

## خواص ساختاری و مغناطیسی چندلایه‌ای‌های نامتجانس $\text{Fe}(20\text{\AA})/\text{Ag}(X\text{\AA})/\text{Fe}(20\text{\AA})$

پریسا قهرمانی نژاد، محمودرضایی رکن آبادی و محمد بهدانی

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

پست الکترونیکی: parisa.ghahramaninezhad@stu.um.ac.ir

(دریافت مقاله: ۹۲/۱۰/۲۶؛ دریافت نسخه نهایی: ۹۳/۱۰/۲۲)

### چکیده

چندلایه‌ای مغناطیسی  $\text{Fe}(20\text{\AA})/\text{Ag}(X\text{\AA})/\text{Fe}(20\text{\AA})$  با ضخامت‌های متغیر لایه جداکننده Ag توسط دستگاه تبخیر حرارتی در خلأ کاری  $10^{-6}$  mbar لایه‌نشانی شدند. خواص ساختاری نمونه‌ها توسط XRD و همچنین پاسخ مغناطیسی نمونه‌ها در دماهای پایین توسط دستگاه اندازه‌گیری خواص فیزیکی و در دمای اتاق توسط مغناطیس‌سنج نمونه مرتعش بررسی شد. محورا‌سان مغناطش برای این نمونه‌ها درون صفحه‌ای اندازه‌گیری شد. با کاهش ضخامت لایه جداکننده افزایش در ممان مغناطیسی نمونه‌ها دیده شد. همچنین با افزایش دما، مغناطش نمونه‌ها و Hc کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: چندلایه‌ای مغناطیسی، لایه جداکننده، منحنی پسماند، محور آسان مغناطش

### ۱. مقدمه

دیده شده است [۳]. این مطلب اساس کشف پدیده‌ای به نام مقاومت مغناطیسی غول آسا (GMR) به شمار می‌رود. این اثر برای اولین بار بر روی غشای نازک  $\text{Fe}/\text{Cr}/\text{Fe}$  و چندلایه‌ای  $\text{Fe}/\text{Cr}$  کشف شد. قدرت جفت‌شدگی بین لایه‌های آهن تابع نوسانی از ضخامت لایه جداکننده‌ی کروم است [۴ و ۵]. جفت‌شدگی نوسانی تبدلی بین چندلایه‌ای‌ها نتیجه برهم‌کنش تبدلی غیرمستقیم انجام شده توسط الکترون‌های رسانای لایه جداکننده می‌باشد [۶]. در این گزارش با استفاده از دستگاه تبخیر حرارتی در خلأ چندلایه‌ای‌های  $\text{Fe}(20\text{\AA})/\text{Ag}(X\text{\AA})/\text{Fe}(20\text{\AA})$  با

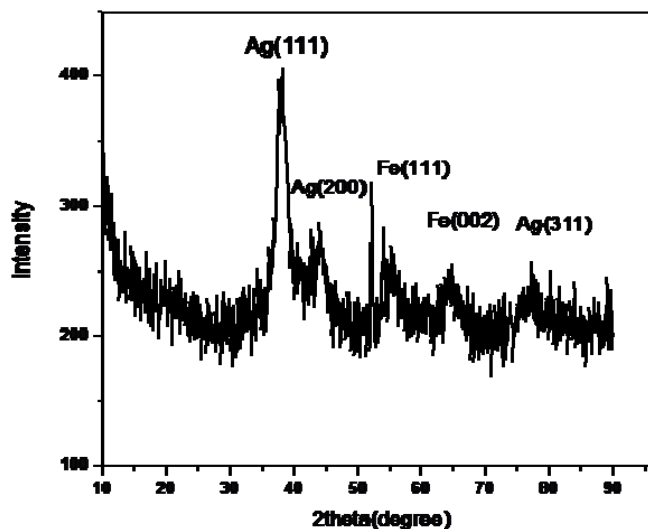
اخیراً تحقیقات پایه در مغناطیس بطور قابل توجهی با کشف ترکیبات مغناطیسی جدید با هندسه‌های غیر معمول قوتی دوباره یافته است و مخصوصاً علاقه به سمت دستگاه‌های چندلایه‌ای مصنوعی به‌طور فزاینده‌ای افزایش پیدا کرده است. هندسه غیر معمول چندلایه‌ای‌ها، می‌تواند خواص فیزیکی آنها را تغییر دهد [۱ و ۲]. جفت‌شدگی نوسانی به دلیل تناوبی بودن جفت‌شدگی فرومغناطیسی و پادفرومغناطیسی بین لایه‌های فرومغناطیس به عنوان تابعی از ضخامت لایه جداکننده در بسیاری از دستگاه‌های چندلایه‌ای مغناطیسی و غیرمغناطیسی

جدول ۱. ضخامت نمونه‌ها.

