

## خواص ساختاری و مغناطیسی چندلایه‌ای های نامتجانس **Fe(20Å)/Ag(xÅ)/Co(20Å)**

پریسا قهرمانی نژاد<sup>۱,۲</sup>؛ محمود رضایی رکن آبادی<sup>۱,۲</sup>؛ محمد بهدانی<sup>۱,۳</sup>؛ احمد امیرآبادی‌زاده<sup>۳</sup> و مجتبی محمدی<sup>۱,۴</sup>

۱- گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

۲- آزمایشگاه تحقیقاتی لایه نازک، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

۳- گروه فیزیک، دانشگاه بیرجند، بیرجند

چکیده - چندلایه‌ای مغناطیسی  $Fe(20\text{\AA})/Ag(x\text{\AA})/Co(20\text{\AA})$  با ضخامت‌های متغیر لایه‌ جداکننده Ag توسط دستگاه تبخیر حرارتی در خلاً کاری  $2 \times 10^{-9} \text{ mbar}$  نشانی شدند. خواص ساختاری نمونه‌ها توسط XRD و همچنین پاسخ مغناطیسی نمونه‌ها در دماهای پایین توسط سیستم اندازه گیری خواص فیزیکی (PPMS) و در دمای اتاق توسط مغناطیس سنج نمونه مرتعش (VSM) بررسی شد. محور آسان مغناطیش برای این نمونه‌ها درون صفحه‌ای اندازه گیری شد. اندازه گیری‌های مغناطیسی نشان‌دهنده تغییر در نوع جفت‌شدگی چندلایه‌ای با تغییر در ضخامت لایه جداکننده Ag است. با کاهش ضخامت لایه جداکننده افزایش در ممان مغناطیسی نمونه‌ها دیده شد. همچنین با افزایش دما، مغناطیش نمونه‌ها و  $H_c$  کاهش یافته است.

کلیدواژه - چندلایه‌ای مغناطیسی، لایه جداکننده، منحنی پسماند، محور آسان مغناطیش

### structural and magnetic properties of Fe(20Å) /Ag(xÅ)/Co(20Å) hetro-multilayers

Parisa Ghahramaninezhad<sup>1,2</sup>, Mahmoud Rezaei Rokn-abadi<sup>1,2</sup>, Mohammad Behdani<sup>1,2</sup>,  
Ahmad Amir abadi zade<sup>3</sup>, Mojtaba Mohmmadi<sup>1,2</sup>

1-Physics Department, Faculty of science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad

2-thin film research lab, Physics Department, Faculty of science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad

3.Physics Department, Birjand university, Birjand

**Abstract-** We have deposited Fe/Ag/Co multilayer by physical vapor deposition (PVD) method in different Ag thickness as spacer working in a vacuum of  $2 \times 10^{-6} \text{ mbar}$ . The structural properties , magnetic response of the samples at low temperatures and room temperature was investigated by XRD, physical properties measurement system (PPMS) and vibrating sample magnetometer (VSM) respectively. Hysteresis loops show that the easy axis of magnetization is in plane of the film . Magnetic measurements show dependence of exchange coupling as a pattern of Ag thickness as spacer. magnetic moment shows increasing with decrease of spacer thickness. Also the magnetization and  $H_c$  of samples decrease with increasing temperature.

**Keywords:** Magnetic multilayer , spacer , Hysteresis curve , easy axis of magnetization

استفاده شده است. نمونه‌ها تا زمان ارسال برای آنالیز در خلاً بوده اند و سپس آنالیز XRD، VSM، PPMS انجام شده است.

ساختار چندلایه‌ای‌ها توسط پراش پرتو X بررسی شد. وهمچنین پاسخ مغناطیسی نمونه‌ها با استفاده از اندازه‌گیری منحنی پسماند با اعمال میدان در راستاهای موازی و عمود بر صفحه فیلم در دمای اتاق و همچنین در دمای اتاق پایین تر از دمای اتاق با اعمال میدان در راستای عمود بر صفحه فیلم توسط PPMS در دانشگاه ولنگونگ استرالیا بررسی شده است. جدول ۱ ضخامت نمونه‌های جایگذاری شده به صورت تجربی را نشان می‌دهد.

