

## بررسی مغناطومقاومت بزرگ در چند لایه‌ای‌های نیکل/مس ساخته شده به روش الکترونهشت

جمیل پناه، لقمان؛ عرفانی فام، سلیم؛ عزیزموسنی، سینا؛ ساداتی، سید مصطفی؛ محسنی، سید مجید

دانشکده فیزیک دانشگاه شهید بهشتی، اوین، تهران

### چکیده

چند لایه ای های نازک فلزی مغناطیسی و غیر مغناطیسی برای اثر مغناطومقاومت پیشنهاد شده اند. در این تحقیق چند لایه ای های (نیکل/مس) با تعداد تکرار ۱۰ و با ضخامت های مختلف لایه نیکل و مس به روش الکترونهشت بر روی زیرلایه سیلیکون نوع n ساخته شدند و ضخامت های لایه های ساخته شده توسط قانون فارادی برآورد گردیدند. ضخامت سنجی های انجام شده حاکی از انطباق ضخامت های برآوردی از قانون فارادی و ضخامت سنجی است. مغناطومقاومت نمونه ها در بازه ۱۲۰ اورستد اندازه گیری شد و مغناطومقاومت بیشینه ۰,۵۲۴٪ در نمونه با ضخامت لایه مس ۱,۴ نانومتر و ضخامت لایه نیکل ۵,۶ نانومتر بدست آمد. این امر با توجه به عمق نفوذ اسپینی در لایه مس توضیح داده شد.

## Investigation of Giant Magnetoresistance in Ni/Cu Multilayers Fabricated via Electrodeposition Method

Jamilpanah, Loghman; Erfanifam, Salim; Azizmohseni, Sina; Saadati, seyed Mostafa; Mohseni, seyed Majid

Department of Physics, Shahid Beheshti University, Evin, Tehran

### Abstract

Magnetic and nonmagnetic thin metallic multilayers have been suggested for magnetoresistance (MR) effect. In this research (Ni/Cu)<sub>10</sub> multilayers with different thicknesses of Ni and Cu layers fabricated by electrodeposition method on Si (n type) substrate and the thickness of fabricated layers evaluated by faraday law. Profilometry measurements showed the good agreement between the thicknesses calculated from Faraday law and the thickness gained from profilometry. Magnetoresistance of samples measured up to 120 Oe and maximum magnetoresistance obtained at sample with 1.4 nm thickness of Cu layer and 5.6 nm thickness of Ni layer. This phenomena explained according to the spin diffusion length of electron in Cu layer.

PACS No( )

### مقدمه

هنگامی که یک چند لایه ای از مواد فرومغناطیسی و غیر مغناطیسی را بر روی یکدیگر قرار می دهیم و یک جریان الکتریکی از آنها عبور دهیم الکترونها با جهتگیری های اسپینی بالا و پایین با پراکندگی از لایه های مختلف که پراکندگی های اسپینسنی و غیر اسپینسنی را شامل می شود رو به رو میگردند.

حال اگر در همین حالت یک میدان مغناطیسی به ماده اعمال کنیم مغناطش ماده در یک راستا قرار میگیرد و الکترونهایی که اسپینشان با این میدان هم جهت شده است دچار پراکندگی کمتری می شوند و در نتیجه مقاومت کمتری را احساس میکنند [5,6].

کشف مغناطومقاومت بزرگ توسط آلبرت فرت و گرونبرگ در سال ۱۹۸۸ منجر به تحولات بسیار بزرگی در زمینه اسپینترونیک و ذخیره داده در حافظه های مغناطیسی با ابعاد کوچک شد [1-4].

هنگامی که یک الکترون در یک ماده فرو مغناطیسی حرکت می کند دچار یک پراکندگی وابسته به اسپین می شود. الکترون هایی که اسپین آنها در جهت مغناطش باشند کمتر و آنهایی که اسپینشان مخالف جهت میدان باشد بیشتر دچار پراکندگی می شوند.

برای بدست آوردن ضخامت لایه ها از قانون فارادی به قرار زیر استفاده نمودیم:

$$x = \frac{600000(i.A)}{(n.S.F.\rho)}$$

که در آن  $x$  ضخامت لایه،  $i$  جریان نهشت،  $n$  بار یونها،  $S$  مساحت لایه نهشت شده،  $F$  ثابت فارادی،  $\rho$  چگالی حجمی لایه نهشت شده و  $A$  وزن مولی لایه نهشت شده میباشند.

جهت انجام مشاهدات مغناطومقاومت از اتصال دو پروبه استفاده گردید و برای اندازه گیری مقاومت از ولت متر kiethley مدل ۲۴۵۰ استفاده گردید. میدان مغناطیسی اعمالی در مشاهدات مغناطومقاومت ۱۲۰ اورستد میباشند. جهت اندازه گیری ضخامت از دستگاه پروفایلمتری با دقت آنگستروم استفاده گردید.