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

جدول ۲. مقادیر به دست آمده از شبیه سازی برای نمونه ۲.

نوع لایه	مقادیر تجربی هنگام لایه نشانی	مقادیر شبیه سازی شده	ناهمواری (roughness)
Fe(Å)	۲۰	۲۱	۷
Ag(Å)	۲۰	۲۴	۸



شکل ۱. طرح پراش پرتوی ایکس چندلایه‌ای Fe/Ag(۲۰ Å)/Fe

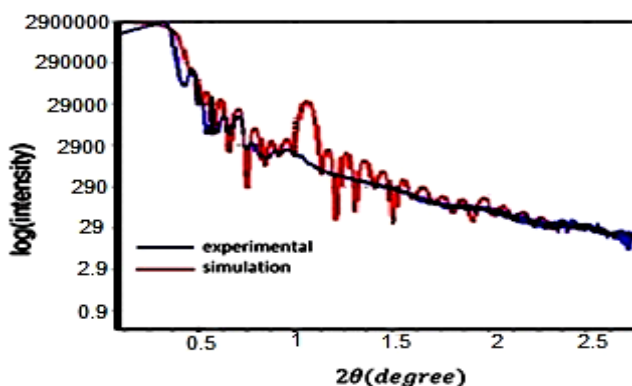
۴۰، ۲۰، ۱۰ آنگسترومی با تعداد تکرار سه لایه‌ای ۴ بار تهیه شدند. و ابتدا لایه بافر Ag با ضخامت ۵۰ Å و در نهایت پوشش ۴۰ Å از آلومینیوم برای محافظت از لایه در برابر اکسید شدن استفاده شده است. نمونه‌ها تا زمان ارسال برای آنالیز در خلأ بوده‌اند و سپس آنالیز XRD، VSM، PPMS انجام شده است.

کیفیت ساختار بلوری چندلایه‌ای‌ها توسط پراش پرتوی ایکس و بازتاب پرتوی ایکس در زوایای کوچک با استفاده از پراش سنج XPERT-PRO توسط پرتوی  $Cu_{ka}$  با طول موج  $\lambda=1.54$  در شرکت کفا در تهران بررسی شدند و همچنین پاسخ مغناطیسی نمونه‌ها با استفاده از اندازه‌گیری منحنی پسماند با اعمال میدان در راستای عمود بر فیلم در گستره دمایی ۵۰ تا ۳۴۰ کلوین در دانشگاه ولنگونگ استرالیا و توسط مغناطیس

ضخامت‌های مختلف آماده سازی شدند و توسط مشخصه‌یابی‌های پراش پرتو ایکس (XRD)، دستگاه اندازه‌گیری خواص فیزیکی (PPMS) و مغناطیس سنج نمونه مرتعش (VSM) مورد بررسی قرار گرفتند.

## ۲. آماده‌سازی نمونه‌ها و کارهای تجربی

برای ساخت نمونه‌ها از دستگاه تبخیر حرارتی در خلأ مدل Edwards E306، زیرلایه‌ها از جنس سیلیکون و از مواد اولیه آهن و نقره با خلوص بالا استفاده شده است. دستگاه قبل از عملیات لایه‌نشانی به مدت ۲۴ ساعت در خلأ بوده که در نهایت خلأ پایه به میزان  $4 \times 10^{-7}$  mbar و خلأکاری  $2 \times 10^{-6}$  mbar بوده است. چندلایه‌ای Fe/Ag/Fe با ضخامت لایه آهن ۲۰ Å و لایه جداکننده Ag در ضخامت‌های



شکل ۲. (رنگی در نسخه الکترونیکی) طیف بازتاب پرتوی ایکس از چندلایه‌ای Fe/Ag(20Å)/Fe

نتایج اندازه‌گیری شبیه‌سازی شده و با داده‌های تجربی برازش داده شد تا بتوان شرایط و کیفیت لایه‌نشانی و مقادیر عملی لایه‌نشانی را مقایسه کرد (جدول ۲). مقادیر به دست آمده از شبیه‌سازی با مقادیر تعیین شده در هنگام لایه‌نشانی تفاوت دارند که منشأ آن در ناهموازی لایه آهن و نقره، تمایل آنها برای تجمع و هسته‌سازی در هنگام لایه‌نشانی جستجو کرد.

