

## بررسی تأثیر ضخامت لایه آهن بر مقاومت مغناطیسی نانو ساختارهای Fe/Cu/Fe

افشاری، مهدی؛ قاضی، محمدابراهیم؛ ایزدی فرد، مرتضی

گروه فیزیک دانشگاه شاهرود، میدان هفت تیر، شاهرود

### چکیده

در این مقاله، تأثیر ضخامت لایه فرومغناطیس آهن بر روی مقاومت مغناطیسی نانو ساختارهای سه لایه‌ای آهن/مس/آهن، تهیه شده به روش تبخیر حرارتی در خلأ، مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، مقاومت مغناطیسی نمونه‌های با ضخامت متفاوت لایه آهن (۱۶- ۲۰ و ۳۰ نانومتر) و ضخامت ثابت (۱۳ نانومتر) لایه مس، به روش چهار اتصالی و با استفاده از قاعده ون-در-پا، در دمای اتاق اندازه‌گیری شد. نتایج نشان دادند که با افزایش ضخامت لایه مغناطیسی آهن، مقاومت مغناطیسی نمونه‌ها کاهش می‌یابد که این می‌تواند ناشی از کاهش پراکندگی وابسته به اسپین الکترونیهای رسانش باشد. مقاومت مغناطیسی همه نمونه‌ها در میدان مغناطیسی حدود ۵۰۰ اورستد به اشباع رسیدند.

### Effect of Fe layer thickness on magneto resistance of Fe/Cu/Fe nanostructures

Afshari, Mehdi; Ghazi, Mohammad Ebrahim; Izadifard, Morteza

Physics Department, Shahrood University, Shahrood

### Abstract

In this article, the effects of Fe layer thickness on magneto resistance of Fe/Cu/Fe nanostructures were investigated. The samples were prepared by thermal evaporation method. Magnetoresistance of samples with different Fe layer thickness (16- 20- 30 nm) and constant thickness (13 nm) of Cu layer are measured by using four point probe and Van Der Pauw methods, in room temperature. The results indicated that by increasing Fe magnetic layer thickness, the magneto resistance of samples reduced, that can be due to decreasing spin-dependent scattering of conduction electrons. Magneto resistance of Samples become saturated in magnetic field of about 500 Oe.

### مقدمه

رشد و مطالعه نانو ساختارهای فلزی لایه‌ای در سالهای اخیر بطور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته‌اند. یکی از دلایل مهم این توجهات، مشاهده اثر مقاومت مغناطیسی بزرگ (GMR) در ساختارهایی است که در آنها لایه‌های فرومغناطیس توسط یک لایه غیرمغناطیسی جدا شده‌اند. افراد زیادی بر روی این اثر تحقیق کرده‌اند. اولین بار در سال ۱۹۸۸ بیبیچ<sup>۱</sup> و همکاران، اثر GMR را در ساختار Fe/Cr مشاهده کردند. همچنین، پارکین<sup>۲</sup> و همکاران

مقادیر GMR بیشتری (۶۵٪ در دمای اتاق و ۱۲۰٪ در دمای ۴،۲ کلوین) برای ساختارهای Co/Cu گزارش کردند [۱]. امروزه بر پایه اثر GMR انواع قطعات مختلف از قبیل: حسگرهای مغناطیسی، هدهای مغناطیسی و MRAM ها ساخته شده‌اند. منشأ اثر GMR، به پراکندگی وابسته به اسپین الکترونیهای رسانشی نسبت داده می‌شود. علاوه بر این، محل مراکز پراکندگی‌ها نیز اهمیت دارد. این پراکندگی‌ها می‌توانند در سطح لایه فصل مشترک و یا در لایه‌های فرومغناطیس اتفاق بیافتند [۲].

یکی از مثال‌های قابل توجه در اینگونه ساختارها، چندلایه‌های

Fe/Cu می‌باشند که از ترکیب فلزات انحلال‌ناپذیر آهن و مس

<sup>1</sup> Baibich

<sup>2</sup> Parkin

جدول ۱- ضخامت‌های لایه‌های انباشت شده.

