



مقاله نامه هفتمین کنفرانس ملی خلأ ایران

دانشگاه مازندران

۲۰ و ۲۱ آبان ۱۳۹۴

## تاثیر فرکانس لیزر در لایه نشانی لیزر پالسی بر ویژگی‌های ساختاری و مغناطیسی لایه‌های نازک فریت کبالت

اسکندری، فاطمه<sup>۱</sup>؛ کاملی، پرویز<sup>۱</sup>؛ سلامتی، هادی<sup>۱</sup>؛ اسماعیلی، امیرسجاد<sup>۲</sup><sup>۱</sup>گروه فیزیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان<sup>۲</sup>گروه فیزیک، ترینیتی کالج دوبلین، دوبلین، ایرلند

### چکیده

در این مقاله لایه‌های نازک فریت کبالت بر روی زیرلایه‌ی تک بلور  $MgO(001)$  به روش لایه نشانی لیزر پالسی با فرکانس‌های ۲ و ۵ هرتز لیزر ساخته شد. طیف پراش پرتو ایکس نمونه‌ها، تشکیل ساختار تک بلوری در راستای (۰۰۸) را برای نمونه‌ها نشان داد. تصاویر میکروسکوب نیروی اتمی، ساختار پیوسته سطحی برای نمونه لایه نشانی شده با فرکانس ۲ Hz و ساختار جزیره‌ای برای نمونه‌ی لایه نشانی شده در فرکانس ۵ Hz را نمایش داد. نتایج حاصل از منحنی پسماند نمونه‌های لایه نشانی شده در فرکانس‌های ۲ و ۵ Hz نشان دهنده‌ی وجود ناهمسانگردی مغناطیسی و تغییر جهت محور آسان نمونه‌ها با تغییر فرکانس لیزر بود.

## The effect of the laser frequency in pulsed laser deposition on structural and magnetic properties of cobalt ferrite thin films

Eskandari, Fatemeh<sup>1</sup>; Kameli, Parviz<sup>1</sup>; Salamati, Hadi<sup>1</sup>; Esmaceli, Amirsajjad<sup>2</sup><sup>1</sup>Physics Department, Isfahan university of technology, Isfahan<sup>2</sup>Physics Department, Trinity College Dublin, Dublin, Ireland

### Abstract

In this paper cobalt ferrite thin films were deposited on  $MgO(001)$  single crystal substrates by pulsed laser deposition method with 2 and 5 hertz laser frequencies. X-ray diffraction patterns of samples showed the formation of single crystal structure along (008) direction for samples. Atomic force microscopy images exhibited the surface continuous structure for the sample deposited in 2 Hz frequency and islanding structure for sample deposited in 5 Hz frequency. The results of hysteresis curve of samples deposited in 2 and 5 Hz frequencies indicated anisotropy magnetic and changing in easy axis direction of samples by changing laser frequency.

CFO روش‌های مختلفی وجود دارد [۳، ۴]. یکی از روش‌های

مناسب برای ساخت لایه نازک CFO، لایه نشانی لیزر پالسی

(PLD) است. در این روش به علت استفاده از خلأ بالا (۶ Torr<sup>-۶</sup>۱۰<sup>-۶</sup>)، نمونه‌ها از یکنواختی، خلوص و کیفیت خوبی

برخوردارند [۵-۷]. در این مقاله به منظور بررسی تاثیر شرایط لایه

نشانی بر ویژگی‌های لایه نازک CFO، این ماده به روش PLD و

در فرکانس‌های ۲ و ۵ Hz لیزر بر روی زیرلایه تک بلوری (۰۰۱)

### مقدمه

لایه‌های نازک فریت کبالت  $(CFO) CoFe_2O_4$ ، به علت دارا بودن ویژگی‌های فیزیکی جالب توجه مانند دمای کوری بالا، میدان وادارندگی ( $H_c$ ) و مغناطش بزرگ، ناهمسانگردی مغناطیسی قوی و پایداری شیمیایی خوب، گزینه مناسبی برای کاربردهای صنعتی مانند ضبط‌های مغناطیسی چگالی بالا و وسایل مغناطونوری می‌باشند [۱، ۲]. برخی از این ویژگی‌ها مانند  $H_c$  و ناهمسانگردی مغناطیسی تابع روش و شرایط لایه نشانی هستند. برای لایه نشانی