#### ۴. نتایج مغناطیسی

در شکل ۳ و ۴ اثر تغییر دما (K) ۲۵۰، ۲۰۰، ۱۵۰، ۱۰۰، ۳۴۰ بر روی منحنی پسماند برای نمونه ۲ و نمونه ۳ بررسی شده است. با مشاهده منحنی پسماند نمونه‌ها، دیده 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 HC کاهش یافته است و همچنین تغییر فازی صورت نگرفته است به عبارتی منحنی‌ها همچنان رفتار فرومغناطیسی را نشان می‌دهند.

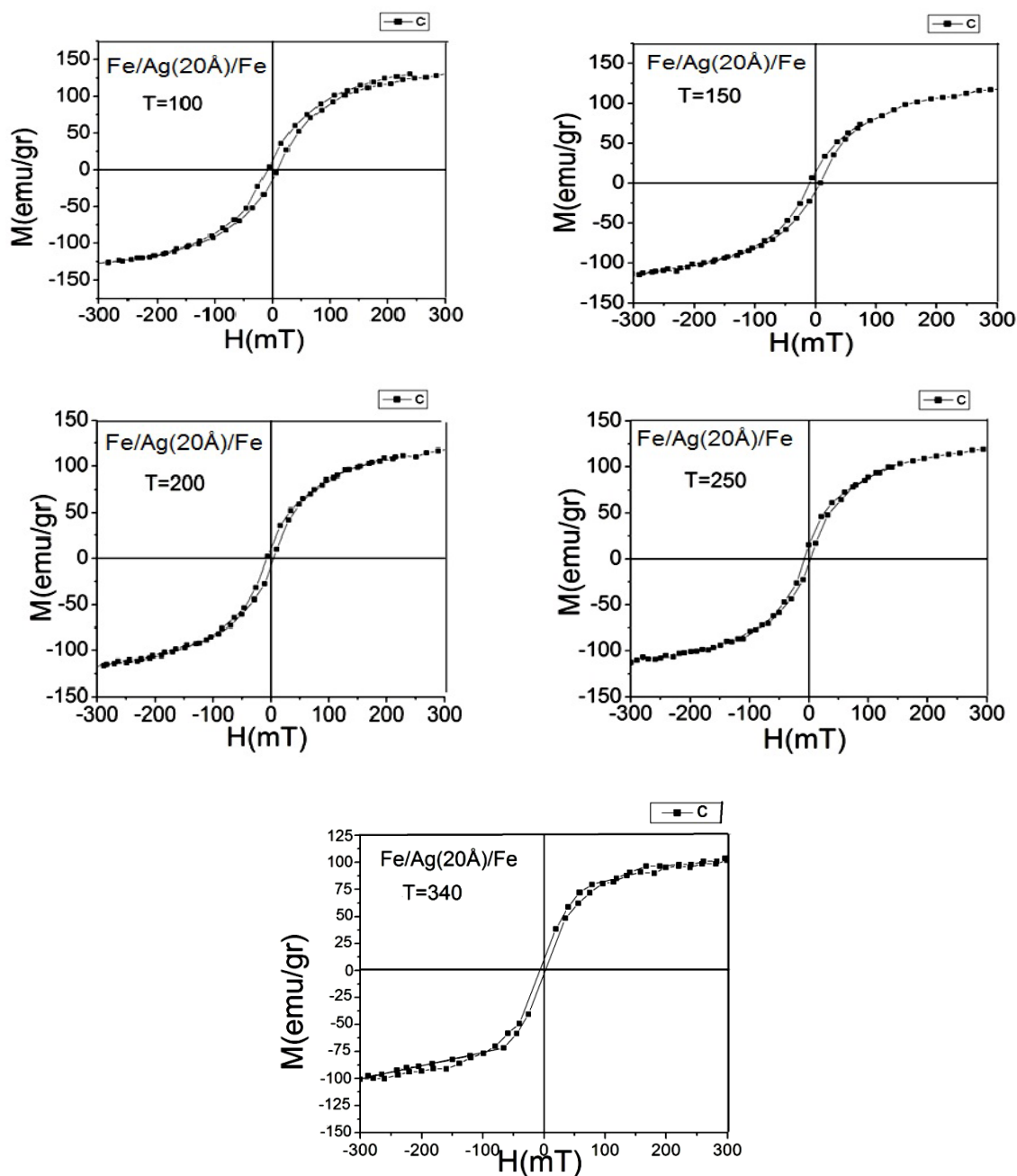
منحنی پسماند در دمای ۳۰۰K برای اعمال میدان در راستاهای موازی و عمودی با صفحه لایه در شکل ۵ و ۶ به ترتیب نشان داده شده است. با توجه به نمودارها به وضوح مشخص است که انرژی لازم برای به اشباع رساندن چندلایه‌ای‌ها در حالت میدان اعمالی موازی با صفحه لایه خیلی کمتر از انرژی

