Hội Khoa học Kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam, Hội Trắc địa - Bản đồ - Viễn thám Việt Nam, và với sự tham gia của nhiều tổ chức và cá nhân khác.

Các chủ đề chính của Hội nghị lần này tập trung vào thảo luận các kết quả khoa học công nghệ và hướng nghiên cứu mới của Khoa học Trái đất và Tài nguyên thiên nhiên, Khai thác và sử dụng tài nguyên địa chất, Môi trường và các lĩnh vực khoa học khác có liên quan như Cơ - Điện, Công nghệ Thông tin, Xây dựng, ... cũng như việc ứng dụng chúng vào phát triển bền vững đối với nhiều lĩnh vực khác nhau của khoa học công nghệ, kinh tế và xã hội.

Trong quá trình tổ chức Hội nghị, Ban Tổ chức đã nhận được sự quan tâm của đông đảo các nhà khoa học, chuyên môn và quản lý trong và ngoài nước, trong đó có hơn 300 báo cáo khoa học liên quan tới các chủ đề của Hội nghị đã được gửi tới Ban biên tập. Trên cơ sở đó, 255 báo cáo có chất lượng đã được lựa chọn và xuất bản trong Tuyển tập tóm tắt các báo cáo và Tuyển tập các báo cáo toàn văn của Hội nghị. Báo cáo toàn văn được tập hợp thành 16 tập, mỗi tập ứng với một chủ đề khoa học sau:

1. Địa chất khu vực
2. Địa chất công trình - Địa chất thủy văn
3. Tài nguyên địa chất và phát triển bền vững
4. Môi trường trong khai thác tài nguyên và phát triển bền vững
5. An toàn mỏ
6. Công nghệ và thiết bị khai thác
7. Thu hồi và chế biến khoáng sản
8. Công trình ngầm và Địa kỹ thuật
9. Vật liệu và kết cấu
10. Kỹ thuật dầu khí tích hợp
11. Trắc địa
12. Bản đồ, Viễn thám và Hệ thống thông tin địa lý
13. Khoa học Cơ bản trong lĩnh vực Khoa học Trái đất và Môi trường
14. Cơ khí, điện và Tự động hóa
15. Công nghệ thông tin
16. Phân tích dữ liệu và học máy

Toàn bộ thông tin khoa học về hội nghị, trong đó có Tuyển tập các báo cáo toàn văn, được đưa lên trang Website chính thức của Hội nghị tại địa chỉ: <http://ersd2020.humg.edu.vn/>.

Ban tổ chức xin trân trọng cảm ơn Trường Đại học Mỏ - Địa chất, với tư cách là đơn vị đăng cai tổ chức Hội nghị, cùng các đơn vị đồng tổ chức đã hợp tác và góp phần quan trọng vào sự thành công của Hội nghị này. Cảm ơn các nhà khoa học đã đóng góp các công bố khoa học có giá trị cho Hội nghị. Ban tổ chức cũng đánh giá cao sự nỗ lực của Ban biên tập và các chuyên gia biên tập để nâng cao chất lượng của các báo cáo khoa học cũng như sự cố gắng lớn của Ban thư ký trong việc chuẩn bị

và tổ chức hội nghị này.

Ban tổ chức mong muốn tiếp tục nhận được sự hợp tác chặt chẽ và góp ý chân thành của các đơn vị và cá nhân đối với việc chuẩn bị, tổ chức, biên tập, và xuất bản các báo cáo khoa học, nhằm nâng cao chất lượng của các hội nghị tiếp theo, góp phần thúc đẩy sự phát triển bền vững của các hoạt động nghiên cứu khoa học, chuyển giao công nghệ thuộc các lĩnh vực Khoa học Trái đất và Tài nguyên và các lĩnh vực khoa học khác có liên quan.

**TRƯỞNG BAN TỔ CHỨC**

**GS.TS Trần Thanh Hải**

## MỤC LỤC

### TIỂU BAN KHOA HỌC CƠ BẢN TRONG LĨNH VỰC KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ MÔI TRƯỜNG

<b>Thống kê R trong bài toán tìm khoảng tin cậy cho tham số một tổng thể</b> <i>Phạm Ngọc Anh, Lê Thị Hương Giang</i> .....	1
<b>Tổng quan về cách tạo lỗ nano (nanopore) và ứng dụng lọc, dò một số ion tạp trong chất lỏng</b> <i>Nguyễn Xuân Chung</i> .....	7
<b>Reversion transport of carbon dioxide in the temperature inversion effect in near surface of the earth</b> <i>Vu Ba Dung, Ho Quynh Anh, Tong Ba Tuan</i> .....	12
<b>Một số yếu tố ảnh hưởng đến khả năng đóng rắn bùn đỏ bằng phương pháp geopolyme sử dụng chất kết dính cao lanh</b> <i>Công Tiến Dũng, Bùi Đắc Thành, Lê Thị Phương Thảo, Nguyễn Việt Hùng, Lê Thị Duyên, Võ Thị Hạnh, Vũ Thị Minh Hồng, Nguyễn Mạnh Hà, Đặng Văn Kiên, Nguyễn Duyên Phong</i> .....	17
<b>Ag<sup>+</sup> ion adsorption on hydroxyapatite powder and Ag metal recovery by electrochemical method</b> <i>Le Thi Duyen, Vo Thi Hanh, Le Thi Phuong Thao, Dinh Thi Mai Thanh</i> .....	24
<b>Động lực học và điều khiển tay máy robot hai khâu đàn hồi</b> <i>Dinh Công Đạt</i> .....	33
<b>Nghiên cứu chế tạo vật liệu nano LaMnO<sub>3</sub> pha tạp Sr có độ xốp lớn</b> <i>Trần Thị Hà, Nguyễn Việt Tuyên, Lê Văn Quân, Đỗ Danh Bích, Phạm Nguyên Hải</i> .....	40
<b>Tổng hợp và đặc trưng màng hydroxyapatit pha tạp đồng thời các ion Cu<sup>2+</sup>, Ag<sup>+</sup> và Zn<sup>2+</sup> trên nền thép không gỉ 316L</b> <i>Võ Thị Hạnh, Lê Thị Duyên, Đỗ Thị Hải, Hà Mạnh Hùng, Dinh Thị Mai Thanh</i> .....	45
<b>Mô hình Markov ẩn xác định số mục tiêu trong bài toán quan sát quỹ đạo đa mục tiêu</b> <i>Nguyễn Thị Hằng</i> .....	51
<b>Ảnh hưởng của độ linh động của điện tử lên trạng thái điện môi exciton trong vật liệu bán kim loại</b> <i>Đỗ Thị Hồng Hải, Nguyễn Thị Hậu</i> .....	58
<b>Quá trình sinh Higgs và U-hạt véc tơ từ va chạm m+m- trong mô hình Randall-Sundrum khi chòm m+m- phân cực</b> <i>Nguyễn Thị Hậu, Đào Thị Lệ Thủy</i> .....	64
<b>Ảnh hưởng của phonon lên trạng thái ngưng tụ exciton trong mô hình hai dải năng lượng có tương tác điện tử - phonon</b> <i>Đỗ Thị Hồng Hải, Hồ Quỳnh Anh</i> .....	70
<b>Tổng của các biến ngẫu nhiên độc lập cùng phân phối</b> <i>Nguyễn Thu Hằng, Nguyễn Thùy Linh</i> .....	75
<b>Quy tắc nhân thêm x tạo sự khác biệt</b> <i>Hoàng Ngự Huân</i> .....	81