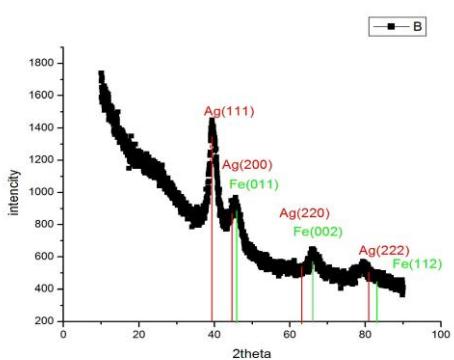
جدول ۱- ضخامت نمونه‌ها

نوع لایه	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳
Fe	۲۰ Å	۲۰ Å	۲۰ Å
Ag	۱۰ Å	۲۰ Å	۴۰ Å
Co	۲۰ Å	۲۰ Å	۲۰ Å

### ۳- نتایج ساختاری و مغناطیسی

#### نتایج ساختاری

شکل (۱) طرح پراش پرتو ایکس برای چندلایه‌ای Fe/Ag/Co است که بیانگر تشکیل ساختار مکعبی در چندلایه‌ای می‌باشد. پیک‌های اهن و نقره دارای جهت-گیری (۱۱۱)، Ag(200)، Ag(222)، Ag(111)، Ag(200)، Fe(011)، Fe(002)، Fe(112) است.



شکل ۱- طرح پراش پرتو ایکس چندلایه‌ای Fe/Ag/Co

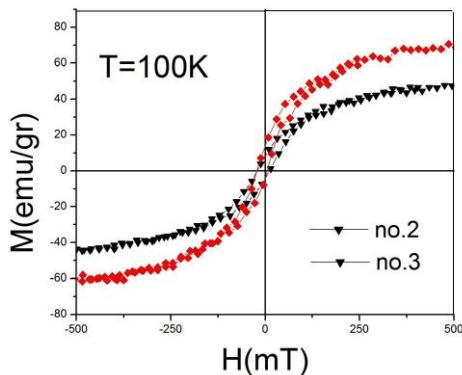
### ۱- مقدمه

بخش عمده‌ای از فیزیک ماده چگال، متکی بر تحقیقات اساسی و کاربردی در تولید مواد جدید با پیکربندی غیرمعمول قرار می‌گیرد. مواد مغناطیسی زیر بنای علمی برای شمار جدیدی از فناوری‌ها می‌باشد و همچنین علاقه به سمت سیستم‌های چندلایه‌ای مغناطیسی به طور فراینده‌ای افزایش پیدا کرده است.<sup>[۲-۱]</sup> جفت‌شدنگی نوسانی به دلیل تناوبی بودن جفت‌شدنگی فرومغناطیسی و پادفرومغناطیسی بین لایه‌های فرومغناطیس به عنوان تابعی از ضخامت لایه جداکننده در بسیاری از سیستم‌های چندلایه‌ای مغناطیسی و غیرمغناطیسی دیده شده است.<sup>[۳]</sup> این مطلب اساس کشف پدیده ای به نام مقاومت مغناطیسی غول آسا (GMR) به شمار می‌رود. این اثر برای اولین بار بر روی غشای نازک Fe/Cr/Fe و چندلایه‌ای Fe/Cr کشف شد. قدرت جفت‌شدنگی بین لایه‌های آهن تابع نوسانی از ضخامت لایه جداکننده کروم است.<sup>[۴-۵]</sup> جفت‌شدنگی نوسانی تبادلی بین چندلایه‌ای‌ها نتیجه برهم کنش تبادلی غیرمستقیم انجام شده توسط الکترون‌های رسانای لایه جداکننده می‌باشد. <sup>[۶]</sup> در این گزارش با استفاده از دستگاه تبخير حرارتی در خلاً چندلایه‌ای‌های Fe(20Å)/Ag(XÅ)/Co(20Å) با لایه جداکننده Ag با ضخامت‌های مختلف آماده سازی شدند و توسط مشخصه‌یابی‌های XRD، VSM و Mesurement system (PPMS) vibrational sample مورد بررسی قرار گرفتند.

### ۲- آماده سازی نمونه‌ها و کارهای تجربی

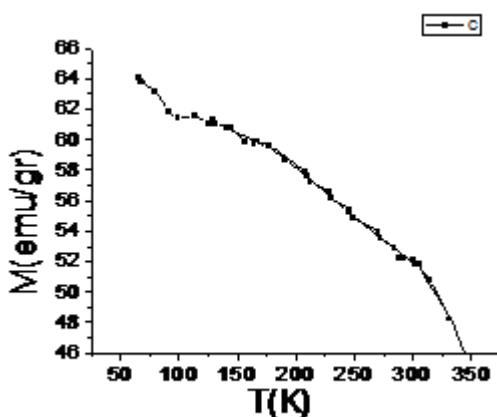
برای ساخت نمونه‌ها از دستگاه تبخير حرارتی در خلاً مدل (Edwards E306)، زیرلایه‌ها از جنس سیلیکون و از مواد اولیه آهن، کبالت، نقره با خلوص بالا استفاده شده است. دستگاه قبل از عملیات لایه نشانی به مدت ۲۴ ساعت در خلاً بوده که در نهایت خلاً پایه به میزان  $4 \times 10^{-7}$  mbar و خلاکاری  $2 \times 10^{-7}$  mbar بوده است. چندلایه‌ای Fe/Ag/Co با ضخامت لایه اهن و کبالت ۲۰ Å و لایه جداکننده Ag در ضخامت‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ Å انگسترومی با تعداد تکرار سه لایه‌ای ۴ بار ولایه بافر Ag با ضخامت ۵۰ Å و نهایت پوشش ۴۰ Å از آلومینیوم برای محافظت از لایه در برابر اکسید شدن

