

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO CÁC NGUỒN VI NĂNG LƯỢNG VĨNH CỬU DỰA TRÊN VẬT LIỆU FePt

Lê Việt Cường^{1*}, Nguyễn Doãn Thành², Bùi Đình Tú², Nguyễn Thị Minh Hồng¹,
Quách Duy Trường³, Phạm Đức Thắng²

¹ PTN TD Công nghệ micro và nano, ĐH Công nghệ, ĐHQGHN, 144 Xuân Thủy, Cầu Giấy, Hà Nội;

² Khoa Vật lý kỹ thuật và Công nghệ nano, ĐH Công nghệ, ĐHQGHN, 144 Xuân Thủy, Cầu Giấy, Hà Nội;

³ Khoa Khoa học Cơ bản, Đại học Giao thông Vận tải, 3 Láng Thượng, Đống Đa, Hà Nội;

*Email: lvcuong1985@mail.com

Tóm tắt:

Các vi cấu trúc từ ngoài việc được sử dụng trong các cơ cấu vi chấp hành, vi hệ thống, còn đang được dùng như các nguồn năng lượng nhỏ, bền vững theo thời gian nhằm ứng dụng trong y sinh. Các vi cấu trúc từ này thường đòi hỏi phải có kích thước nhỏ, tạo ra được không gian từ trường với cường độ từ trường và độ biến thiên từ trường mong muốn. Trong bài báo này, vi cấu trúc từ FePt được nghiên cứu chế tạo bằng phương pháp phun xạ kết hợp với công nghệ quang khắc. Vi cấu trúc từ này gồm các hình khối có diện tích $60 \times 60 \mu\text{m}^2$ và chiều dày 500 nm, phân bố cách nhau 40 μm trên đế Si có diện tích $1 \times 1 \text{ cm}^2$. Cấu trúc từ chế tạo được này có dị hướng từ vuông góc với mặt phẳng đế với các giá trị đặc trưng đo theo phương vuông góc như lực kháng từ $H_{\text{CL}} \sim 4 \text{ kG}$ và độ từ dư $M_{\text{RL}} \sim 200 \text{ emu/cm}^3$. Mỗi vi cấu trúc từ này có thể tạo ra một nguồn năng lượng với giá trị lên đến 126 kJ/m^3 , có tiềm năng cho ứng dụng trong bắt giữ các phân tử kích thước micro-nano.

Từ khóa: vi cấu trúc từ, FePt, vi năng lượng

GIỚI THIỆU

Các màng từ tính NdFeB, SmCo, FePt, ... đã được sử dụng làm các nam châm và các nguồn năng lượng vĩnh cửu trong các cơ cấu và hệ thống vi chấp hành, thiết bị lab-on-chip, mô-tơ và máy phát điện kích thước micro, ... Trong nhiều ứng dụng, các nguồn từ trường vĩnh cửu cần có kích thước cỡ micro, cường độ từ trường lớn và biến thiên từ trường mạnh. Để có thể tạo ra các nguồn từ trường kiểu này, các cấu trúc từ cứng có hình dạng, kích thước và thuộc tính từ phù hợp thường được kết hợp với nhau theo những trật tự phù hợp trong một vùng diện tích nhỏ. Sự sắp xếp như vậy sẽ tạo thành các vi cấu trúc từ vĩnh cửu - các nguồn vi năng lượng vĩnh cửu.

Nhiều phương pháp đã được phát triển để chế tạo các nguồn vi năng lượng này như phương pháp phun xạ [1, 7, 8], phương pháp điện hóa [2, 3] phương pháp tự sắp xếp phân tử [4], phương pháp in từ [5, 6], ... Trong số đó, phương pháp phun xạ kết hợp với công nghệ quang khắc là một phương pháp chế tạo chính xác và ổn định [9]. Các nguồn vi năng lượng được chế tạo bằng phương pháp này thường có được cấu hình mong muốn với kích thước bề mặt, chiều dày và hình dạng phù hợp.