<b>Electrochemical synthesis of polypyrrole (PPy) on mild steel electrode and investigation of their anticorrosive properties</b>	
<i>Ha Manh Hung, Hoang Thi Tuyet Lan</i> .....	85
<b>Tổng hợp vật liệu bạc photphat bằng phương pháp đồng kết tủa kết hợp thủy nhiệt</b>	
<i>Nguyễn Mạnh Hùng, Vũ Thanh Mai, Nguyễn Thị Diệu Thu, Đào Việt Thắng, Lê Thị Vinh, Lâm Thị Hằng, Lê Thị Mai Oanh</i> .....	92
<b>Squeezing function and fridman invariant in some <math>C_n</math> domains</b>	
<i>Nguyen Thi Lan Huong</i> .....	97
<b>Nghiên cứu công nghệ truyền năng lượng không dây định hướng ứng dụng cho các thiết bị khai thác hầm lò</b>	
<i>Bùi Hữu Nguyên, Nguyễn Mạnh Hùng, Tống Bá Tuấn</i> .....	101
<b>Các hàm thất thoát trong vấn đề phân loại</b>	
<i>Lê Bích Phượng, Phạm Tuấn Cường, Tạ Quang Chiểu</i> .....	108
<b>Cấu trúc, tính chất sắt từ, sắt điện của vật liệu <math>BiFeO_3</math> và <math>Bi_{0,9}RE_{0,1}Fe_{0,975}Ni_{0,025}O_3</math> (RE = Gd, Nd, Y)</b>	
<i>Đào Việt Thắng, Nguyễn Thị Diệu Thu, Hồ Quỳnh Anh, Nguyễn Mạnh Hùng</i> .....	113
<b>Cấu trúc và tính chất của vật liệu spinel <math>CoFe_2O_4</math> pha tạp Bi</b>	
<i>Nguyễn Thị Diệu Thu, Nguyễn Mạnh Hùng, Đào Việt Thắng, Nguyễn Việt Hùng</i> .....	119
<b>Một vài kết quả về tính ổn định của hệ quy mô lớn suy biến cấp phân số</b>	
<i>Nguyễn Trường Thanh</i> .....	124
<b>Thiết kế vật liệu meta hấp thụ sóng điện từ cấu trúc chiral</b>	
<b>Tống Bá Tuấn, Bùi Hữu Nguyên, Nguyễn Thị Hậu, Vũ Đình Lãm, Lê Đắc Tuyên</b> .....	129
<b>Vật liệu biến hóa hấp thụ sóng điện từ đa đỉnh, dải rộng trên cơ sở polymer dẫn</b>	
<i>Lê Đắc Tuyên, Phạm Thế Linh, Tống Bá Tuấn, Trần Thị Hà, Vũ Đình Lãm</i> .....	135
<b>Tác động của việc vận dụng trò chơi và các hoạt động thực hành ngôn ngữ tới sinh viên trong giảng dạy tiếng Anh trực tuyến</b>	
<i>Trương Thị Thanh Thủy, Trần Đình Thuộc</i> .....	141
<b>Những yếu tố quan trọng trong việc xây dựng chương trình dạy ngoại ngữ</b>	
<i>Nguyễn Thị Hồng Vân</i> .....	147
<b>Khảo sát tính chất của vật liệu nano <math>TbPO_4.H_2O</math> định hướng ứng dụng trong y sinh</b>	
<i>Lê Thị Vinh, Vũ Duy Thịnh, Hà Thị Phượng, Hoàng Thị Khuyên, Nguyễn Mạnh Hùng, Nguyễn Thu Hà, Phan Diệu Hằng, Trần Thu Hương</i> .....	149



## Cấu trúc, tính chất sắt từ, sắt điện của vật liệu $\text{BiFeO}_3$ và $\text{Bi}_{0,9}\text{RE}_{0,1}\text{Fe}_{0,975}\text{Ni}_{0,025}\text{O}_3$ ( $\text{RE} = \text{Gd}, \text{Nd}, \text{Y}$ )

Đào Việt Thắng<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Thị Diệu Thu<sup>1</sup>, Hồ Quỳnh Anh<sup>1</sup>, Nguyễn Mạnh Hùng<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Trường Đại học Mở - Địa chất

