

THIẾT KẾ MODULE CẢM BIẾN CHO CẢM BIẾN DÒNG ĐIỆN SỬ DỤNG NGỌC HỒNG LỰU

A SENSING MODULE DESIGN FOR GARNET TYPE MAGNETO-OPTICAL CURRENT SENSOR

Nguyễn Trường Giang

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 12/03/2021, Ngày chấp nhận đăng: 21/05/2021, Phản biện: TS. Nguyễn Nhất Tùng

Tóm tắt:

Cảm biến dòng công nghệ quang có rất nhiều ưu điểm khắc phục được những hạn chế về kỹ thuật của máy biến dòng điện kiểu truyền thống. Trong bài báo này, thiết kế bộ phận cảm biến dùng trong cảm biến dòng sử dụng ngọc hồng lựu được giới thiệu. Các kết quả thử nghiệm một số đặc tính làm việc quan trọng của bộ phận cảm biến cho thấy ưu điểm của nó.

Từ khóa:

Cảm biến dòng công nghệ quang, hiệu ứng từ - quang Faraday, ngọc hồng lựu.

Abstract:

Magneto-optical current sensors (MOCS) possess a number of prominent advantages to ease technical inherent disadvantages of traditional induction-type current transformers. This paper proposes a garnet-based sensing module design for Garnet type MOCS. Experimental results of its various important operating characteristics are proved its excellent characteristics.

Key words:

MOCS, Faraday opto-magnetic effect, garnet.

1. GIỚI THIỆU

Các thiết bị biến đổi đo lường (máy biến điện áp TU, máy biến đổi dòng điện TI) đóng vai trò quan trọng trong hệ thống điện: cung cấp các tín hiệu phục vụ đo lường, giám sát, điều khiển và bảo vệ. Các máy biến đổi đo lường kiểu truyền thống (kiểu cảm ứng) làm việc khá tin cậy. Tuy nhiên, xét trên phương diện cấu tạo và nguyên lý làm việc, các máy biến

đổi đo lường kiểu cảm ứng nói chung, máy biến dòng điện kiểu cảm ứng nói riêng vẫn có những hạn chế nội tại, trong đó có 2 vấn đề nổi bật: i) về cách điện ở cấp điện áp cao (cấu trúc, trọng lượng); và ii) tính phức tạp và ảnh hưởng của hiện tượng bão hòa (tính phi tuyến, cơ chế phức tạp của hiện tượng bão hòa từ...) [1-3].

Ngược lại, so với máy biến dòng kiểu

cảm ứng, cảm biến dòng điện công nghệ quang MOCS sở hữu nhiều đặc tính nổi trội như: mức cách điện cao, chịu ảnh hưởng của nhiễu điện từ, không có nguy cơ cháy nổ, có thể chế tạo kích thước gọn nhẹ... [2, 3]. Bởi vậy, cảm biến dòng công nghệ quang MOCS được tập trung nghiên cứu và phát triển rất lớn trong thời gian qua [1-9]. Nguyên lý làm việc cơ bản của MOCS (có phần tử cảm biến được chế tạo bằng vật liệu quang từ) dựa trên hiệu ứng từ - quang Faraday: sự quay của mặt phẳng phân cực của chùm sáng khi truyền qua vật liệu quang đặt trong từ trường (góc quay Faraday - còn được gọi là góc phương vị phân cực). Bởi vậy, MOCS có thể đo dòng điện gián tiếp bằng cách xác định góc quay Faraday.

Trong bài báo này, phương pháp thiết kế module cảm biến của MOCS sử dụng ngọc hồng lựu (garnet) được giới thiệu; đồng thời, các thử nghiệm các đặc tính làm việc quan trọng của module cũng được trình bày và đánh giá.

2. THIẾT KẾ MODULE CẢM BIẾN DÒNG ĐIỆN SỬ DỤNG NGỌC HỒNG LỰU

2.1. Giới thiệu chung

Độ nhạy của MOCS liên quan trực tiếp đến phương pháp đo góc quay Faraday θ_F của mặt phẳng phân cực khi truyền chùm tia sáng phân cực thẳng qua vật liệu quang theo hướng của từ trường H được cho bởi [2]:

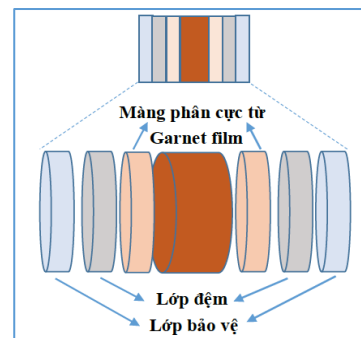
$$\theta_F = \int_l V \vec{H} d\vec{l} \quad (1)$$

Trong đó: V : hệ số Verdet, $^\circ/\text{T.m}$: được xác định bởi đặc tính của vật liệu từ - quang; l : độ dài tương tác (quang lộ), m.

