



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران  
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران  
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



## خواص ساختاری و مغناطیسی چندلایه ای های نامتجانس $Fe(20\text{\AA})/Ag(x\text{\AA})/Co(20\text{\AA})$

پریسا قهرمانی نژاد<sup>۱</sup>؛ محمود رضایی رکن آبادی<sup>۱</sup>؛ محمد بهدانی<sup>۲</sup>؛ احمد امیرآبادی زاده<sup>۳</sup> و مجتبی محمدی<sup>۱</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 - چندلایه ای مغناطیسی  $Fe(20\text{\AA})/Ag(x\text{\AA})/Co(20\text{\AA})$  با ضخامت های متغیر لایه جداکننده  $Ag$  توسط دستگاه تبخیر حرارتی در خلأ کاری  $2 \times 10^{-6}$  mbar لایه نشانی شدند. خواص ساختاری نمونه ها توسط  $XRD$  و همچنین پاسخ مغناطیسی نمونه ها در دماهای پایین توسط سیستم اندازه گیری خواص فیزیکی ( $PPMS$ ) و در دمای اتاق توسط مغناطیس سنج نمونه مرتعش ( $VSM$ ) بررسی شد. محور آسان مغناطش برای این نمونه ها درون صفحه ای اندازه گیری شد. اندازه گیری های مغناطیسی نشان دهنده تغییر در نوع جفت شدگی چندلایه ای با تغییر در ضخامت لایه جداکننده  $Ag$  است. با کاهش ضخامت لایه جداکننده افزایش در ممان مغناطیسی نمونه ها دیده شد. همچنین با افزایش دما، مغناطش نمونه ها و  $H_c$  کاهش یافته است.

کلیدواژه- چندلایه ای مغناطیسی ، لایه جداکننده ، منحنی پسماند، محور اسان مغناطش

## structural and magnetic properties of $Fe(20\text{\AA}) / Ag(x\text{\AA}) / Co(20\text{\AA})$ hetero-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  $2 \times 10^{-6}$  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

## ۱- مقدمه

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

ساختار چندلایه‌ای‌ها توسط پراش پرتو X بررسی شد. همچنین 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 دما-های پایین تر از دمای اتاق با اعمال میدان در راستای عمود بر صفحه فیلم توسط PPMS در دانشگاه ولنگونگ استرالیا بررسی شده است. جدول ضخامت نمونه‌های جایگذاری شده به صورت تجربی را نشان می دهد.

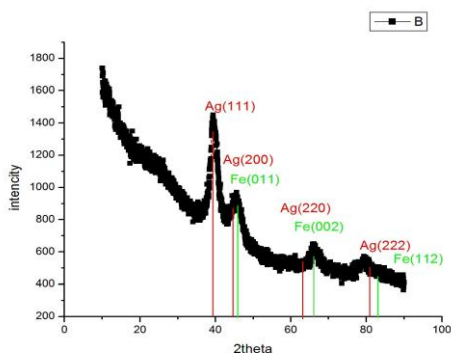
جدول ۱- ضخامت نمونه ها

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. و پیک‌های آهن و نقره دارای جهت-گیری Ag(220)، Ag(111)، Ag(200)، Fe(011)، Fe(002)، Fe(112) است.



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

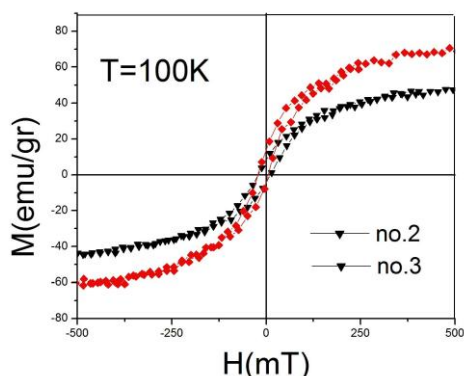
بخش عمده‌ای از فیزیک ماده چگال، متکی بر تحقیقات اساسی و کاربردی در تولید مواد جدید با پیکربندی غیرمعمول قرار می‌گیرد. مواد مغناطیسی زیر بنای علمی برای شمار جدیدی از فن‌آوری‌ها می‌باشد و همچنین علاقه به سمت سیستم‌های چندلایه‌ای مغناطیسی به طور فزاینده‌ای افزایش پیدا کرده است. [۱-۲] جفت‌شدگی نوسانی به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