### TÓM TẮT

Vật liệu đa pha điện từ  $\text{BiFeO}_3$  (BFO) và  $\text{Bi}_{0,9}\text{RE}_{0,1}\text{Fe}_{0,975}\text{Ni}_{0,025}\text{O}_3$  ( $\text{RE} = \text{Gd}, \text{Nd}, \text{Y}$ ) được chế tạo bằng phương pháp sol-gel. Các đặc trưng cấu trúc, tính chất sắt từ, sắt điện của hệ vật liệu được khảo sát bằng các phép đo nhiễu xạ tia X (XRD), phổ tán sắc năng lượng tia X (EDS), ảnh hiển vi điện tử quét (SEM), chu trình từ trễ ( $M-H$ ), chu trình điện trễ ( $P-E$ ). Kết quả EDS chỉ ra các mẫu chế tạo có thành phần hóa học là phù hợp. Phân tích kết quả XRD cho thấy vật liệu BFO có cấu trúc mặt thoi, hằng số mạng  $a = 5,583 \text{ \AA}$ ;  $c = 13,869 \text{ \AA}$ , kích thước tinh thể  $L_{\text{XRD}} = 64 \text{ nm}$ . Đối với các mẫu pha tạp đồng thời ( $\text{RE}, \text{Ni}$ ), hằng số mạng và kích thước tinh thể đều giảm so với mẫu BFO. Ảnh SEM cho thấy hình thái bề mặt các mẫu là đồng đều, kích thước hạt khoảng  $2 \mu\text{m}$  đối với mẫu BFO, kích thước hạt nhỏ hơn  $2 \mu\text{m}$  đối với các mẫu pha tạp đồng thời ( $\text{RE}, \text{Ni}$ ). Kết quả  $M-H$  cho thấy tất cả các mẫu thể hiện tính chất sắt từ yếu, mẫu BFO có  $M_s = 0,053 \text{ emu/g}$  và  $M_r = 0,004 \text{ emu/g}$ , tính chất sắt từ của vật liệu BFO pha tạp đồng thời ( $\text{RE}, \text{Ni}$ ) được cải thiện tốt hơn so với vật liệu BFO. Kết quả  $P-E$  cho thấy tất cả các thể hiện tính chất sắt điện, mẫu BFO có  $P_s = 0,31 \mu\text{C/cm}^2$  và  $P_r = 0,19 \mu\text{C/cm}^2$ , tính chất sắt điện của vật liệu BFO cũng được cải thiện tốt hơn khi pha tạp đồng thời ( $\text{RE}, \text{Ni}$ ). Trong báo cáo này, chúng tôi thảo luận về nguồn gốc của tính chất sắt từ và sắt điện của vật liệu BFO và vật liệu pha tạp đồng thời ( $\text{RE}, \text{Ni}$ ).

*Từ khóa:* vật liệu BFO, pha tạp đồng thời ( $\text{RE}, \text{Ni}$ ), XRD, tính chất sắt từ, tính chất sắt điện.

### 1. Đặt vấn đề

Vật liệu đa pha điện từ là vật liệu thể hiện đồng thời tính chất sắt từ (hoặc phản sắt từ), sắt điện và sắt đàn hồi gọi chung là tính chất “ferroic”. Các tính chất này luôn có sự tương tác qua lại với nhau nhờ hiệu ứng từ điện (magnetoelectric) (Eerenstein, 2006; Luo, 2012). Do đó, ta có thể từ hóa vật liệu bằng điện trường (hoặc từ trường), thay đổi độ phân cực điện bằng điện trường hoặc từ trường (Eerenstein, 2006; Khikhlovskiy, 2010). Nhờ vậy, vật liệu có nhiều ứng dụng thực tế như: thiết bị đa chức năng, thiết bị chuyển đổi cơ điện, thiết bị đọc và ghi từ, các cảm biến, ... Trên thực tế, do tính cạnh tranh giữa tính chất sắt điện và sắt từ nên vật liệu đa pha điện từ rất hiếm gặp trong tự nhiên. Vật liệu  $\text{BiFeO}_3$  (BFO) là một trong số rất ít vật liệu tồn tại tính chất ferroic tự nhiên. Vật liệu này thể hiện đồng thời tính chất phản sắt từ với nhiệt độ chuyển pha Néel  $T_N \sim 643 \text{ K}$ , tính chất sắt điện với nhiệt độ chuyển pha Curie  $T_C \sim 1100 \text{ K}$  (Li, 2008; Mazumder, 2007). Ở điều kiện nhiệt độ phòng, BFO có từ độ bão hòa ( $M_s$ ) và độ phân cực điện bão hòa ( $P_s$ ) nhỏ nên làm giảm khả năng ứng dụng của vật liệu.

Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra tính chất sắt điện và sắt từ của vật liệu BFO có thể cải thiện bằng cách pha tạp các ion kim loại chuyển tiếp nhóm  $3d$  như  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , ... vào vị trí  $\text{Fe}^{3+}$  (Annapu Reddy, 2013; Dai, 2012) hoặc pha tạp các ion đất hiếm như  $\text{Gd}^{3+}$ ,  $\text{Nd}^{3+}$ ,  $\text{Y}^{3+}$ ,  $\text{Ho}^{3+}$ , ... vào vị trí  $\text{Bi}^{3+}$  trong cấu trúc của vật liệu nền BFO (Minh, 2011; Thang, 2020; Yuan, 2007). Các nghiên cứu gần đây cho thấy khi pha tạp đồng thời các ion đất hiếm và kim loại chuyển tiếp vào vật liệu nền BFO, tính chất sắt điện và sắt từ của vật liệu được cải thiện tốt hơn so với khi chỉ pha tạp ion đất hiếm hoặc kim loại chuyển tiếp ở cùng nồng độ (Kuang, 2016; Y.J. Yoo, 2015; Ye, 2015). Đây là hướng nghiên cứu mới hứa hẹn mang lại nhiều tính chất mới và thú vị.