### بحث و نتیجه گیری

جهت ساخت چند لایه ای ها ابتدا اقدام به به دست آوردن ولتاژهای کاهش نیکل و مس به کمک نمودار ولتاژ و جریان نمودیم.

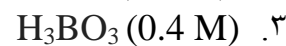
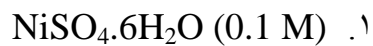
نمودار ولتاموگرام مربوط به نهشت چند لایه ای نیکل/مس را میتوان در شکل ۱ ملاحظه نمود. خطای اندازه گیری جریان ۰٫۵ میلی آمپر می باشد. با توجه به کوچکتر بودن ولتاژ نهشت مس نسبت به نیکل ملاحظه میکنیم که نهشت مس در ولتاژ پایینتر (در اینجا ۳ ولت) یعنی ولتاژ آستانه شروع جریان رخ میدهد و نهشت نیکل در ولتاژهای بالاتر رخ میدهد. بدین دلیل جهت نهشت مس از ولتاژ ۳ ولت و از ولتاژ ۶ ولت جهت نهشت نیکل استفاده نمودیم.

جهت ساخت چند لایه ای ها از روش های مختلفی مانند اسپاترینگ و الکترو نهشت استفاده میشود [7-9]. با توجه به کاربرد فراوان این چند لایه ای ها در صنعت و تکنولوژی استفاده از روشهای ارزان قیمت جهت ساخت لایه های مناسب مورد توجه میباشد.

در اینجا ما از روش الکترو نهشت برای ساخت این چند لایه ای ها استفاده نموده و به بررسی مغناطو مقاومت در آنها پرداخته ایم.

### روش آزمایش

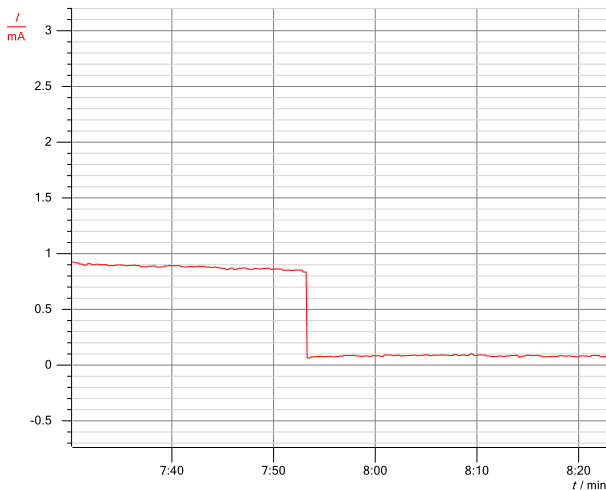
برای ساخت نمونه های چند لایه ای از روش تک حمامی استفاده نمودیم. جهت تهیه چند لایه ای های نیکل/مس به روش الکترو نهشت، از مواد زیر با مولاریته های مشخص شده برای ساخت محلول الکترو نهشت استفاده نمودیم:



محلول حاصل را به مدت سه ساعت با استفاده از مگنت مغناطیسی هم زدیم تا محلول یکنواخت به دست آید. اسیدیته محلول حاصل در این حالت در دمای اتاق حدود ۴ بدست آمد.

جهت انجام فرایند نهشت از روش دو الکترو دی استفاده نمودیم. همچنین از لایه پلاتین به عنوان آند استفاده گردید و از سیلیکون نوع n با سطح در راستای (۱۱۱) بلوری به عنوان زیر لایه (کاتد) استفاده گردید. سیلیکون دارای مقاومت بالا می باشد و جهت انجام مطالعات مغناطو مقاومت گزینه مناسبی است. شست و شوی زیر لایه ابتدا توسط اتانول و آب انجام شد و سپس توسط هیدروفلوریک اسید رقیق شده (۵٪) سیلیکون اکساید تشکیل شده بر روی سطح سیلیکون را برطرف نمودیم. و بلافاصله نمونه را به سلول نهشت منتقل نمودیم تا نمونه اکسید نشود.

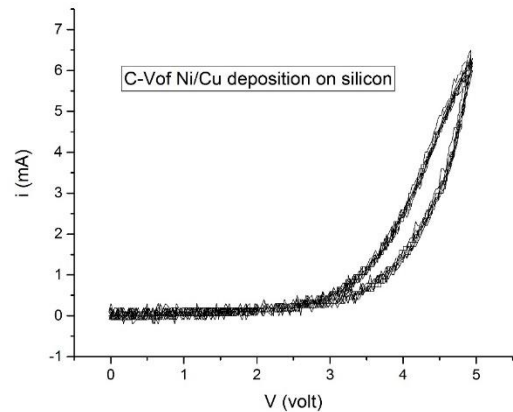
جهت اعمال ولتاژ به سلول نهشت از یک منبع تغذیه DC و جهت اندازه گیری های ولتاژ و جریان نهشت از یک دستگاه Cassy مدل ۵۳۱۸۳۱ استفاده گردید.