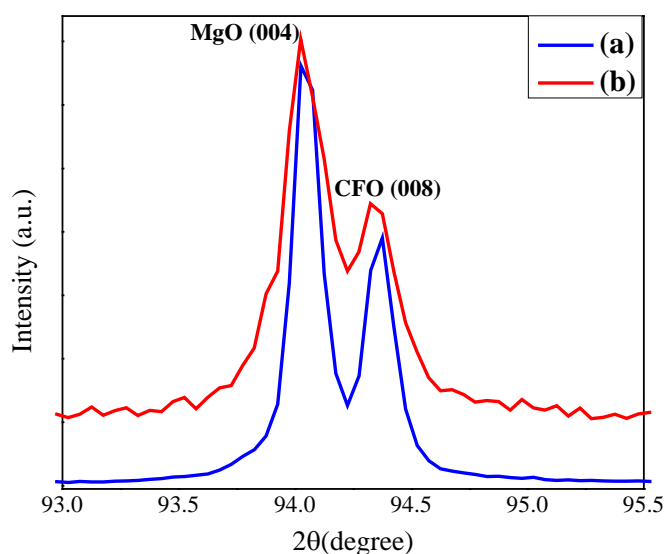
MgO لایه نشانی شده و ویژگی‌های مغناطیسی و بلوری آن مورد بررسی قرار گرفته است. جزئیات آزمایشگاهی لایه‌های نازک CFO به روش لایه نشانی لیزر پالسی بر روی زیرلایه تک بلوری MgO(۰۰۱) در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  و فشار اکسیژن ۲۰ mTorr لایه نشانی شدند. ابتدا محفظه تا فشار زمینه حدود  $6 \times 10^{-6}$  Torr خلاء و سپس گاز اکسیژن وارد محفظه شد. پرتوی لیزر اگزایمر (KrF) با طول موج ۲۴۸ nm و انرژی حدود ۲۰۰ mJ/pulse بر روی هدف درون محفظه متمرکز شد. تعداد پالس لیزر ۱۰۰۰۰ و فاصله هدف تا زیرلایه حدود ۶/۵ cm بود. لایه نشانی با فرکانس‌های ۲ و ۵ Hz انجام شد. به منظور بررسی ویژگی‌های ساختاری و مورفولوژی نمونه‌های تهیه شده، طیف پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین مغناطش نمونه‌ها با استفاده از دستگاه SQUID اندازه گیری شد.

## جزئیات آزمایشگاهی

نتایج و بحث شکل ۱ طیف XRD قرص هدف CFO را نشان می‌دهد. تحلیل این طیف مطابق با نرم افزار Xpert و کارت شماره ۰۰۹۷-۱۹ تشکیل ساختار بس بلور اسپینل مکعبی برای هدف CFO را تأیید می‌کند.