Từ (1) có thể thấy, có 3 yếu tố cơ bản chi phối độ nhạy (trị số của góc quay Faraday θ_F) của MOCS: vật liệu, từ trường, và quang lộ. Đây là các yếu tố căn bản để định hướng thiết kế MOCS. Việc lựa chọn vật liệu thiết kế (hệ số Verdet), và cấu trúc cảm biến (quang lộ l) đóng vai trò quyết định tới độ nhạy của cảm biến thiết kế.

Trong các vật liệu từ-quang, họ vật liệu ngọc hồng lựu (garnet) có ưu điểm có hệ số Verdet cao [2, 7, 10]; do đó, garnet film được lựa chọn để thiết kế module cảm biến của MOCS đề xuất.

2.2. Phương pháp chế tạo Garnet module



Hình 1. Cấu trúc garnet module của cảm biến

Garnet module có sử dụng màng phân cực từ của cảm biến có cấu trúc được mô tả như ở hình 1.

Phương pháp chế tạo garnet module:

- Sử dụng sóng siêu âm để làm sạch vật liệu garnet, sấy tạo lớp lõi (lớp garnet), rồi đặt vào khuôn;

- Đưa lớp garnet vào hệ thống tạo màng; bơm chân không đáp ứng yêu cầu của hệ thống tạo màng (mức chân không vào khoảng 0,1 mPa);
- Gia nhiệt cho lớp garnet (nhiệt độ bề mặt vào khoảng 200÷500°C) rồi thực hiện quá trình ủ nhiệt lần thứ nhất;
- Điều chỉnh áp suất làm việc vào mức 0,2÷5,0 Pa rồi tạo lớp đệm (độ dày yêu cầu vào cỡ 500 nm÷20 µm), rồi duy trì nhiệt trong khoảng 1 h;
- Tạo lớp màng phân cực từ trên lớp đệm: độ dày yêu cầu vào khoảng 5 nm÷10 µm; duy trì nhiệt trong khoảng 1 h;
- Tiếp tục gia nhiệt cho lớp garnet: nhiệt độ bề mặt đạt ở mức 550÷800°C; rồi thực hiện quá trình ủ nhiệt lần thứ hai;
- Làm mát lớp garnet về nhiệt độ phòng rồi tạo lớp bảo vệ (độ dày: 5÷100 nm) cho lớp màng phân cực từ sẽ tạo được garnet module bán thành phẩm;
- Lấy garnet module bán thành phẩm từ hệ thống tạo màng và tiến hành từ hoá lớp màng phân cực từ. Như vậy, tạo được garnet module.

Sau khi tạo được garnet module, cần đánh giá hoạt động của module này: phản ứng của garnet module khi đặt trong điện từ trường. Có 2 mẫu được thử nghiệm: mẫu chỉ dùng garnet và mẫu có sử dụng màng phân cực từ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. Trong các phần dưới đây trình bày về thử nghiệm này.

2.3. Thử nghiệm các đặc tính làm việc

Dưới đây giới thiệu vắn tắt về thử nghiệm các đặc tính quan trọng của MOCS đề

xuất, cụ thể: i) Phản ứng của garnet module khi đặt trong điện từ trường; ii) Sai số tuyến tính của MOCS đề xuất; iii) Đặc tuyến phân cực của module cảm biến ở các điều kiện làm việc khác nhau.

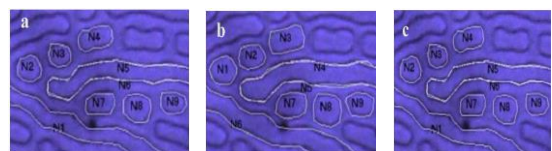
2.3.1. Phản ứng của garnet module khi đặt trong điện từ trường

Kính hiển vi ánh sáng phân cực PLM [11, 12] được dùng để đánh giá phản ứng của garnet module khi đặt trong điện từ trường: chiếu thẳng góc bề mặt màng (film) để quan sát sự thay đổi của các phân vùng từ.