شود که نمونه ۲ فرومغناطیس و نمونه ۳ پادفرومغناطیس است (شکل ۴).



شکل ۴- مقایسه منحنی پسماند برای ضخامت ۲۰ و ۴۰ انگسترومی نقره.

نمودار مغناطش برحسب دما (شکل ۵) برای نمونه ۲ به وضوح نشان می‌دهد که با افزایش دما مغناطش نمونه کاهش یافته است، که می‌تواند تاییدی بر رفتار فرومغناطیسی نمونه باشد.

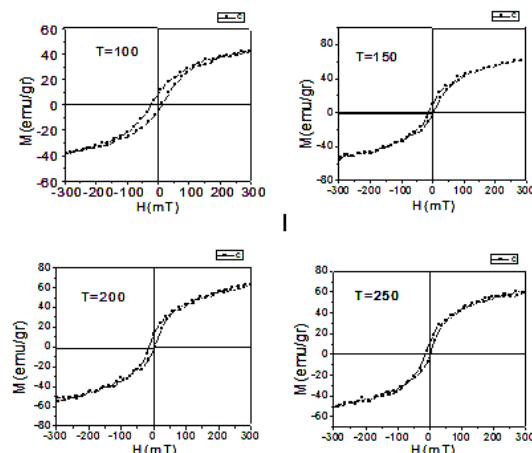


شکل ۵- منحنی مغناطش برحسب دما برای نمونه ۲ در میدان ۵۰۰ میلی تسلا.

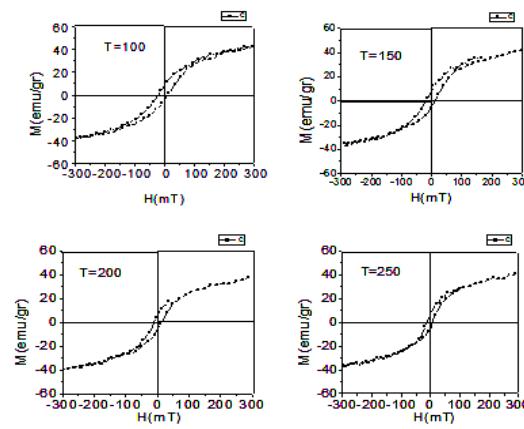
نمودار مغناطش برحسب دما برای نمونه ۳ (شکل ۶) به وضوح نشان می‌دهد که با افزایش دما تا دمای نیل مغناطش نمونه افزایش یافته است، که می‌تواند تاییدی بر رفتار پادفرومغناطیسی نمونه باشد. و سپس شاهد تغییر فاز پادفرومغناطیس به پارامغناطیس می‌باشیم.

## نتایج مغناطیسی

در شکل ۲ و ۳ اثر تغییر دما ( $100, 150, 200, 250\text{ K}$ ) بر روی منحنی پسماند برای نمونه ۲ و نمونه ۳ بررسی شده است. با مشاهده منحنی پسماند نمونه‌ها، مشاهده می‌شود که همه نمونه‌ها با دمایی متفاوت، دارای مغناطش مانده کوچکی هستند و مغناطش اشباع بالایی دارند و همچنین با افزایش دما مساحت حلقه پسماند کم شده، در واقع مغناطش نمونه‌ها و  $Hc$  کاهش یافته است.