شکل ۳:  $I_{Ni} = 0.9 \text{ mA}$ ,  $I_{Cu} = 0.1 \text{ mA}$

برای بدست آوردن مغناطومقاومت از جریان در راستای میدان مغناطیسی استفاده نمودیم (مغناطومقاومت طولی). در شکل ۴ مغناطومقاومت مربوط به لایه  $Ni(5.6)/Cu(1.4)$  را ملاحظه میکنیم که با افزایش میدان مغناطیسی مقاومت نمونه کاهش پیدا میکند. مغناطومقاومت های مربوط به لایه های نهشت شده را میتوان در جدول ۱ ملاحظه نمود. با توجه به دقت بالای اندازه گیری دستگاه، مغناطومقاومت هزارم درصد را بدست آورده ایم. ملاحظه میکنیم که با ثابت ماندن ضخامت لایه مس (۱,۴ nm) و تغییر ضخامت نیکل از ۱۱,۷ به ۵,۶ نانومتر مغناطومقاومت از ۰,۴۰۳٪ درصد به ۰,۵۲۴٪ درصد افزایش میابد. کاهش مغناطومقاومت در نمونه با ضخامت لایه نیکل ۱۱,۷ به دلیل هدایت جریان الکتریکی از طریق لایه های مغناطیسی نیکل و عدم رخ دادن مغناطومقاومت ناشی از عبور الکترون از مرز لایه نیکل-مس کم می شود که با کاهش ضخامت نیکل عبور جریان از مرز لایه نیکل-مس افزایش می یابد و مغناطومقاومت نیز افزایش می یابد.

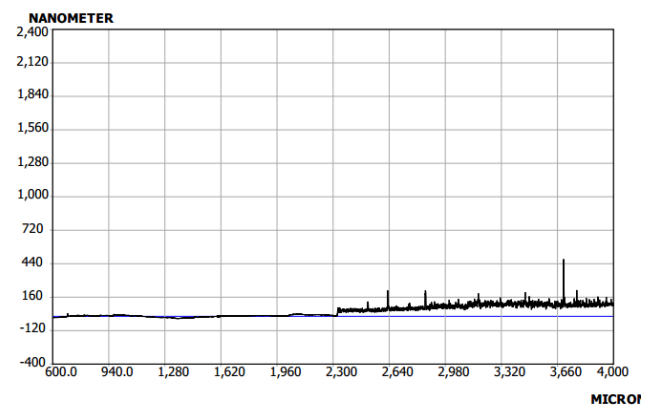
همچنین با تغییر ضخامت لایه مس از ۱,۸ به ۱,۴ نانومتر مغناطومقاومت از ۰,۲۰۳٪ به ۰,۴۰۳٪ درصد افزایش میابد. این امر نیز به خاطر چرخش اسپین الکترون با حرکت در لایه مس میباشد که با توجه به خلاف جهت بودن اسپین الکترون با مغناطش نیکل در ضخامت های بالاتر، شاهد کاهش مغناطومقاومت در لایه های با



شکل ۱: نمودار ولتاموگرام برای سلول نهشت نیکل/مس.

نمونه های مختلف با ضخامت های مختلف لایه مس و نیکل تهیه گشتند. تعداد تکرار لایه های ساخته شده ۱۰ میباشد. ضخامت های بدست آمده از قانون فارادی برای لایه ها نیکل و مس را میتوان در جدول ۱ ملاحظه نمود. جهت بررسی درستی ضخامت های بدست آمده، نمونه با ضخامت لایه مس ۰,۵ نانومتر و ضخامت لایه نیکل ۶,۵ نانومتر را ضخامت سنجی نمودیم. ضخامت لایه حاصل همان ۷۰ نانومتر، برای تعداد تکرار ۱۰ (محاسبه شده از قانون فارادی) بدست آمد. نتیجه را می توان در شکل ۲ ملاحظه نمود.

نمونه ای از نمودار جریان بر حسب زمان برای لایه های نهشت شده را میتوان در شکل ۳ ملاحظه نمود.



شکل ۲: نتیجه بدست آمده از پروفایلمتری.

### مرجع ها

[1] B.A. Everitt, A. V Pohm, J.M. Daughton; "Size dependence of switching thresholds for pseudo spin valve MRAM cells"; J. Appl. Phys. **81** (1997) 4020–4022.