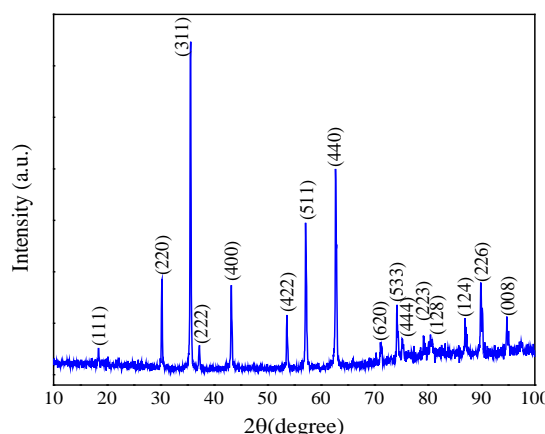
## نتایج و بحث

شکل ۲ طیف XRD لایه‌های CFO، لایه نشانی شده با فرکانس‌های مختلف ۲(a) و ۵ Hz(b) در لایه نشانی به روش PLD، ذرات کنده شده از هدف به وسیله پالس‌های اولیه، به صورت جزیره‌ای روی زیرلایه قرار می‌گیرند. با تابش پالس‌های بعدی ذرات فرودی به سطح زیرلایه یا روی جزیره‌ها قرار می‌گیرند و یا حفره‌های بین جزیره‌ها را پر می‌کنند. با تغییر فرکانس لایه نشانی، آهنگ برخورد ذرات به سطح زیرلایه نیز تغییر می‌کند. در فرکانس‌های پایین‌تر ذرات با آهنگ کندتری به سطح زیرلایه برخورد کرده و در نتیجه فرصت بیشتری



شکل ۲: طیف XRD نمونه‌های CFO، لایه نشانی شده با فرکانس‌های مختلف ۲(a) و ۵ Hz(b)

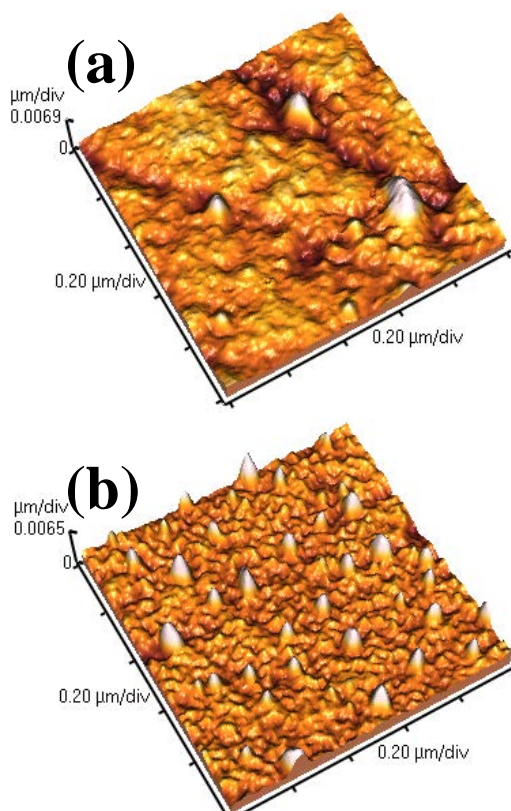
شکل ۱: طیف XRD نمونه‌ی قرص هدف CFO. شکل ۲: طیف XRD لایه‌های CFO، لایه نشانی شده در فرکانس‌های ۲ و ۵ Hz لیزر را نشان می‌دهد. ثابت شبکه CFO



شکل ۱: طیف XRD نمونه‌ی قرص هدف CFO

۴۸

کوچک‌تر است. مشابه این موضوع در لایه نازک FePt لایه نشانی شده به روش PLD با فرکانس‌های مختلف لیزر دیده شده است [۸].



شکل ۳: تصاویر AFM نمونه‌های CFO. لایه نشانی شده در فرکانس‌های مختلف (a) ۲ Hz، (b) ۵ Hz.

دلیل دیگر ناهمسانگردی مغناطیسی مشاهده شده در منحنی‌های شکل ۴ را می‌توان به ناهمسانگردی مغناطیسی ناشی از تنش و شکل نسبت داد [۹]. ناهمسانگردی تنش ناشی از عدم تطابق پارامتر شبکه لایه و زیرلایه باعث ناهمسانگردی عمود بر صفحه می‌شود، در حالی که ناهمسانگردی شکل تمایل دارد محور آسان در راستای موازی صفحه زیرلایه باشد. رقابت این عوامل، جهت محور آسان را در ماده مشخص می‌کند.