نمونه	ضخامت لایه اول آهن (nm)	ضخامت لایه دوم مس (nm)	ضخامت لایه سوم آهن (nm)
۱	۱۶	۱۳	۱۶
۲	۲۰	۱۳	۲۰
۳	۳۰	۱۳	۳۰

مقاومت مغناطیسی نمونه‌ها، به روش چهارمیله‌ای و با استفاده از قاعده ون-در-پاؤ<sup>۳</sup>، در دمای اتاق اندازه‌گیری شد [4]. بدین منظور، تعداد چهار عدد سیم مسی، با استفاده از چسب نقره در گوشه‌های نمونه چسبانده شدند. قبل از اندازه‌گیری مقاومت مغناطیسی، رفتار اهمی اتصالات بررسی شد. اندازه‌گیری مقاومت مغناطیسی نمونه‌ها در یک میدان مغناطیسی موازی با سطح نمونه انجام گردید.

### نتایج و بحث

اندازه‌گیری مقاومت مغناطیسی نمونه‌ها، در دو حالت میدان موازی با جهت جریان و میدان عمود بر جهت جریان، انجام شد. بازه تغییر میدان مغناطیسی از ۳۰۰۰- تا ۳۰۰۰+ اورستد بوده و مقاومت مغناطیسی نمونه‌ها بر حسب میدان، با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد.

شکل ۱ (الف و ب) نمودارهای مربوط به تغییرات مقاومت مغناطیسی بر حسب میدان اعمال شده به نمونه‌ها، در دو حالت موازی و عمود بر جهت جریان را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها در جدول ۲ آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، در هر دو حالت، با افزایش ضخامت‌های لایه مغناطیسی آهن، مقاومت مغناطیسی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. همچنین، مقایسه شکل-های الف و ب برای هر نمونه، نشان می‌دهد که مقاومت مغناطیسی در حالت میدان موازی با جهت جریان، بیشتر از حالت میدان عمود بر جهت جریان است. مقاومت مغناطیسی همه نمونه‌ها در میدان حدود ۵۰۰ اورستد، به اشباع رسید.

تشکیل شده‌اند. مطالعات زیادی بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی نانوساختارهای چندلایه‌ای Fe/Cu تهیه شده به روش-های فیزیکی مثل: اسپاترینگ، روآرستی پرتو مولکولی و تبخیر پرتوالکترونی انجام شده است [۳].

مقاومت مغناطیسی بصورت تغییر مقاومت الکتریکی در یک میدان مغناطیسی خارجی اعمال شده به نمونه تعریف می‌شود که می‌توان بصورت معادله ۱ بیان کرد:

$$MR = (R(H) - R(H_s)) / R(H_s) \quad (1)$$

که در آن  $R(H)$ ، مقاومت در میدان  $H$  و  $R(H_s)$  مقاومت در میدان اشباع  $H_s$  است. این معادله به فرم دیگری نیز نوشته می‌شود که بجای  $R(H_s)$ ، مقاومت بدون حضور میدان  $R(H=0)$  قرار می‌گیرد.