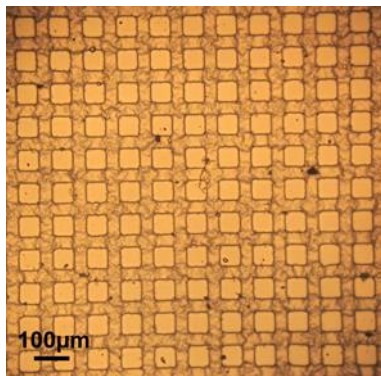
Trong bài báo này, chúng tôi sẽ trình bày về các thuộc tính và cấu trúc của các nguồn vi năng lượng vĩnh cửu FePt được chế tạo bằng phương pháp phun xạ kết hợp với công nghệ quang khắc.

THỰC NGHIỆM

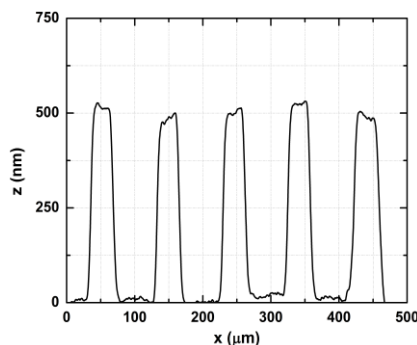
Nguồn vi năng lượng gồm các màng từ FePt kích thước micro được chế tạo bằng hệ thống quang khắc (MJB4, Suss MicroTec, Đức) và hệ thống phun xạ (ATC 2000, AJA Internatioanl, Mỹ). Đế Si sau khi được làm sạch được phủ lớp cảm quang S1818. Lớp cảm quang này sau đó được tạo hình bằng hệ quang khắc thông qua một mặt nạ có cấu trúc phù hợp. Bước sóng của ánh sáng khắc là 360 nm, cường độ sáng là $1,6 \text{ mW/cm}^2$ và thời gian khắc là 25 giây. Tiếp theo, đế Si được đưa vào buồng bốc bay với chân không cơ sở là 1×10^{-7} Torr của hệ phun xạ để lắng đọng lớp màng $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$. Lớp màng được lắng đọng trong thời gian 15 phút tại nhiệt độ đế 350°C , áp suất khí Ar là 5.0 mTorr và công suất nguồn phun xạ DC là 300 W. Sau đó, đế và màng được ủ nhiệt ngay trong chân không 1×10^{-7} Torr của buồng bốc bay ở nhiệt độ 450°C trong 60 phút. Cuối cùng đế và màng được rung rửa trong a-xê-tôn nhằm loại bỏ những phần FePt không mong muốn, những phần cảm quang còn lại sau quá trình khắc và thu được vi cấu trúc từ.

Các thuộc tính về kích thước và hình dạng của các vi cấu trúc từ được kiểm tra bằng kính hiển vi quang học (Axio Imager.A1m, Carl Zeiss, Đức) và thiết bị đo chiều dày α -step (Dektak 150, Veeco, Mỹ). Hình thái học bề mặt và cấu trúc tinh thể của các của vi cấu trúc từ được nghiên cứu bằng kính hiển vi lực nguyên tử (NT-MDT, Nga) và thiết bị nhiễu xạ tia X (D8 Advance, Bruker, Đức). Các tính chất từ của của vi cấu trúc từ được đánh giá thông qua các đường co từ trễ đo được bằng thiết bị từ kế mẫu rung (VSM 7400, Lakeshore, Mỹ).

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN



(a)

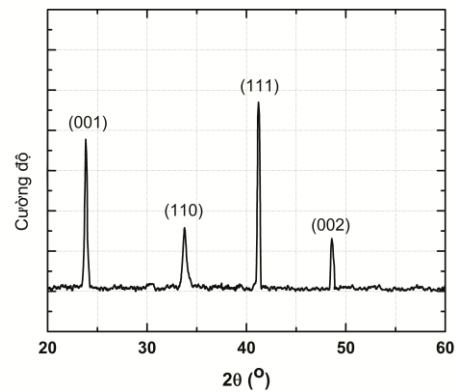


(b)

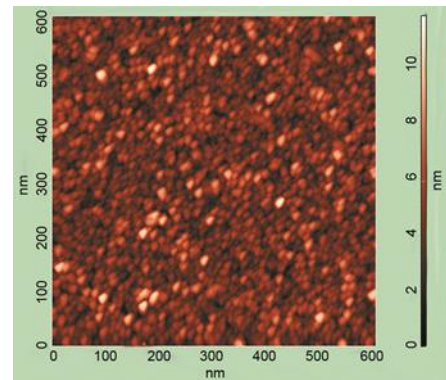
Hình 1. Hình ảnh bề mặt (a) và đồ thị biểu diễn chiều dày (b) của các vi cấu trúc FePt.