### ۲- آماده سازی نمونه ها و کار های تجربی

برای ساخت نمونه‌ها از دستگاه تبخیر حرارتی در خلأ 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 خلأ بوده که در نهایت خلأ پایه به میزان  $4 \times 10^{-7}$  mbar و خلأ کاری  $2 \times 10^{-6}$  mbar بوده است. چندلایه‌ای Fe/Ag/Co با ضخامت لایه آهن و کبالت  $20 \text{ \AA}$  و لایه جداکننده Ag در ضخامت‌های ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰ انگسترومی با تعداد تکرار سه لایه‌ای ۴ بار و لایه بافر Ag با ضخامت  $50 \text{ \AA}$  و نهایت پوشش  $40 \text{ \AA}$  از آلومینیوم برای محافظت از لایه در برابر اکسید شدن

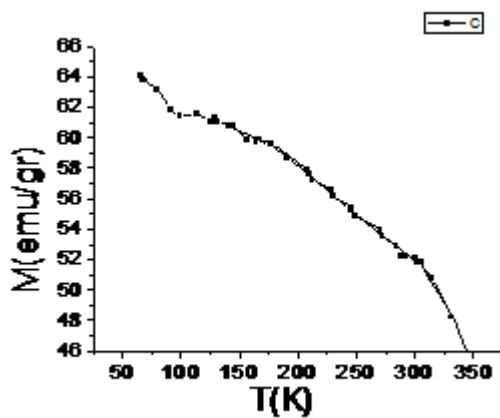
## نتایج مغناطیسی

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



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

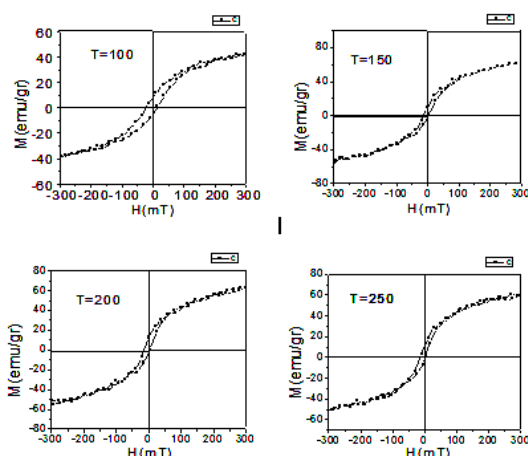
نمودار مغناطش برحسب دما (شکل ۵) برای نمونه ۲ به وضوح نشان می‌دهد که با افزایش دما مغناطش نمونه کاهش یافته است، که می‌تواند تاییدی بر رفتار فرومغناطیسی نمونه باشد.



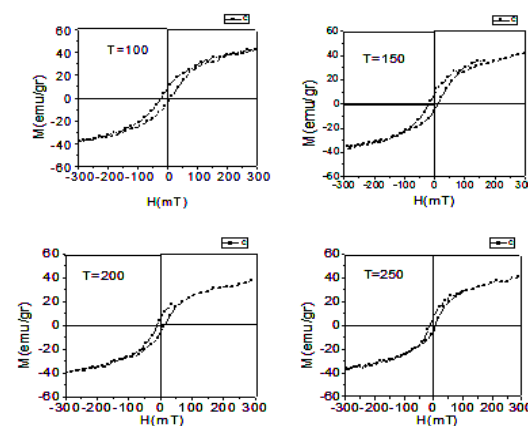
شکل ۵- منحنی مغناطش برحسب دما برای نمونه ۲ در میدان ۵۰۰ میلی تسلا.