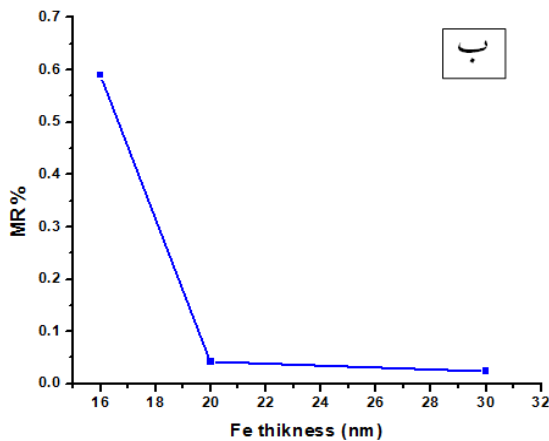
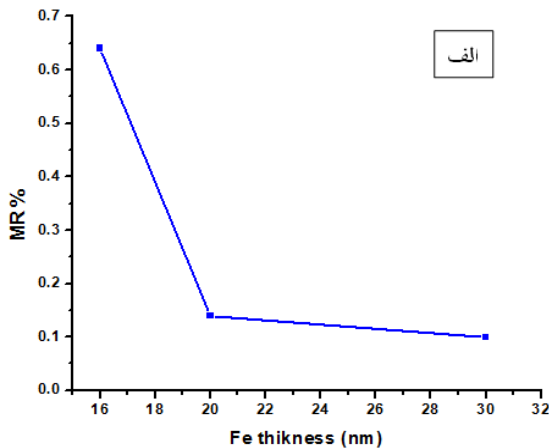
در این تحقیق، نانوساختارهای سه‌لایه‌ای Fe/Cu/Fe به روش تبخیر حرارتی در خلأ تهیه شدند. مقاومت مغناطیسی این نمونه‌ها با استفاده از روش چهارمیله‌ای و در حضور میدان مغناطیسی اندازه‌گیری شد و تأثیر ضخامت لایه مغناطیسی آهن (ضخامت لایه مس ثابت) بر مقاومت مغناطیسی این نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

برای تهیه نانوساختارهای سه‌لایه‌ای Fe/Cu/Fe، از پودر آهن با خلوص ۹۹/۹۹٪ و رشته‌های بریده شده مس با خلوص بالاتر از ۹۹٪ به عنوان مواد اولیه استفاده شد. نمونه‌ها با استفاده از روش تبخیر در خلأ بر روی زیرلایه شیشه، با فشار محفظه  $10^{-6}$  تور و در دمای اتاق تهیه گردیدند که ضخامت‌های لایه‌های انباشت شده در جدول ۱ آمده است. لایه‌ها بطور متوالی و بدون شکستن خلأ لایه‌نشانی شده‌اند و ضخامت آنها در حین انباشت با ضخامت‌سنج بلور کوارتز اندازه‌گیری شده است. لازم به ذکر است که ضخامت لایه‌های ذکر شده در جدول ۱ با دقت 1nm گرد شده‌اند.

<sup>3</sup> Van- Der- Pauw

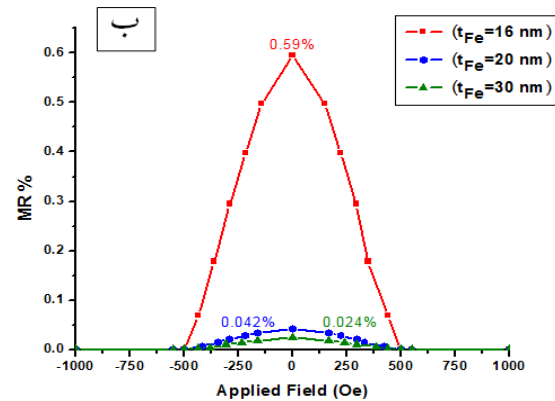
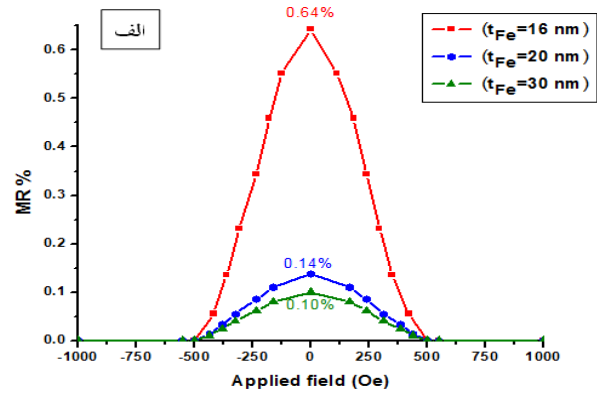
نشان می‌دهد، با افزایش ضخامت لایه آهن مقاومت مغناطیسی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. دلیل این تغییرات را می‌توان به کاهش پراکندگی وابسته به اسپین الکترونیهای رسانش نسبت داد. با افزایش ضخامت لایه مغناطیسی آهن، نسبت کسر حجم لایه مغناطیسی آهن به فصل مشترک، افزایش یافته و پراکندگی کاهش می‌یابد. از طرفی، مراکز پراکندگی از فصل مشترک نیز تغییر می‌کنند.