Hình 1a là hình ảnh bề mặt của nguồn vi năng lượng sau chế tạo được cùng với hình 1b là đồ thị biểu diễn chiều dày của các màng FePt trong nguồn. Các kết quả thu được cho thấy nguồn vi năng lượng gồm các ô FePt có dạng vuông với kích thước $60 \times 60 \mu\text{m}^2$ và dày 500 nm, khoảng cách giữa các ô là 40 μm . Hình dạng, kích thước bề mặt, chiều dày của các ô cũng như khoảng cách giữa các ô trong nguồn là đồng đều, phù hợp với thiết kế ban đầu.

Kết quả đo nhiễu xạ tia X của màng FePt được thể hiện trong hình 2a. Chúng ta có thể thấy màng từ này có cấu trúc trật tự fct (kiểu L10) với các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng (001), (110) và (002). Đỉnh nhiễu xạ (111) xuất hiện tại góc $2\theta \sim 41^\circ$ cũng biểu hiện cho sự hình thành cấu trúc tinh thể fct trong vật liệu FePt, vì với FePt có cấu trúc tinh thể bất trật tự fcc (kiểu A1) thì đỉnh nhiễu xạ (111) sẽ ở vị trí góc $2\theta \sim 39,5^\circ$.



(a)



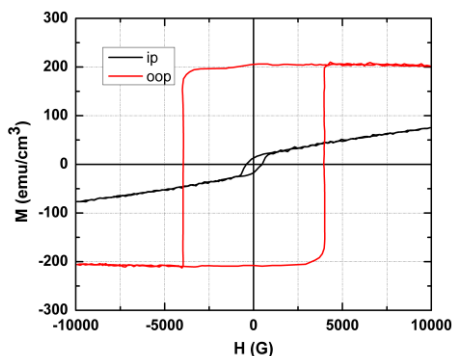
(b)

Hình 2. Giải đồ nhiễu xạ tia X (a) và hình thái học bề mặt (b) của màng FePt.

Sự hình thành cấu trúc tinh thể fct trong màng FePt còn được thể hiện thông qua sự hình thành và phát triển của các hạt tinh thể trong mỗi vi cấu trúc. Thực vậy, hình ảnh hình thái học bề mặt của một ô vi cấu trúc FePt trong hình 2b, chụp được bằng kính hiển vi lực nguyên tử, cho thấy cấu trúc vi mô có chứa các hạt tinh thể với kích thước trung bình 20 nm. Kích thước cỡ nm này là phù hợp với kích thước của pha tinh thể fct, hình thành từ pha nền fcc trong vật liệu FePt [10].

Tính chất từ của các vi cấu trúc từ sau chế tạo được đánh giá qua việc đo đường cong từ trễ theo hai phương song song và vuông góc với mặt

phẳng đế Si (hình 3). Chúng ta có thể thấy rằng vật liệu FePt có dị hướng từ vuông góc cùng tính chất từ cứng, thể hiện qua độ vuông lớn, theo phương vuông góc với mặt phẳng đế. Với đường cong từ trễ thu được khi từ hóa nguồn theo phương vuông góc, các giá trị lực kháng từ (H_{CL}) cỡ 4 kG và độ từ dư (M_{RL}) cỡ 200 emu/cm³ thu được là phù hợp với năng lượng dị hướng từ tinh thể lớn của pha tinh thể fct. Cùng với đường cong từ trễ nhỏ chưa bão hòa khi từ hóa theo phương song song với mặt phẳng đế, chúng ta có thể thấy rằng các vi cấu trúc từ chế tạo được có trục từ hóa dễ theo phương vuông góc với mặt phẳng nguồn. Từ đường cong từ hóa theo phương vuông góc, chúng ta có thể tính được mật độ năng lượng cực đại (BH)_{max} mà các vi cấu trúc từ này tạo ra được. Mỗi vi cấu trúc từ FePt trong tổ hợp đã chế tạo có thể tạo ra một nguồn năng lượng có giá trị cỡ 126 kJ/m³, có thể xem như một nguồn vi năng lượng vĩnh cửu. Ngoài ra, có thể thấy rằng mặc dù được chế tạo bằng công nghệ quang khắc nhưng vi cấu trúc từ của chúng tôi có chiều dày lớn hơn hẳn khi so sánh với các kết quả nghiên cứu trước, cụ thể các kết quả trong tài liệu [9] với chiều dày của vi cấu trúc từ chỉ từ 70 nm tới 100 nm. Nhờ tăng được chiều dày nên từ trường trong không gian xung quanh bề mặt vi cấu trúc sẽ duy trì được ở những khoảng cách xa so với bề mặt vi cấu trúc.