[2] J.M. Daughton, Y.J. Chen; "GMR materials for low field applications"; IEEE Trans. Magn. **29** (1993) 2705–2710.

[3] Y. Huai; "Spin-Transfer Torque MRAM ( STT-MRAM ): Challenges and Prospects"; AAPPS Bull. **18** (2008) 33–40.

[4] M.N. Baibich, J.M. Broto, A. Fert, F.N. Van Dau, F. Petroff, P. Eitenne, et al; "Giant magnetoresistance of (001)Fe/(001)Cr magnetic superlattices"; Phys. Rev. Lett. **61** (1988) 2472–2475.

[5] J.M. Daughton, A. V Pohm, R.T. Fayfield, C.H. Smith; "Applications of spin dependent transport materials"; J. Phys. D. Appl. Phys. **32** (1999) R169.

[6] J. Li, P. Ndai, A. Goel, S. Salahuddin, K. Roy; "Design paradigm for robust spin-torque transfer magnetic RAM (STT MRAM) from circuit/architecture perspective"; IEEE Trans. Very Large Scale Integr. Syst. **18** (2010) 1710–1723.

[7] A.A. Pasa, W. Schwarzacher; "Electrodeposition of thin films and multilayers on silicon"; Phys. Status Solidi Appl. Res. **173** (1999) 73–84.

[8] A.P. O’Keeffe, O.I. Kasyutich, W. Schwarzacher, L.S. De Oliveira, A.A. Pasa; "Giant magnetoresistance in multilayers electrodeposited on n-Si"; Appl. Phys. Lett. **73** (1998) 1002–1004.

[9] S. Menezes; "Wavelength-Property Correlation in Electrodeposited Ultrastructured Cu-Ni Multilayers"; J. Electrochem. Soc. **137** (1990) 440.

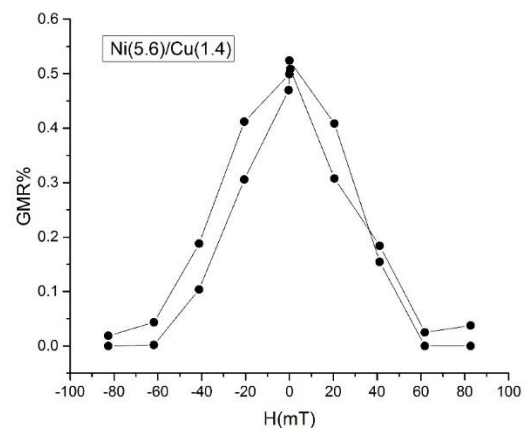
[10] A. Tokarz, A. Wolkenberg, T. Przeslawski; "Magnetic Properties of Electrochemically Deposited Ni/Cu Superlattices"; J. Electrochem. Soc. **149** (2002) C607.

[11] I. Bakonyi, J. Tóth, L.F. Kiss, E. Tóth-Kádár, L. Péter, A. Dinia; "Origin of giant magnetoresistance contributions in electrodeposited Ni-Cu/Cu multilayers"; J. Magn. Magn. Mater. **269** (2004) 156–167.

ضخامت بیشتر مس میباشد. نمودار مغناطوسم مقاومت مربوط به لایه با مغناطوسم مقاومت ۰,۵۲۴٪ را میتوان در شکل ۴ ملاحظه نمود.

جدول ۱: درصد مغناطوسم مقاومت و ضخامت های مربوط به نمونه ها.

نمونه	ضخامت نیکل (nm)	ضخامت مس (nm)	درصد مغناطوسم مقاومت
۱	۱۱,۷	۱,۴	۰,۴۰۳
۲	۳	۱,۸	۰,۰۹۰
۳	۵,۶	۱,۴	۰,۵۲۴
۴	۱۰	۱,۸	۰,۲۰۳
۵	۱۳	۵,۶	۰,۱۲۲
۶	۶,۵	۰,۵	۰,۱۰۳



بیشترین مقدار مغناطوسم مقاومت (Ni(5.6)/Cu(1.4)) شکل ۴: در این نمونه ۰,۵۲۴ درصد میباشد.

نتایج بدست آمده برای مغناطوسم مقاومت قابل مقایسه با نتایج دیگران [10,11] میباشد.

### نتیجه گیری

چند لایه ای های نیکل/مس، با ضخامت های مختلف لایه نیکل و مس ساخته شدند. ضخامت سنجی های انجام شده حاکی از دقت ضخامت های برآوردی برای لایه های نهشت شده میباشد. تغییر مغناطوسم مقاومت به دلیل تغییر ضخامت لایه های نیکل و مس حاکی از قابل کنترل بودن مغناطوسم مقاومت با استفاده از روش الکترونهشت میباشد.