Trong báo cáo này, chúng tôi nghiên cứu sự thay đổi cấu trúc tinh thể, tính chất sắt điện, sắt từ của vật liệu BFO khi pha tạp đồng thời các ion đất hiếm  $\text{RE}^{3+}$  ( $\text{RE}^{3+} = \text{Gd}^{3+}, \text{Nd}^{3+}, \text{Y}^{3+}$ ) và ion niken ( $\text{Ni}^{2+}$ ). Dựa vào các nghiên cứu trước đây, nồng độ pha tạp được chọn là 10% mol đối với ion đất hiếm  $\text{RE}^{3+}$  và 2,5% mol đối với ion  $\text{Ni}^{2+}$ . Với sự lựa chọn này, các kết quả sẽ chỉ ra cả tính chất sắt điện, sắt từ của vật liệu BFO pha tạp đồng thời được cải thiện đáng kể so với vật liệu nền BFO.

\* Tác giả liên hệ

Email: daovietthang@hmg.edu.vn

## 2. Thực nghiệm

### 2.1. Phương pháp chế tạo mẫu

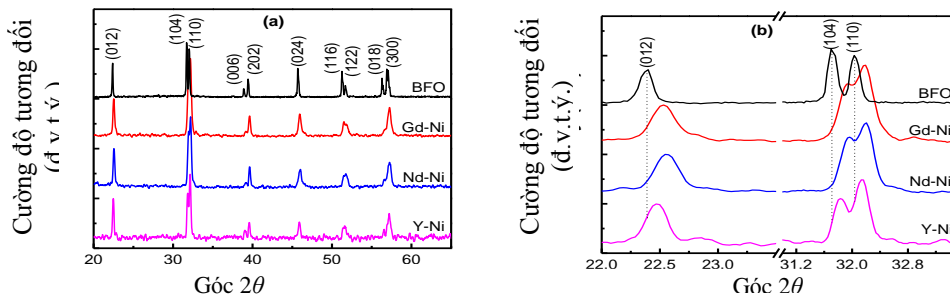
Vật liệu  $\text{BiFeO}_3$  và vật liệu  $\text{BiFeO}_3$  pha tạp đồng thời  $\text{RE}^{3+}$  ( $\text{RE}^{3+} = \text{Gd}^{3+}, \text{Nd}^{3+}, \text{Y}^{3+}$ ) và  $\text{Ni}^{2+}$  được chế tạo bằng phương pháp sol-gel. Các tiền chất được sử dụng để chế tạo vật liệu gồm có  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{RE}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  và  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , các dung môi axit citric  $\text{HOC}(\text{COOH})(\text{CH}_2\text{COOH})_2$  và ethylen glycol  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ . Đầu tiên, các tiền chất  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{RE}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  và  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  được cân đúng tỉ phần rồi đem trộn đều trong 15 ml nước cất. Sau đó, 35 ml dung dịch axit citric nồng độ 1 M được thêm vào hỗn hợp nói trên, nhiệt độ của hỗn hợp được giữ trong khoảng 50 – 60°C và khuấy đều trong thời gian 45 phút thu được dung dịch sol. Bước tiếp theo, 15 ml dung dịch ethylen glycol được thêm vào dung dịch sol, rồi tăng nhiệt độ dung dịch 100°C và khuấy đều trong khoảng 4 giờ thu được gel ướt. Gel ướt được sấy ở nhiệt độ 130°C trong thời gian 4 giờ thu được gel khô. Cuối cùng, gel khô được ủ ở nhiệt độ 800°C trong thời gian 7 giờ thu được vật liệu dạng bột màu nâu đỏ.

### 2.2. Các phép đo dùng nghiên cứu cấu trúc và tính chất vật liệu

Cấu trúc tinh thể, tính chất sắt điện và sắt từ của các mẫu chế tạo được khảo sát bằng phép gián đồ nhiễu xạ tia X (XRD), phổ tán sắc năng lượng tia X (EDS), ảnh hiển vi điện tử quét (SEM), chu trình từ trễ ( $M-H$ ), chu trình điện trễ ( $P-E$ ). Phép đo gián đồ nhiễu xạ tia X được thực hiện trên hệ đo (D8 Advance) với bước sóng  $\text{CuK}\alpha$  ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ). Phép đo phổ tán sắc năng lượng tia X và ảnh hiển vi điện tử quét được thực hiện trên hệ đo (Quanta 450). Phép đo chu trình từ trễ được thực hiện trên hệ đo (Lake Shore Cryotronics, 704 VSM) với từ trường ngoài 5000 Oe. Phép đo chu trình điện trễ được thực hiện trên hệ đo (Radiant, Precision LC 10 V) với điện trường ngoài khoảng 4 kV/cm.