Có 2 mẫu garnet module được đánh giá: một mẫu không có màng phân cực từ và một mẫu có màng phân cực từ.

Hình 2 (với từ trường mức thấp) và hình 3 (với từ trường mức cao) là hình ảnh quan sát sự biến đổi của các phân vùng từ của mẫu không có màng phân cực từ dưới ảnh hưởng của từ trường ngoài.

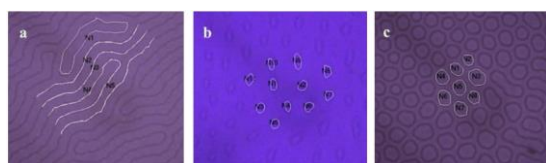
Quan sát các phân vùng từ (hình 2) với đường màu trắng phác họa các phân vùng từ: Khi có từ trường ngoài (hình 2b) thì phân vùng từ thay đổi kích thước so với khi không có từ trường ngoài (hình 2a) hay tắt từ trường ngoài (hình 2c).



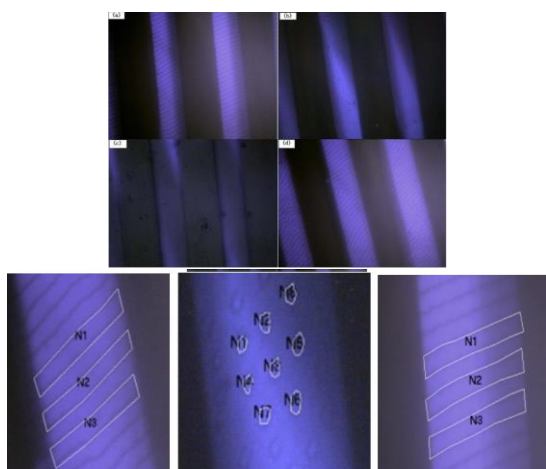
Hình 2. Sự biến đổi các phân vùng từ garnet ở từ trường $H_{\text{ext}} \leq 0,5 \text{ mT}$

Hình 3 là hình ảnh quan sát PLM về sự thay đổi của các phân vùng từ với từ trường ngoài lớn. Từ trạng thái ban đầu,

chưa có từ trường ngoài (hình 3a), đến xuất hiện các phân vùng từ co giảm kích thước và có dạng tròn (hình 3b - với từ trường 40 mT) và không quan sát được các phân vùng từ khi từ trường vượt quá 80 mT. Khi giảm từ trường ngoài về 0 mT, các phân vùng từ không quay trở về trạng thái ban đầu.



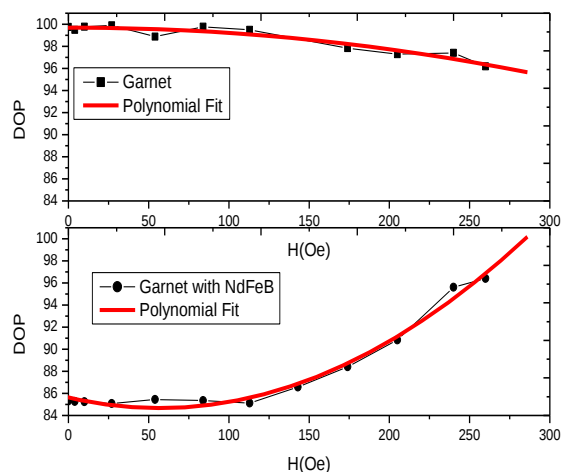
Hình 3. Sự biến đổi các phân vùng từ garnet ở từ trường H_{ext} tăng vượt quá 80 mT



Hình 4. Sự biến đổi các phân vùng từ garnet khi có lớp màng phân cực từ khi đặt trong từ trường ngoài

Ở mẫu có màng phân cực từ (màng Ta/Nd₂Fe₁₄B/Ta) cũng được quan sát sự biến đổi của các phân vùng từ bằng PLM khi đặt trong từ trường ngoài (hình 4). Khi chưa có từ trường (hình 4a), phần màu tối (có màng phân cực từ) không cho ánh sáng truyền qua, phần màu sáng (phân vùng từ garnet) cho ánh sáng truyền qua; các vùng tối, sáng hiển thị ở dạng

các dải phân bố tự do. Khi tăng từ trường ngoài lên 40 mT: các phân vùng từ co lại và chuyển thành dạng hình tròn (hình 4b) và khi tăng từ trường lên 90 mT thì các phân vùng từ biến mất (hình 4c); các phân vùng từ lại khôi phục trạng thái ban đầu khi giảm về 0 mT (hình d).