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.

در شکل ۲ و ۳ اثر تغییر دما (۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰k) بر روی منحنی پسماند برای نمونه ۲ و نمونه ۳ بررسی شده است. با مشاهده منحنی پسماند نمونه‌ها، مشاهده می‌شود که همه نمونه‌ها با دماهای 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  $H_c$  کاهش یافته است.



شکل ۶- منحنی پسماند برای نمونه ۲ در دماهای مختلف



شکل ۷- منحنی پسماند نمونه ۳ در دماهای مختلف

مقایسه منحنی پسماند برای نمونه‌ها با ضخامت لایه جداکننده ۲۰ و ۴۰ انگسترومی در دمای ۱۰۰ کلوین نشان می‌دهد که با کاهش ضخامت نقره یک افزایش در ممان مغناطیسی وجود دارد. همچنین تغییر در جفت‌شدگی بین لایه‌ها با تغییر در ضخامت لایه جداکننده Ag دیده می-

سطح نمونه‌ها

### نتیجه‌گیری

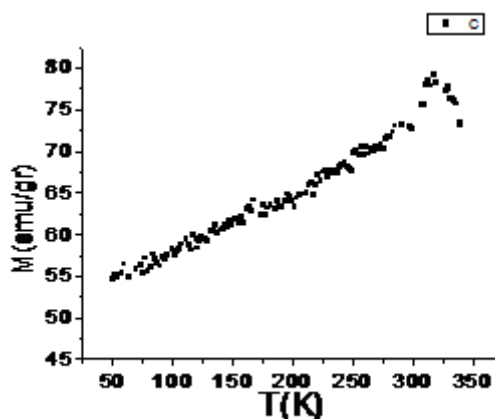
با کاهش ضخامت لایه جداکننده افزایش در ممان مغناطیسی دیده می‌شود. همچنین تغییر در جفت‌شدگی بین لایه‌ها با تغییر در ضخامت لایه جداکننده Ag دیده می‌شود که نمونه ۲ فرومغناطیس و نمونه ۳ پادفرومغناطیس است و با افزایش دما مغناطش نمونه‌ها و مقدار  $H_c$  کاهش یافته است. و همچنین محور آسان مغناطش برای این نمونه‌ها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

### سپاسگزاری

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

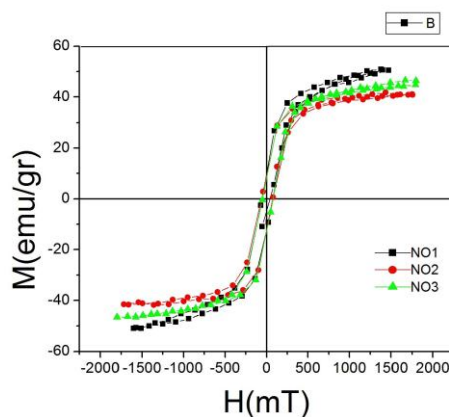
### مراجع

- [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. Lakshmikummar, *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 reviw letters, 1986.

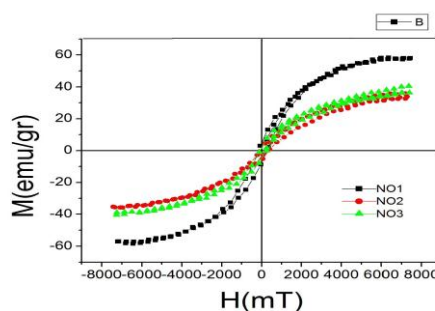


شکل ۶- منحنی مغناطش برحسب دما برای نمونه ۳ در میدان ۵۰۰ میلی تسلا.

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 وضوح مشخص است که جهت‌گیری آسان مغناطش در راستای موازی با صفحه و درون صفحه‌ای است.



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



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