شکل ۲- مقاومت مغناطیسی نمونه‌ها بر حسب ضخامت لایه مغناطیسی آهن؛ (الف) میدان مغناطیسی موازی با جهت جریان، (ب) میدان مغناطیسی عمود بر جهت جریان.

### نتیجه‌گیری

در این مقاله نانوساختارهای سه‌لایه‌ای Fe/Cu/Fe با ضخامت‌های متفاوت لایه مغناطیسی آهن و ضخامت ثابت لایه غیرمغناطیس مس به روش تبخیر در خلأ تهیه شدند.



شکل ۱- مقاومت مغناطیسی نمونه‌ها بر حسب میدان؛ (الف) میدان مغناطیسی موازی با جهت جریان، (ب) میدان مغناطیسی عمود بر جهت جریان.

جدول ۲- نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقاومت مغناطیسی سه‌لایه‌های Fe/Cu/Fe با ضخامت‌های آهن متفاوت در میدان‌های موازی و عمود بر جهت جریان.

مقاومت مغناطیسی جهت میدان اعمال شده	Fe = 16 nm MR%	Fe = 20 nm MR%	Fe = 30 nm MR%
میدان موازی با جهت جریان	۰٫۶۴	۰٫۱۴	۰٫۱۰
میدان عمود بر جهت جریان	۰٫۵۹	۰٫۰۴۲	۰٫۰۲۴

شکل ۲ (الف و ب) تغییرات مقاومت مغناطیسی نمونه‌ها بر حسب ضخامت لایه آهن را نشان می‌دهد. همانطور که شکل

مقاومت مغناطیسی نمونه‌ها به روش چهارمیله‌ای و با استفاده از قاعده ون-در-پاو اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری مقاومت مغناطیسی در دو حالت میدان موازی و عمود بر جهت جریان و در دمای اتاق انجام گرفت.

نتایج نشان دادند که با افزایش ضخامت لایه مغناطیسی آهن، مقاومت مغناطیسی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. همچنین، مقایسه دو حالت میدان موازی با جهت جریان و میدان عمود بر جهت جریان، نشان داد که مقاومت مغناطیسی در حالت میدان موازی با جهت جریان بیشتر است. این تغییرات می‌تواند ناشی از کاهش پراکندگی وابسته به اسپین الکترونها باشد. اشباع مقاومت مغناطیسی همه نمونه‌ها در میدان حدود ۵۰۰ اورستد اتفاق افتاد.

#### مرجع‌ها

- [1] S. J. Lee et al; "In-Plane Resistivity and Magnetoresistivity Study for Fe/Al Trilayered Films"; *Jornal of Korean Physical Society* 31, No.3 (1997) 486-490.
- [2] N. H. Duc; "Low- field magnetoresistance of Fe/Cr multilayers"; *Physica B*, No. 327 (2003) 334-336.
- [3] C. Rizal; "Magnetic Properties of Fe/Cu Multilayers Prepared Using Pulsed- Current Electrodepositio"; *Jornal of Nano- And Electronic Physics* 4, No. 1 (2012) 01001-01003.
- [4] A. Bartels; "A Precedure for Temperature Dependent, Different Van Der Pauw Measurment"; *Jornal of Applied Physics* 66, No. 8 (1995) 4271-4276.