Hình 5. DOP và Polynomial Fit với ánh sáng phân cực thẳng góc khi đặt trong từ trường ngoài

Các quan sát trên cho thấy, với mẫu không có màng thì chỉ với từ trường ở mức thấp thì mới có khả năng khôi phục trạng thái ban đầu của các phân vùng từ khi loại bỏ từ trường ngoài, còn ở mức cao không thể khôi phục; và điều này được khắc phục với việc sử dụng màng phân cực từ.

Mức phân cực DOP (Degree Of Polarization) là một trong những đặc tính quang từ đóng vai trò quan trọng trong thiết kế MOCS [7-9, 13]. Mức phân cực DOP (là hàm của từ trường ngoài H_{ext}) được đo bằng bộ đo PAX5710IR3-T TXP polarimeter [13]. Kết quả đo DOP với các mẫu (garnet không có/có màng từ) được

thể hiện trên hình 5, với từ trường tăng từ 0 lên 26 mT (ánh sáng phân cực thẳng góc) đồng thời lọc bởi phương pháp đa thức (polynomial fit). Kết quả cho thấy, khi không có mạng từ, DOP của garnet giảm từ 99,755% xuống 96,180% khi tăng từ trường từ 0 lên 26 mT (hay 260Oe), Hình 5a, và DOP của garnet giảm khi tăng H_{etx} . Ngược lại, với mẫu có màng từ NdFeB thì DOP tăng từ 85,311% lên 96,409%; điều này chứng tỏ màng từ có ảnh hưởng đối với sự thay đổi pha dạng dải (strip phase) đối với ánh sáng phân cực chiếu thẳng góc.

Qua quan sát sự biến đổi của các phân vùng từ và đo DOP của các mẫu dưới ảnh hưởng của từ trường ngoài cho thấy màng phân cực từ có khả năng điều khiển phân bố (có trật tự) các phân vùng từ trên garnet.

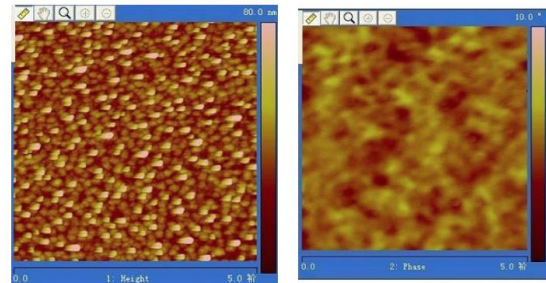
2.3.2. Kiểm nghiệm chất lượng màng phân cực từ

Bên cạnh mức phân cực DOP, các đặc tính về cấu trúc vật liệu: kích thước hạt, đặc tính từ (lực kháng từ, tính dị hướng từ), cấu trúc tinh thể [14-17] là cũng những đặc tính quan trọng trong việc thiết kế MOCS có độ nhạy cao, kích thước nhỏ gọn, và kinh tế.

Màng phân cực từ được kiểm tra chất lượng bằng cách:

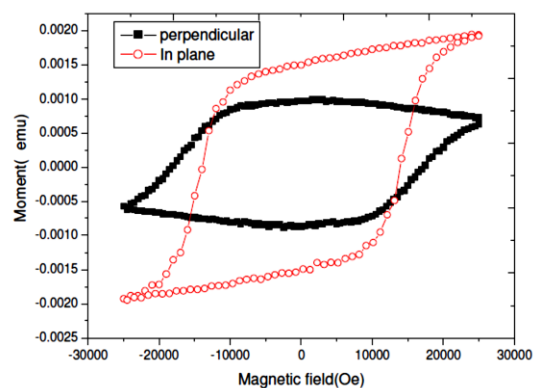
- Sử dụng VECCO Dimension 3100 Atomic Force Microscope [18] để quan sát hình ảnh MFM (Magnetic Force Microscopy) của mẫu (màng phân cực từ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$);

- Sử dụng Versa-lab VSM [19-21] để xác định đặc tính từ của mẫu; và
- Sử dụng nhiễu xạ kế [22, 23] để kiểm tra cấu trúc tinh thể của mẫu.