## 3. Kết quả và thảo luận

Hình 1 là gián đồ nhiễu xạ tia X của vật liệu  $\text{BiFeO}_3$  (BFO) và  $\text{Bi}_{0,9}\text{Gd}_{0,1}\text{Fe}_{0,975}\text{Ni}_{0,025}\text{O}_3$  (Gd-Ni),  $\text{Bi}_{0,9}\text{Nd}_{0,1}\text{Fe}_{0,975}\text{Ni}_{0,025}\text{O}_3$  (Nd-Ni),  $\text{Bi}_{0,9}\text{Y}_{0,1}\text{Fe}_{0,975}\text{Ni}_{0,025}\text{O}_3$  (Y-Ni). Theo thẻ chuẩn JPCDS số 71-2494, tất cả các mẫu của hệ vật liệu kết tinh đơn pha cấu trúc mặt thoi (rhombohedral). Các đỉnh nhiễu xạ (012), (104), (110), (006), (202), (024), (116), (122), (108) và (300) xuất hiện tại các vị trí 22,38, 31,72, 32,04, 38,92, 39,46, 45,73, 51,29, 51,71, 56,33 và 57,07° được chỉ ra trên Hình 1a. Hình 1b cho thấy các đỉnh nhiễu xạ của các mẫu pha tạp đồng thời so với mẫu nền BFO có sự dịch về phía góc  $2\theta$  lớn. Kết quả này cho thấy các ion  $\text{Gd}^{3+}$  và  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Nd}^{3+}$  và  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Y}^{3+}$  và  $\text{Ni}^{2+}$  đã thay thế tốt vào mạng nền BFO. Từ kết quả XRD, chúng tôi sử dụng phần mềm UnitCell để xác định hằng số mạng tinh thể, kích thước tinh thể trung bình, kết quả chỉ ra trong Bảng 1. Quan sát Bảng 1 ta thấy hằng số mạng tinh thể, kích thước tinh thể trung bình của các mẫu pha tạp đồng thời giảm so với mẫu BFO. Điều này có thể giải thích là bán kính của các ion đất hiếm  $\text{Gd}^{3+}$  (1,053 Å),  $\text{Nd}^{3+}$  (1,109 Å),  $\text{Y}^{3+}$  (1,019 Å) là nhỏ hơn bán kính ion của  $\text{Bi}^{3+}$  (1,17 Å), khi các ion đất hiếm thay thế vị trí  $\text{Bi}^{3+}$  sẽ làm sự co mạng tinh thể dẫn tới sự giảm hằng số mạng và kích thước tinh thể trung bình. Điều này cũng phù hợp với các kết quả nghiên cứu trước đây (Lazenka, 2012; Thang, 2016). Sự thay đổi hằng số mạng tinh thể, kích thước tinh thể khi pha đồng thời được dự đoán sẽ làm thay đổi các tính chất điện từ của vật liệu.

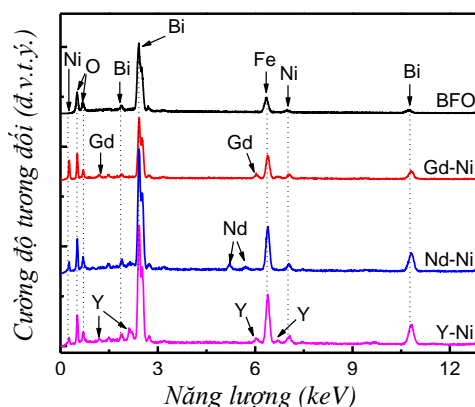


Hình 1. (a) Gián đồ nhiễu xạ tia X của vật liệu  $\text{BiFeO}_3$  và  $\text{Bi}_{0,9}\text{RE}_{0,1}\text{Fe}_{0,975}\text{Ni}_{0,025}\text{O}_3$  ( $\text{RE} = \text{Gd}, \text{Nd}, \text{Y}$ ); (b) Hình phóng to các đỉnh nhiễu xạ (012), (104), (110)

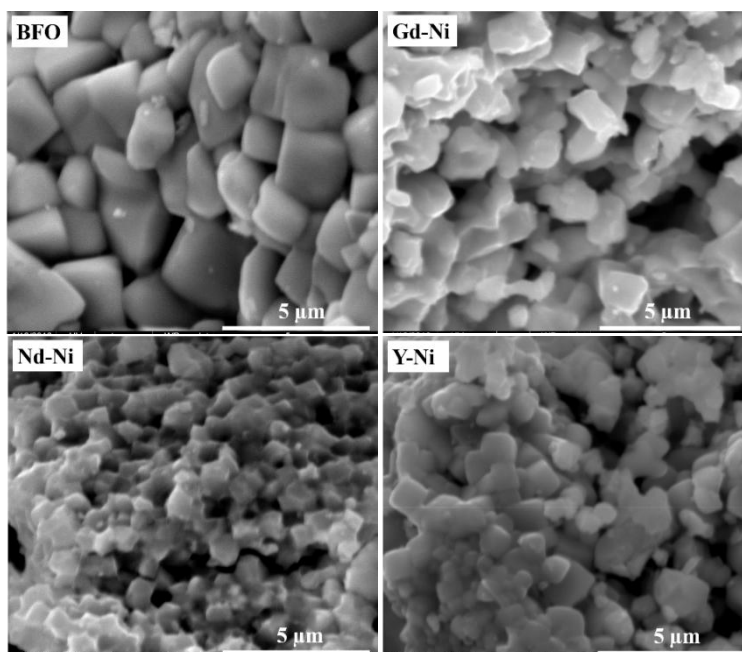
Bảng 1. Hằng số mạng tinh thể, kích thước tinh thể trung bình của các mẫu vật liệu  $\text{BiFeO}_3$  và  $\text{Bi}_{0,9}\text{RE}_{0,1}\text{Fe}_{0,975}\text{Ni}_{0,025}\text{O}_3$  ( $\text{RE} = \text{Gd}, \text{Nd}, \text{Y}$ )

Mẫu vật liệu	$a$ (Å)	$c$ (Å)	$L_{\text{XRD}}$
BFO	5,583	13,869	64
Gd-Ni	5,568	13,803	43
Nd-Ni	5,567	13,799	43
Y-Ni	5,574	13,813	50

Hình 2 là phổ tán sắc năng lượng tia X của các mẫu vật liệu  $\text{BiFeO}_3$  và  $\text{Bi}_{0,9}\text{RE}_{0,1}\text{Fe}_{0,975}\text{Ni}_{0,025}\text{O}_3$  ( $\text{RE} = \text{Gd}, \text{Nd}, \text{Y}$ ). Kết quả cho thấy mẫu BFO chỉ xuất hiện các đặc trưng của các nguyên tố Bi, Fe và O. Đối với các mẫu pha tạp đồng thời xuất các đỉnh đặc trưng của các nguyên tố Bi, Fe, O và Ni. Ngoài ra, mẫu Gd-Ni còn xuất hiện các đỉnh đặc trưng của Gd tại các vị trí 1,18 và 6,03 keV, mẫu Nd-Ni xuất hiện thêm các đỉnh đặc trưng của Nd tại vị trí 5,22 và 5,65 keV, mẫu Y-Ni xuất hiện các đỉnh đặc trưng của Y tại vị trí 1,56, 2,18 và 6,04 keV. Kết quả này cho thấy các mẫu chế tạo có thành phần hóa học phù hợp. Đây là cơ sở ban đầu để tiếp tục nghiên cứu ảnh hưởng của các ion tạp chất lên cấu trúc, tính chất của vật liệu.