سنج نمونه مرتعش (VSM) موجود در دانشگاه بیرجند با اعمال میدان در راستای موازی و عمود بر سطح فیلم در دمای اتاق بررسی شدند. جدول ۱ ضخامت نمونه‌های جایگذاری شده به صورت تجربی را نشان می‌دهد.

#### ۳. نتایج ساختاری

شکل ۱ طرح پراش پرتوی ایکس برای چندلایه‌ای Fe/Ag(20Å)/Fe را نشان می‌دهد که بیانگر تشکیل ساختار مکعبی در چندلایه‌ای می‌باشد. قله‌های آهن و نقره دارای جهت‌گیری Fe(002), Fe(111), Ag(311), Ag(111), Ag(200) در زوایای مختلف است. همچنین ثابت‌های شبکه آهن و نقره در چندلایه‌ای نسبت به ثابت‌های شبکه حجمی تغییر پیدا کرده‌اند که این نشان‌دهنده تنش موجود در چندلایه‌ای می‌باشد، و همچنین قله‌های مربوط به زیر لایه (سیلیکون) حذف شده است.

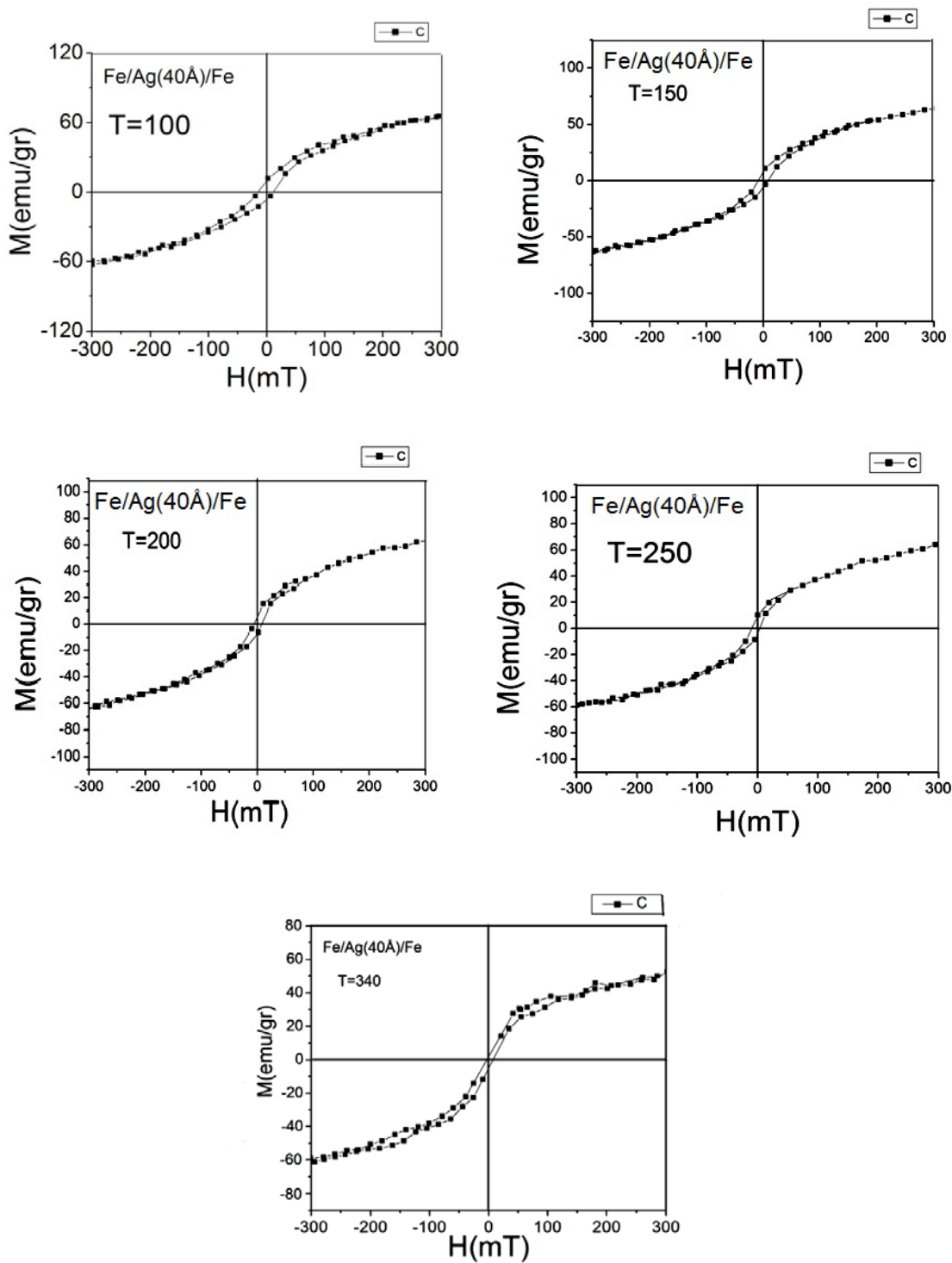