Hình 6. Hình ảnh MFM của màng phân cực từ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$

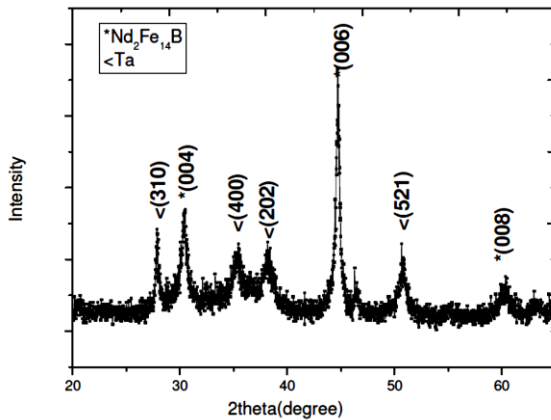
Hình ảnh MFM (Magnetic Force Microscopy) cho thấy: màng phân cực từ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ được tạo thành từ các hạt nhỏ có đường kính cỡ 100 nm, còn kích thước phân vùng từ (vào cỡ 200-500 nm) lớn hơn nhiều so với kích thước hạt, và các phân vùng đối với nhiều hạt biểu thị cấu trúc miền tương tác.



Hình 7. Đường cong từ trễ của màng phân cực từ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ở nhiệt độ phòng

Đường cong từ trễ (M-H loops) của màng phân cực ứng với từ trường 2.5T (hay 25kOe). Lực kháng từ của màng phân cực từ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ theo hướng thẳng góc và

đồng phẳng tương ứng là 1,8T và 1,4T. Điều đó cho thấy kể cả khử từ, lực kháng từ của màng phân cực từ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ theo phương thẳng góc vẫn lớn hơn nhiều so phương đồng phẳng: biểu thị có dị hướng từ thẳng góc.



Hình 8. Biểu đồ XRD của màng phân cực từ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$

Biểu đồ XRD (X-Ray diffraction: nhiễu xạ tia X) của màng $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ (lắng ở 400°C và ủ ở 550°C trong 30 phút ở môi trường chân không $<1 \times 10^{-4}\text{Pa}$) được thể hiện trên hình 8. Ta thấy các đỉnh là các phản xạ (004) ($2\theta \approx 30.6^\circ$), (006) ($2\theta \approx 44.8^\circ$) và (008) ($2\theta \approx 60^\circ$) của màng phân cực từ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ biểu thị trục c của màng thẳng góc với đế garnet.

Kết quả thử nghiệm cho thấy đặc tính về chất lượng mẫu màng phân cực là rất tốt: kích thước hạt nhỏ hơn rất nhiều so với kích thước các phân vùng từ, tính dị hướng từ thẳng góc rõ rệt.

2.2.3. Sai số tuyến tính của MOCS

Trong phần này, sai số tuyến tính của MOCS với 2 mẫu được kiểm chứng.

a. Sai số tuyến tính

Góc quay Faraday θ_i của mẫu MOCS được đo n lần và góc quay Faraday trung bình $\bar{\theta}$ được xác định bởi (2):

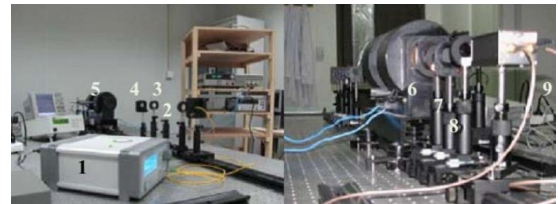
$$\bar{\theta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_i \quad (2)$$

Góc quay phân cực tỉ lệ với cường độ dòng điện hay từ trường ngoài. Sai số tuyến tính $\sigma(\%)$ được xác định qua (3):

$$\sigma = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(H_{Out} - H_{In})}{H_{In}} \quad (3)$$

Trong đó: H_{In} , H_{Out} tương ứng là từ trường đặt và từ trường đầu ra cảm biến; còn n số lần đo.

b. Thử nghiệm



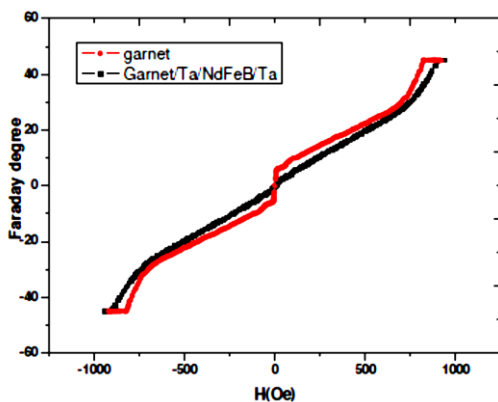
Hình 9. Sơ đồ bố trí thử nghiệm MOCS thiết kế