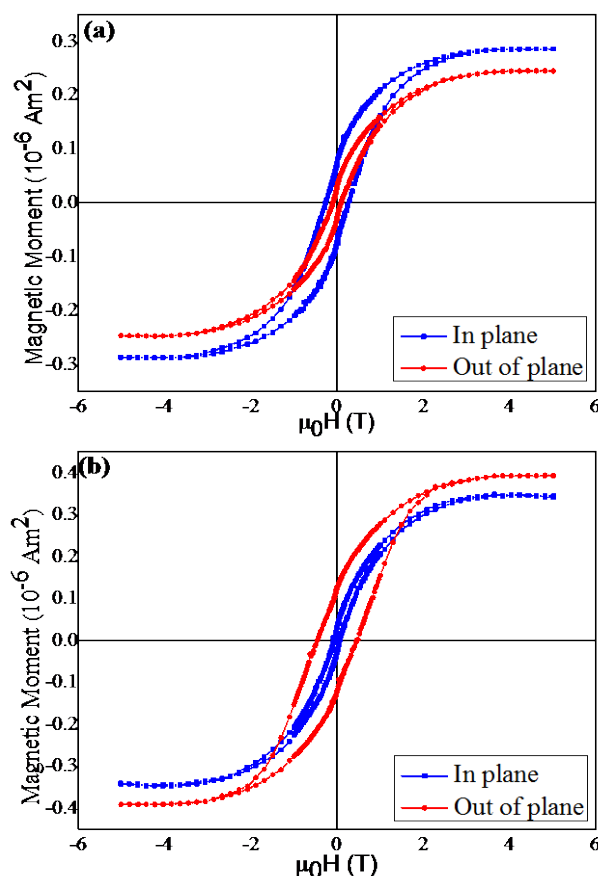
دارند تا موازی سطح حرکت کنند و حفره‌های بین جزیره‌ها را پر کنند. بنابراین در فرکانس‌های پایین رشد لایه بیشتر به حالت پیوسته روی سطح صورت می‌گیرد. در حالی که با افزایش فرکانس لیزر در لایه نشانی، آهنگ برخورد ذرات به زیرلایه افزایش یافته و ذرات فرصت کافی برای حرکت بین جزیره‌ها پیدا نمی‌کنند، در نتیجه رشد لایه‌ها بیشتر به صورت جزیره جزیره خواهد بود [۸]. همچنین به نظر می‌رسد ضخامت لایه‌ها به تغییرات فرکانس لیزر در لایه نشانی وابسته باشد و با افزایش فرکانس لیزر، ضخامت افزایش و با کاهش آن کاهش می‌یابد. در این مقاله با توجه به این که تعداد پالس لیزر در لایه نشانی‌ها ثابت بود، تغییرات ضخامت نمونه‌ها ناچیز است. شکل ۳ تصاویر AFM نمونه‌های CFO لایه نشانی شده در فرکانس‌های مختلف لیزر را نشان می‌دهد. در تصویر AFM لایه با فرکانس ۲ Hz (شکل ۳a) دیده می‌شود که سطح نمونه به صورت پیوسته رشد کرده است. در حالی که با افزایش فرکانس لیزر به ۵ Hz (شکل ۳b) پیوستگی سطح لایه کاهش یافته و شاهد دانه بندی روی سطح نمونه هستیم که این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده رشد جزیره‌ای نمونه در فرکانس ۵ Hz باشد. شکل ۴ نشان‌دهنده منحنی پسماند در دمای اتاق نمونه‌های لایه نشانی شده با فرکانس ۲ و ۵ Hz به صورت میدان موازی و عمود بر سطح زیرلایه است. در نمونه ۲ Hz میدان وادارندگی موازی زیرلایه ( $H_c^{\parallel}$ ) ۰/۲۶۹ T و میدان وادارندگی عمود بر زیرلایه ( $H_c^{\perp}$ ) ۰/۰۹۹ T است. ساختار پیوسته سطح لایه در نمونه ۲ Hz باعث شده است، میخکوب شدن دیواره‌ی حوزه‌های مغناطیسی در این نمونه کمتر باشد و در نتیجه ممان‌های مغناطیسی در راستای موازی سطح نسبت به راستای عمود بر سطح راحت‌تر حرکت کنند، در نتیجه جهت محور آسان مغناطش در این نمونه موازی صفحه زیرلایه است.  $H_c^{\parallel}$  نمونه ۵ Hz برابر T ۰/۰۶۶ و  $H_c^{\perp}$  آن T ۰/۴۶۲ است و محور آسان این نمونه عمود بر صفحه زیرلایه می‌باشد. مطابق انتظارمان به علت پیوسته‌تر بودن ساختار سطح در نمونه ۲ Hz نسبت به ۵ Hz،  $H_c^{\parallel}$  نمونه ۲ Hz از  $H_c^{\parallel}$  نمونه ۵ Hz بزرگتر و  $H_c^{\perp}$  آن از  $H_c^{\perp}$  نمونه ۵ Hz



صفحه زیرلایه بود در حالی که محور آسان  $5\text{ Hz}$  عمود بر صفحه زیرلایه بود.