شکل ۲ نشان دهنده میرایی طیف انعکاسی می‌باشد و تفکیک بین قله‌های شبه براگ نشان دهنده شکل‌گیری ساختار تناوبی می‌باشد. شیب منحنی تند و دامنه نوسانات نیز کم است که این به دلیل وجود ناهموازی سطحی و بین لایه‌ای می‌باشد. از دلایل ناهموازی‌ها می‌توان به برهم‌نهی ناکاملی‌ها طی آماده‌سازی لایه‌ها در فصل مشترک‌ها [۷] از جمله ناکاملی‌های نقطه‌ای یا جایجایی‌ها به علت روش آماده‌سازی نمونه‌ها [۸] اشاره نمود.



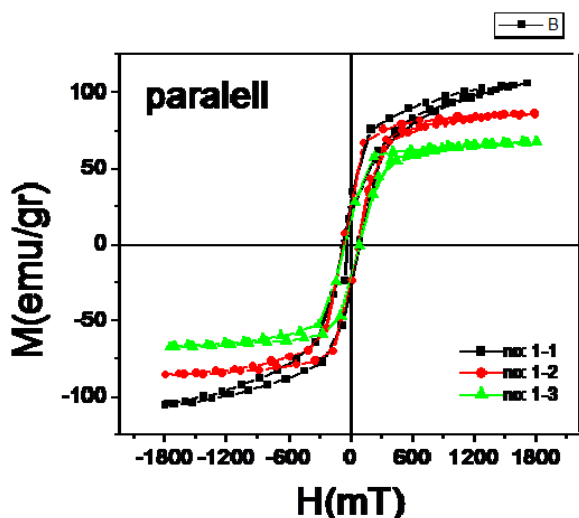
شکل ۳. منحنی‌های پسماند برای نمونه ۲ در دماهای مختلف.

$40\text{Å}$  نشان داده شده است. همان طور که مشهود است با افزایش دما مغناطش نمونه‌ها کاهش پیدا کرده است در واقع افزایش دما نظم حوزه‌های مغناطیسی را برهم زده در نتیجه مغناطش کاهش می‌یابد. این نمودار رفتار فرومغناطیسی چندلایه‌ای‌ها را تأیید می‌کند.