Sơ đồ bố trí thử nghiệm đánh giá sai số tuyến tính của MOCS thiết kế thể hiện trên hình 9. Sơ đồ gồm 5 khối: Khối nguồn sáng (1: nguồn laser và dây cáp quang 1 chế độ), Khối phân cực ánh sáng tới (2, 3: thấu kính, 4: bộ phân cực), Khối mẫu và từ trường ngoài (5), Khối phân cực ánh sáng ló (6: thấu kính, 7: bộ phân tích) và Khối đo lường và phân tích (9).

Góc quay Faraday của MOCS thử nghiệm được đo ở nhiệt độ phòng với garnet module ở 2 dạng có và không có màng phân cực từ $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. Kết quả đo được thể hiện trên hình 9: đường màu đỏ thể

hiện kết quả chỉ với garnet; còn đường màu đen là kết quả với trường hợp có màng phân cực từ. Có thể thấy: MOCS có cảm biến sử dụng garnet và màng phân cực từ thì khi đặt trong từ trường ngược ($H < 0$) thì đường cong góc Faraday dịch lên và phía trái; còn ở từ trường thuận ($H > 0$) thì dịch xuống và phía phải so với MOCS chỉ dùng garnet.

Giải đo được thực hiện trong phạm vi 82mT đến 90mT.



Hình 10. Góc quay Faraday của MOCS với garnet module có hoặc không có màng phân cực từ

Độ dốc của đường cong $\theta = f(H_{ext})$ biểu thị mức thay đổi ở thời điểm cụ thể. Độ dốc của đường cong góc quay Faraday với MOCS có màng phân cực từ NdFeB vào khoảng 0,064 (thay đổi không đáng kể) khi $H_{ext} < 80\text{Oe}$; trong khi, với MOCS không có màng phân cực từ là khoảng 0,68 (thay đổi rất lớn). Do đó, góc quay Faraday của 2 loại MOCS này biến đổi

khác nhau.

Áp dụng các biểu thức (2) và (3) để tính sai số tuyến tính cho 2 MOCS thử nghiệm. Kết quả sai số tuyến tính trung bình với loại không có màng phân cực từ vào khoảng 1,420%; còn loại có màng phân cực từ NdFeB vào khoảng 0,125%. Có thể thấy nhờ có màng phân cực từ giúp tạo ra một góc quay bổ sung dưới tác động của từ trường phân cực H_{Bias} trên màng phân cực từ giúp làm giảm đáng kể sai số tuyến tính. Điều này rất quan trọng trong việc phát triển các MOCS dạng này.

3. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, phương pháp chế tạo module cảm biến cho cảm biến dòng công nghệ quang MOCS sử dụng vật liệu ngọc hồng lựu (garnet) được giới thiệu. Đồng thời, các thử nghiệm các đặc tính làm việc quan trọng của module cảm biến cũng được thực hiện và kết quả thử nghiệm cho thấy: màng phân cực từ có tính dị hướng thẳng góc và đặc tính từ tốt; các MOCS đề xuất có các đặc tính làm việc tốt; trong đó, loại có màng phân cực từ, có sai số tuyến tính thấp (0,125%), so với loại không sử dụng màng phân cực từ (1,420%). Các kết quả này là rất quan trọng trong phát triển cảm biến MOCS có thiết kế kích thước nhỏ gọn hơn, nhạy hơn, và dải đo được mở rộng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Hrabliuk, J.D.P (2002), *Optical current sensors eliminate CT saturation*, Power Engineering Society Winter Meeting, IEEE, 2002, 2: 1478-1481.