Hình 2. Phổ tán sắc năng lượng tia X các mẫu vật liệu BFO, Gd-Ni, Nd-Ni và Y-Ni

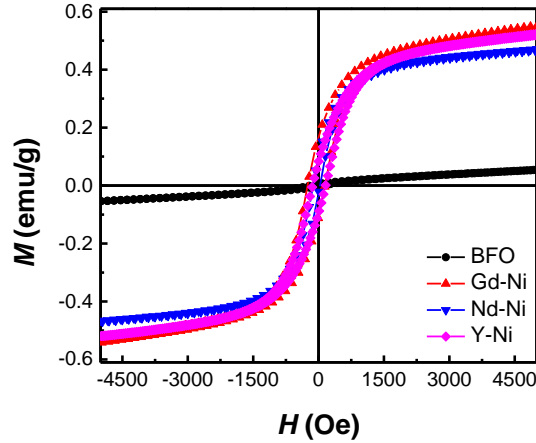


Hình 3. Ảnh hiển vi điện tử quét của các mẫu vật liệu BFO, Gd-Ni, Nd-Ni và Y-Ni

Hình 3 là ảnh hiển vi điện tử của các mẫu vật liệu  $\text{BiFeO}_3$  và  $\text{Bi}_{0,9}\text{RE}_{0,1}\text{Fe}_{0,975}\text{Ni}_{0,025}\text{O}_3$  ( $\text{RE} = \text{Gd}, \text{Nd}, \text{Y}$ ). Quan sát trên Hình 3, ta thấy mẫu BFO có hình thái bề mặt là đồng đều, biên hạt rõ ràng, kích thước hạt khoảng 2  $\mu\text{m}$ . Các mẫu pha tạp đồng thời có hình thái bề mặt kém đồng đều hơn mẫu BFO, biên hạt không rõ ràng, kích thước hạt nhỏ hơn so với kích thước hạt của mẫu BFO. Kích thước hạt giảm điều này có thể giải thích là do các mẫu pha tạp đồng thời có sự cơ mạng tinh thể, giảm kích thước tinh thể trung bình. Kết quả này phù hợp với kết quả thu được từ giản đồ nhiễu xạ tia X đã trình bày ở trên.

Hình 4 biểu diễn chu trình từ trễ của mẫu BFO và các mẫu pha tạp đồng thời Gd-Ni, Nd-Ni và Y-Ni. Quan sát Hình 4 cho thấy tất cả các mẫu thể hiện tính chất sắt từ yếu. Mẫu vật liệu nền BFO có giá trị từ độ bão hòa  $M_s = 0,053 \text{ emu/g}$ , từ độ dư  $M_r = 0,004 \text{ emu/g}$  và lực kháng từ  $H_c = 144 \text{ Oe}$ . Giá trị  $M_s$ ,  $M_r$ ,  $H_c$  của các mẫu pha tạp đồng thời được chỉ ra trong Bảng 2. Như quan sát trong Bảng 2, ta thấy tính chất sắt từ của các mẫu pha tạp đồng thời được cải thiện đáng kể so với mẫu nền BFO. Đối với vật liệu BFO tính chất từ của vật liệu đóng góp chủ yếu bởi tương tác siêu trao đổi  $\text{Fe}^{3+}-\text{O}^{2-}-\text{Fe}^{3+}$  và các nút khuyết ôxy (Chen,

2010; Yan, 2015). Tính chất sắt từ của các mẫu pha tạp đồng thời được cải thiện là do: (i) khi các ion đất hiếm  $RE^{3+}$  thay thế vị trí  $Bi^{3+}$  làm xuất hiện thêm các tương tác siêu trao đổi  $RE^{3+} - O^{2-} - RE^{3+}$ ; (ii) khi ion  $Ni^{2+}$  thay thế vị trí  $Fe^{3+}$  trong mẫu xuất hiện các tương tác trao đổi kép  $RE^{3+} - O^{2-} - Ni^{2+}$  và  $Fe^{3+} - O^{2-} - Ni^{2+}$  (Dong, 2014); (iii) Khi các ion  $Ni^{2+}$  thay thế ion  $Fe^{3+}$  là gia tăng các nút khuyết oxy, gây ra méo mạng tinh thể dẫn tới tăng tính chất sắt từ của vật liệu.

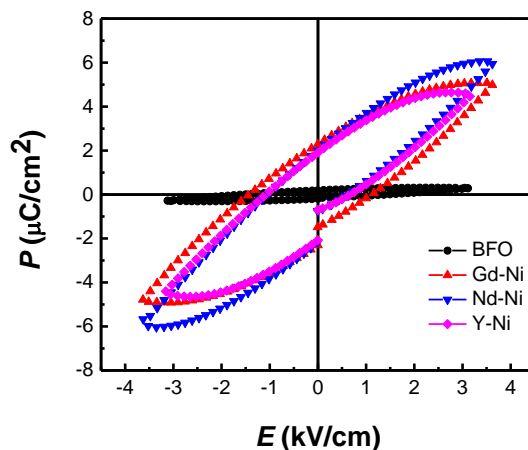


Hình 4. Chu trình từ trễ của các mẫu vật liệu BFO, Gd-Ni, Nd-Ni và Y-Ni

Bảng 2. Các đặc trưng sắt từ của vật liệu BFO, Gd-Ni, Nd-Ni, Y-Ni

Mẫu vật liệu	$M_s$ (emu/g)	$M_r$ (emu/g)	$H_c$ (Oe)
BFO	0,053	0,004	144
Gd-Ni	0,545	0,137	200
Nd-Ni	0,468	0,061	80
Y-Ni	0,522	0,089	149