شکل ۲- منحنی پسماند برای نمونه ۲ در دمای‌های مختلف



شکل ۳- منحنی پسماند نمونه ۳ در دمای‌های مختلف

مقایسه منحنی پسماند برای نمونه‌ها با ضخامت لایه جداگانه ۲۰ و ۴۰ انگسترومی در دمای  $100\text{ K}$  نشان می‌دهد که با کاهش ضخامت نقره یک افزایش در ممان مغناطیسی وجود دارد. همچنین تغییر در جفت‌شدنگی بین لایه‌ها با تغییر در ضخامت لایه جداگانه Ag دیده می‌-

### سطح نمونه‌ها

### نتیجه‌گیری

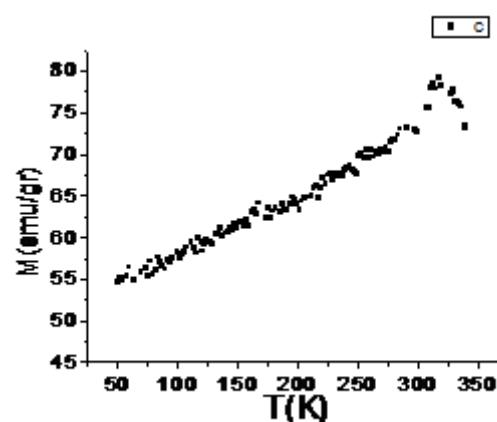
با کاهش ضخامت لایه جداکننده افزایش در ممان مغناطیسی دیده می‌شود. همچنین تغییر در جفت‌شدگی بین لایه‌ها با تغییر در ضخامت لایه جداکننده Ag دیده می‌شود که نمونه ۲ فرومغناطیس و نمونه ۳ پادفرومغناطیس است و با افزایش دما مغناطش نمونه‌ها و مقدار  $H_c$  کاهش یافته است. و همچنین محور آسان مغناطش برای این نمونه‌ها درون صفحه‌ای است.

### سپاسگزاری

با سپاس و قدردانی فراوان از جناب آقای دکتر قربانی به دلیل اندازه‌گیری در دانشگاه ولنگونگ استرالیا.

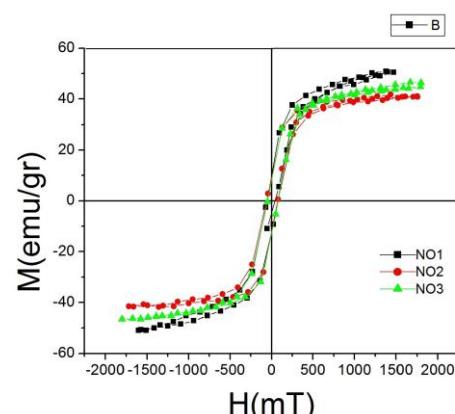
### مراجع

- [1] U. Hartmann, *Magnetic Multilayers*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2000.
- [2] C. BirliksEeven, A. Bek, H. Z. Durusoy, *A Magnetization and GMR Study on Multilayered Fe/Ag/Co Thin Film*, p.1101-1106 , Tr. J. of Physics, 1999.
- [3] V. K. Snakaranarayanan, S. T. LakshmiKumar, *Investigation of Co/Ag Discontinuous multilayers prepared by UHV electron beam evaporation*, p. 15-23, J. surface Sci .Technol, 2006.
- [4] Cho, T.S.,et al., *Interfacial diffusion in Fe/Cr multilayers studied by synchrotron X-ray techniques*, p.1748-1751, physica status solidi (b), 2004.
- [5] Kac, M., et al ., *Structural and magnetic characterization of Fe/Cr/Fe tri-layers and Fe/Cr multilayers after swift Au ion irradiation*, p. 1855-1859, physica status solidi (a), 2008.
- [6] Grunberg, P., et al., *Layers Magnetic Structures : Evidence for Antiferromagnetic coupling of Fe Layers across Cr Interlayers*, p. 2442-2445, Physical review letters, 1986.

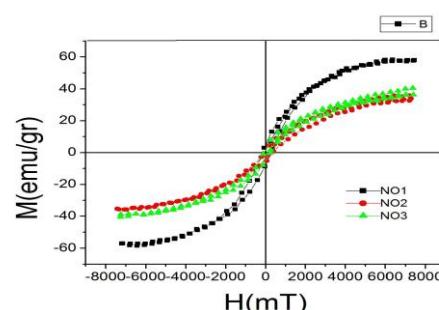


شکل ۶- منحنی مغناطش بر حسب دما برای نمونه ۳ در میدان ۵۰۰ میلی تسل.

منحنی پسماند در دمای 300K برای اعمال میدان در راستاهای موازی و عمود بر صفحه فیلم در شکل ۷ و ۸ به ترتیب نشان داده شده است. با توجه به شکل ۷ و ۸ به واضح مشخص است که جهت گیری آسان مغناطش در راستای موازی با صفحه و درون صفحه‌ای است.



شکل ۷- منحنی پسماند در دمای افق برای میدان‌های موازی با سطح نمونه‌ها



شکل ۸- منحنی پسماند در دمای 300K برای میدان‌های عمودی با