- [2] Giang, N.T. (2016), *A Review on Problems and Counter-measures in Design and Fabrication of Optical Current Sensors*, International Conference on Science and Technology 50th Anniversary of Electric Power University.
- [3] Xiao, C.C., Zhao, L.Y., Asada, T., Odendaal, W.G. , and Van-Wyk, J.D (2003), *An Overview of Integratable Current Sensor Technologies*, 38th IAS Annual Meeting, 2003, 2: 1251-1258.
- [4] ABB Inc (2009), *MOCT-P Optical Current Transformer System*.
- [5] Shacha, L. (2006), *Optical Measurement of Currents in Power Converters*, Royal Institute of Technology, Sweden.
- [6] Bai, J.G., Lu, G.-Q., and Lin, T., (2003), *Magneto-optical current sensing for applications in integrated power electronics modules*, Sens. Actuators A 2003, 109: 9-16.
- [7] Ohkoshi, M. (2002), *Formation and stability of small-size bubbles in garnet films*, J. Appl. Phys., 2002, 92(1): 370–373.
- [8] Yi, B., Chu, B.C.B., and Chiang, K.S. (2002), *Magneto-optical electric-current sensor with enhanced sensitivity*, Meas. Sci. Technol., 2002, 13: N61-N63.
- [9] Neu, V., Anane, A., Wirth, S., Xiong, P., Shaheen, S.A., and Cadieu, F.J. (2000), *Design optimization for a SmCo-biased colossal magnetoresistive thin film device*, J. Appl. Phys., 2000, 87(9): 5350-5352.
- [10] Borrelli, N. F. (1964), *Faraday Rotation in Glasses*, J. Chem. Phys. 1964, 41(11): 3289-3293.
- [11] Nikon, *Polarized light microscopy*.
<https://www.microscopyu.com/techniques/polarized-light/polarized-light-microscopy>
- [12] H. Schmid (1993), *Polarized Light Microscopy (PLM) of Ferroelectric and Ferroelastic Domains in Transmitted and Reflected Light*, Materials Science.
- [13] Thorlabs (2008), *Polarization Analysis System: Operation Manual*.
- [14] Goll, D., Seeger, M., and Kronmüller, H. (1998), *Magnetic and microstructural properties of nanocrystalline exchange coupled PrFeB permanent magnets*, J. Magn. Magn. Mater., 1998, 185: 49-60.
- [15] Sun, X.K., Zhang, J., Chu, Y.L., Liu, W., Cui, B.Z., and Zhang, Z.D (1999), *Dependence of magnetic properties on grain size of α -Fe in nanocomposite (Nd,Dy)(Fe,Co,Nb,B)_{5.5}/ α -Fe magnets*, Appl. Phys. Lett., 1999, 74(12): 1740-1742.
- [16] Gao, G. W., Feng, W.C., Liu, H.Q., Wang, B., Chen, W., Han, G.B., Zhang, P., Li, H., Li, W., Guo, Y.Q., Pan, W., Li, X.M., Zhu, M.G., and Li, X. (2003), *Exchange-coupling interaction, effective anisotropy and coercivity in nanocomposite permanent materials*, J. Appl. Phys., 2003, 94: 664-668.
- [17] Jin, J.Q., Cui, B.Z., Liu, J.P., Ding, Y., Wang, Z.L., and Thadhani, N.N. (2004), *Controlling the crystallization and magnetic properties of melt-spun Pr₂Fe₁₄B/ α -Fe nanocomposites by Joule heating*, Appl. Phys. Lett. 2004, 84(22): 4382-4284.
- [18] VEECO (2006), *VEECO Dimension 3100 Atomic Force Microscope (AFM) Procedure*.
<http://membrane.ces.utexas.edu/files/2012/07/AFM.pdf>
- [19] P. Stamenov and J.M.D. Coey, J. (2006), *Vector Vibrating Sample Magnetometer with a Permanent Magnet Flux Source*, Appl. Phys., 2006, Vol. 99(8).

- [20] <https://www.lakeshorecryotronics.com/hubfs/8600-with-vector-option.pdf>
- [21] Foner, S. (1956), *Vibrating sample magnetometer*, Rev. Sci. Instr., 1956, Vol. 27(548).
- [22] https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/XRD.html
- [23] https://vi.wikipedia.org/wiki/Tinh_th%E1%BB%83_h%E1%BB%8Dc_tia_X

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Trường Giang tốt nghiệp đại học ngành hệ thống điện, nhận bằng Thạc sĩ ngành kỹ thuật điện tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, nhận bằng Tiến sĩ ngành công nghệ đo lường và thử nghiệm tại Đại học Khoa học và Công nghệ Thượng Hải, Trung Quốc.

Lĩnh vực nghiên cứu: công nghệ đo lường và thử nghiệm, kỹ thuật bảo vệ rơle và tự động hóa, lưới điện thông minh SmartGrids, nguồn điện phân tán DG, năng lượng tái tạo RES, công nghệ truyền tải, thị trường điện.