Hình 5 là chu trình điện trễ của vật liệu  $BiFeO_3$  và  $Bi_{0,9}RE_{0,1}Fe_{0,975}Ni_{0,025}O_3$  ( $RE = Gd, Nd, Y$ ). Quan sát Hình 5 cho thấy tất cả các mẫu thể hiện tính chất sắt từ yếu. Vật liệu BFO có độ phân cực điện bão hòa  $P_s = 0,31 \mu C/cm^2$ , độ phân cực điện dư  $P_r = 0,19 \mu C/cm^2$ . Mẫu Gd-Ni có  $P_s = 5,51 \mu C/cm^2$  và  $P_r = 2,29 \mu C/cm^2$ . Mẫu Nd-Ni có  $P_s = 6,07 \mu C/cm^2$  và  $P_r = 2,11 \mu C/cm^2$ . Mẫu Y-Ni có  $P_s = 4,72 \mu C/cm^2$  và  $P_r = 1,99 \mu C/cm^2$ . Như vậy, ta có thể thấy tính chất sắt điện của các mẫu pha tạp đồng thời so với mẫu BFO được cải thiện đáng kể. Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra, tính chất sắt điện của BFO bắt nguồn từ electron lẻ cặp đóng góp bởi liên kết Bi-O và lệch vị trí khỏi tâm bát diện  $FeO_6$  của  $Fe^{3+}$ . Khi pha tạp đồng thời các ion đất hiếm  $RE^{3+}$  và  $Ni^{2+}$  sẽ làm thay đổi liên kết  $RE/Bi-O$  đồng thời làm gia tăng sự lệch khỏi tâm bát diện  $FeO_6$  của  $Fe^{3+}/Ni^{2+}$ . Hơn nữa, khi các ion  $RE^{3+}$  và  $Ni^{2+}$  đồng thời được thay thế vào mạng nền BFO cũng tạo ra sự mất trật tự cấu trúc, điều này cũng góp phần làm cải thiện tính chất sắt điện của vật liệu.



Hình 5. Chu trình điện trễ của các mẫu vật liệu BFO, Gd-Ni, Nd-Ni và Y-Ni.

#### 4. Kết luận

Vật liệu BFO và  $Bi_{0,9}RE_{0,1}Fe_{0,975}Ni_{0,025}O_3$  ( $RE = Gd, Nd, Y$ ) được chế tạo thành công bằng phương pháp sol-gel. Các mẫu chế tạo có thành phần hóa học là phù hợp. Vật liệu BFO và các vật liệu pha tạp đồng thời

Gd-Ni, Nd-Ni và Y-Ni đều kết tinh đơn pha cấu trúc mặt thoi. Các vật liệu pha tạp đồng thời có hằng số mạng, kích thước tinh thể trung bình và kích thước hạt giảm so với vật liệu nền BFO. Vật liệu BFO thể hiện tính chất sắt điện với  $P_s = 0,31 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ ,  $P_r = 0,19 \mu\text{C}/\text{cm}^2$  và sắt từ yếu với  $M_s = 0,053 \text{ emu/g}$ ,  $M_r = 0,004 \text{ emu/g}$ . Cả tính chất sắt điện và sắt từ của các mẫu pha tạp đồng thời Gd-Ni, Nd-Ni và Y-Ni đều được tăng cường so với vật liệu BFO. Như vậy, khi pha tạp đồng thời ion đất hiếm  $RE^{3+}$  và  $Ni^{2+}$  vào vật liệu nền BFO không làm thay đổi pha cấu trúc của vật liệu mà còn cải thiện được đồng thời cả tính chất sắt điện và sắt từ của vật liệu này. Kết quả bày là cơ sở cho các nghiên cứu nhằm ứng dụng vật liệu BFO trong các thiết bị điện tử.