Hình 3. Đường cong từ trễ của nguồn vi năng lượng đo theo phương song song (ip) và vuông góc (oop) với bề mặt nguồn.

KẾT LUẬN

Nguồn vi năng lượng gồm các vi cấu trúc từ Fe₅₀Pt₅₀ trên đế Si đã được chế tạo bằng phương pháp phún xạ kết hợp với công nghệ quang khắc. Nguồn vi năng lượng có cấu hình phù hợp so với thiết kế, với các ô FePt đồng đều, kích thước bề mặt và chiều dày lần lượt là 60×60 μm² và 500 nm, cách nhau 40 μm. Nguồn vi năng lượng có tính chất từ cứng, dị hướng vuông góc với các

thông số $H_{CL} \sim 4$ kG, $M_{RL} \sim 200$ emu/cm³ và $(BH)_{max} \sim 126$ kJ/m³. Các kết quả này cho thấy các nguồn năng lượng đã chế tạo được có khả năng sử dụng như các nguồn vi năng lượng vĩnh cửu và có thể phát triển cho các ứng dụng trong thực tế.

Lời cảm ơn

Bài báo này được thực hiện với sự hỗ trợ của Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia Việt Nam (NAFOSTED), đề tài mã số 103.02-2015.80.

Tài liệu tham khảo

1. H. Rostaing, H. Chetouani, M. Gheorghe, and P. Galvin, *Sensors and Actuators A*, 135, 776-781 (2007).
2. M. Frenea-Robin, H. Chetouani, N. Haddour, H. Rostaing, J. Laforet, and G. Reyne, *Proceedings of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Canada*, (2008).
3. H. Chetouani, V. Haguët, C. Jeandey, C. Pigot, A. Walther, N. M. Dempsey, F. Chatelain, B. Delinchant, G. Reyne, *Proceedings of Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference, France* 715-718 (2007).
4. D. Issadore, H. Shao, J. Chung, A. Newton, M. Pittet, R. Weissleder, and H. Lee, *Lab on a Chip*, 11, 147-151 (2007).
5. N. M. Dempsey, D. Le Roy, H. Marelli-Mathevon, Gorky Shaw, A. Dias, R. B. G. Kramer, L. V. Cuong, M. Kustov, L. F. Zanini, C. Villard, K. Haselbach, C. Tomba and F. D. Bouchiat, *Applied Physics Letters*, 104, 262401_1-262401_5 (2014).
6. C. Huber, C. Abert, F. Bruckner, M. Groenefeld, O. Muthsam, S. Schuschnigg, K. Sirak, R. Thanhoffer, I. Teliban, C. Vogler, R. Windl, and D. Suess, *Applied Physics Letters*, 109, 162401-162405 (2016).
7. O. Osman, S. Toru, F. D. Bouchiat, N. M. Dempsey, N. Haddour, L. F. Zanini, F. Buret, G. Reyne, and M. F. Robbin, *Biomicrofluidics*, 7, 054115_1-054115_11 (2013).
8. J. Pivetal, D. Royet, G. Ciuta, M. F. Robin, N. Haddour, N. M. Dempsey, F. D. Bouchiat, P. Simonet, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 380, 72-77 (2015).
9. S. Rampini, P. Li, and G. U. Lee, *Lab on a Chip*, 16, 3645-3663 (2016).
10. L. V. Cuong, *Fabrication and characterization of nanostructured FePt and NiFe thin films*, Master thesis, Vietnam National University, Hanoi (2010).