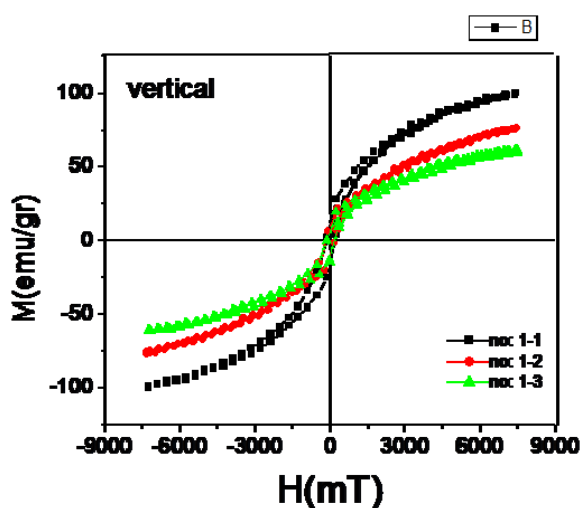
لازم برای به اشباع رساندن چندلایه‌ای‌ها در حالت میدان اعمالی عمودی بر صفحه لایه است که در نتیجه چندلایه‌ای‌ها دارای ناهمسانگردی داخل صفحه‌ای قوی می‌باشند. در شکل ۷ منحنی تغییرات مغناطش برحسب دما برای چندلایه‌ای Fe/Ag/Fe با تنوع ضخامت لایه جداکننده  $20\text{Å}$  و



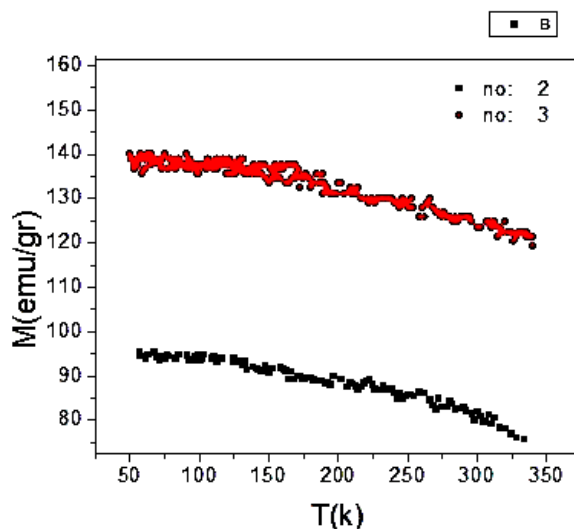
شکل ۴. منحنی پسماند نمونه ۳ در دماهای مختلف.



شکل ۶. (رنگی در نسخه الکترونیکی) منحنی پسماند در دمای ۳۰۰K برای میدان‌های عمودی با سطح نمونه‌ها.



شکل ۵. (رنگی در نسخه الکترونیکی) منحنی پسماند در دمای اتاق برای میدان‌های موازی با سطح نمونه‌ها.



شکل ۷. (رنگی در نسخه الکترونیکی) منحنی مغناطش برحسب دما در میدان ۵۰۰ میلی تسلا.

### ۵. نتیجه گیری

درون صفحه‌ای است و دارای ناهمسانگردی درون صفحه‌ای قوی می‌باشند.

با کاهش ضخامت لایه جداکننده افزایش در ممان مغناطیسی دیده می‌شود با افزایش دما مغناطش نمونه‌ها و مقدار  $H_c$  کاهش یافته است و همچنین تغییر فازی صورت نگرفته است. به عبارتی منحنی‌ها همچنان رفتار فرومغناطیسی را نشان می‌دهند. همچنین محور آسان مغناطش برای این نمونه‌ها

### قدردانی

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. J unguris, R J Celotta, and D T Pierce, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **127** (1993) 205.
3. I Elkiadi, H lassri, K Benkirane, B Bensassi; *Material Science and Engineering B* **137** (2007) 170.
4. T S Cho *et al.*, *Physica Status Solidi* (b) **241** (2004) 1748.
5. M Kac, *et al.*, *Physica Status Solidi* (2008) 1855.
6. P Grunberg *et al.*, *Physical review letters* (1986) 2442.
7. M Kac *et al.*, *Physica Status Solidi* (a), **205**, 8 (2008) 1855.
8. R Gupta *et al.*, *Nuclear Instruments and Methods in Physics* (1999) 153.