#### Tài liệu tham khảo

- Annapu Reddy, V., N.P. Pathak, and R. Nath, 2013. Enhanced magnetoelectric coupling in transition-metal-doped BiFeO<sub>3</sub> thin films. *Solid State Commun.* 171, 40-45.
- Chen, Z., C. Wang, T. Li, J. Hao, and J. Zhang, 2010. Investigation on Electrical and Magnetic Properties of Gd-doped BiFeO<sub>3</sub>. *J. Supercond. Nov. Magn.* 23(4), 527-530.
- Dai, Y.R., Q. Xun, X. Zheng, S. Yuan, Y. Zhai, and M. Xu, 2012. Magnetic properties of Ni-substituted BiFeO<sub>3</sub>. *Physica B*, 407, 560–563.
- Dong, G., G. Tan, Y. Luo, W. Liu, H. Ren, and A. Xia, 2014. Optimization of the multiferroic BiFeO<sub>3</sub> thin films by divalent ion (Mn, Ni) co-doping at B-sites. *Mater. Lett.* 118, 31-33.
- Eerenstein, W., N.D. Mathur, and J.F. Scott, 2006. Multiferroic and magnetoelectric materials. *Nature* 442, 759-765.
- Khikhlovskiy, V., 2010. *The renaissance of multiferroics: bismuth ferrite (BiFeO<sub>3</sub>)– a candidate multiferroic material in nanoscience*. Doctor of philosophy.
- Kuang, D., P. Tang, X. Wu, S. Yang, X. Ding, and Y. Zhang, 2016. Structural, optical and magnetic studies of (Y, Co) co-substituted BiFeO<sub>3</sub> thin films. *J. Alloy. Compd.* 671, 192-199.
- Lazenka, V.V., G. Zhang, J. Vanacken, I.I. Makoed, A.F. Ravinski, and V.V. Moshchalkov, 2012. Structural transformation and magnetoelectric behaviour in Bi<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>FeO<sub>3</sub> multiferroics. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 45(12), 125002.
- Li, Y., T. Sritharan, S. Zhang, X. He, Y. Liu, and T. Chen, 2008. Multiferroic properties of sputtered BiFeO<sub>3</sub> thin films. *Appl. Phys. Lett.* 92(13), 132908.
- Luo, L., W. Wei, X. Yuan, K. Shen, M. Xu, and Q. Xu, 2012. Multiferroic properties of Y-doped BiFeO<sub>3</sub>. *J. Alloy. Compd.* 540, 36-38.
- Mazumder, R., P. Sujatha Devi, D. Bhattacharya, P. Choudhury, A. Sen, and M. Raja, 2007. Ferromagnetism in nanoscale BiFeO<sub>3</sub>. *Appl. Phys. Lett.* 91(6), 062510.
- Minh, N.V. and N.G. Quan, 2011. Structural, optical and electromagnetic properties of Bi<sub>1-x</sub>Ho<sub>x</sub>FeO<sub>3</sub> multiferroic materials. *J. Alloy. Compd.* 509(6), 2663-2666.
- Thang, D.V., V.Q. Nguyen, N.M. Hung, L.T.M. Oanh, N.C. Khang, B.D. Tu, D.T.X. Thao, and N. Van Minh, 2020. Structural, Optical, Ferroelectric and Ferromagnetic Properties of Bi<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>FeO<sub>3</sub> Materials. *Journal of Electronic Materials* 49(7), 4443-4449.
- Thang, D.V., D.T.X. Thao, and N.V. Minh, 2016. Magnetic Properties and Impedance Spectroscopic Studies of Multiferroic Bi<sub>1-x</sub>Nd<sub>x</sub>FeO<sub>3</sub> Materials. *J. Magn.* 21(1), 29-34.
- Y.J. Yoo, J.S. Hwang, Y.P. Lee, J.S. Park, J.Y. Rhee, J.-H. Kang, K.W. Lee, B.W. Lee, and M.S. Seo, 2015. Origin of enhanced multiferroic properties in Dy and Co co-doped BiFeO<sub>3</sub> ceramics. *J. Magn. Magn. Mater.* 374, 669–675.
- Yan, X., G. Tann, W. Liu, H. Ren, and A. Xia, 2015. Structural, electric and magnetic properties of Dy and Mn co-doped BiFeO<sub>3</sub> thin film. *Ceram. Int.* 41, 3202–3207.
- Ye, W., G. Tann, G. Dong, H. Ren, and A. Xia, 2015. Improved multiferroic properties in (Ho, Mn) co-doped BiFeO<sub>3</sub> thin films prepared by chemical solution deposition. *Ceram. Int.* 41, 4668–4674.
- Yuan, G.L., S.W. Or, and H.L. Chan, 2007. Raman scattering spectra and ferroelectric properties of Bi<sub>1-x</sub>Nd<sub>x</sub>FeO<sub>3</sub> (x = 0-0.2) multiferroic ceramics. *J. Appl. Phys.* 101, 064101.

#### ABSTRACT

### Structural, ferromagnetic, ferroelectric properties of BiFeO<sub>3</sub> and Bi<sub>0.9</sub>RE<sub>0.1</sub>Fe<sub>0.975</sub>Ni<sub>0.025</sub>O<sub>3</sub> (RE = Gd, Nd, Y)

Dao Viet Thang<sup>1,\*</sup>, Nguyen Thi Dieu Thu<sup>1</sup>, Ho Quynh Anh<sup>1</sup>, Nguyen Manh Hung<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Physics, Hanoi University of Mining and Geology



Multiferroic BiFeO<sub>3</sub> (BFO) and Bi<sub>0.9</sub>RE<sub>0.1</sub>Fe<sub>0.975</sub>Ni<sub>0.025</sub>O<sub>3</sub> (RE = Gd, Nd, Y) materials were prepared by a sol-gel method. The structural characteristics, ferromagnetic and ferroelectric properties of materials were investigated by different techniques such as X-ray diffraction diagram (XRD), X-ray energy dispersion spectra (EDS), scanning electron microscope image (SEM), magnetic hysteresis loops (*M-H*), ferroelectric hysteresis loops (*P-E*). EDS results showed the samples with a suitable chemical composition. XRD results analysis showed that BFO material crystallize in rhombohedral structure with  $a = 5.583 \text{ \AA}$  and  $c = 13.869 \text{ \AA}$  parameters, crystallite size  $L_{\text{XRD}} = 64 \text{ nm}$ . For co-doped (RE, Ni) samples, both  $a$  and  $c$  parameters, crystallite size  $L_{\text{XRD}}$  decreased compared with BFO sample. SEM images showed that all samples have uniform surface morphology, particle size is about  $2 \text{ \mu m}$  for BFO, particle size is smaller  $2 \text{ \mu m}$  for co-doped (RE - Ni) samples. *M-H* results showed all samples present weak ferromagnetic properties, BFO has  $M_s = 0.053 \text{ emu/g}$  and  $M_r = 0.004 \text{ emu/g}$ , ferromagnetic of co-doped samples better improvement than those of BFO sample. *P-E* results showed that all samples present weak ferroelectric, BFO has  $P_s = 0.31 \text{ \mu C/cm}^2$  and  $P_r = 0.19 \text{ \mu C/cm}^2$ , ferroelectric properties so better improvement than those of BFO sample. In this report, we will discuss origin of ferromagnetic and ferroelectric properties of BFO and co-doped (RE, Ni) materials.

*Keywords:* BFO material; co-doped (RE, Ni); XRD, ferromagnetic; ferroelectric.