### مرجع ها

- [۱] T. Dhakal, D. Mukherjee, R. Hyde, P. Mukherjee, M. H. Phan, H. Srikanth, et al., "Magnetic anisotropy and field switching in cobalt ferrite thin films deposited by pulsed laser ablation," *Journal of Applied Physics*, vol. 107, 2010.
- [۲] Y. Suzuki, R. B. Van Dover, E. M. Gyorgy, J. M. Phillips, V. Korenivski, D. J. Werder, et al., "Structure and magnetic properties of epitaxial spinel ferrite thin films," *Applied Physics Letters*, p. 714, 1995.
- [۳] W. Rao, Y. B. Wang, Y. A. Wang, J. X. Gao, W. L. Zhou, and J. Yu, "Surface morphology and magnetic properties of  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  thin films prepared via sol-gel method," in *Advanced Materials Research* vol. 750-752, ed, 2013, pp. 1024-1028.
- [۴] H. Yanagihara, Y. Utsumi, T. Niizeki, J. Inoue, and E. Kita, "Perpendicular magnetic anisotropy in epitaxially strained cobalt-ferrite (001) thin films," *Journal of Applied Physics*, vol. 115, 2014.
- [۵] S. C. Sahoo, N. Venkataramani, S. Prasad, M. Bohra, and R. Krishnan, "Pulse laser deposited nanocrystalline cobalt ferrite thin films," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 10, pp. 3112-3117, 2010.
- [۶] A. Chen, N. Poudyal, J. Xiong, J. P. Liu, and Q. Jia, "Modification of structure and magnetic anisotropy of epitaxial  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  films by hydrogen reduction," *Applied Physics Letters*, vol. 106, 2015.
- [۷] S. C. Sahoo, N. Venkataramani, S. Prasad, M. Bohra, and R. Krishnan, "Thickness dependent anomalous magnetic behavior in pulsed-laser deposited cobalt ferrite thin film," *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, vol. 106, pp. 931-935, 2012.
- [۸] I. A. Golovchanskiy, S. A. Fedoseev, and A. V. Pan, "Quantitative model for tunable microstructure in magnetic  $\text{FePt}$  thin films by pulsed laser deposition," *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 46, 2013.
- [۹] M. Khodaei, S. A. Seyyed Ebrahimi, Y. J. Park, J. M. Ok, J. S. Kim, J. Son, et al., "Strong in-plane magnetic anisotropy in (111)-oriented  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  thin film," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 340, pp. 16-22, 2013.



شکل ۴: منحنی پسماند لایه نازک CFO لایه نشانی شده در فرکانس های (a)  $5\text{ Hz}$  و (b)  $2\text{ Hz}$

### نتیجه گیری

لایه های نازک فریت کبالت به روش PLD بر زیرلایه  $\text{MgO}$  در فرکانس های ۲ و  $5\text{ Hz}$  ساخته شدند. طیف XRD کاهش پارامتر شبکه با افزایش فرکانس را نشان داد که علت آن تنش کششی موازی صفحه زیرلایه بود. در نمونه های لایه نشانی شده با فرکانس پایین ( $2\text{ Hz}$ )، به علت این که آهنگ برخورد ذرات به سطح کمتر است، پیوستگی لایه بیشتر بود و در نمونه های لایه نشانی شده در فرکانس  $5\text{ Hz}$  رشد جزیره های بیشتر دیده شد. با توجه به منحنی پسماند نمونه ها نتیجه گیری شد که جهت محور آسان در نمونه ها به شرایط رشد وابسته است. محور آسان نمونه  $2\text{ Hz}$ ، موازی