

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

## بررسی وابستگی اثر مغناطوامپدانس غول آسا به میدان مغناطیسی در حسگرهای تک هسته و دو

## هسته در گستره فرکانس های متوسط

قوچانی ، شیما<sup>۱،۲</sup>؛ رضایی رکن آبادی ، محمود<sup>۱،۲</sup>؛ جزایری قره باغی ، علی<sup>۳</sup>

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

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

۳- سازمان جهاد دانشگاهی صنعتی شریف

## چکیده

در این مقاله وابستگی اثر مغناطوامپدانس غول آسا به میدان مغناطیسی اعمالی در فرکانس های متوسط (ده کیلوهرتز تا چند صد مگاهرتز) بر روی سیم مغناطیسی بی شکل  $Co_{68.15}Fe_{4.35}Si_{12.5}B_{15}$  در دو حالت تک سیم و دو سیم موازی بررسی شده است. نتایج نشان دادند که در فرکانس های اندازه گیری شده، به دلیل ایجاد جریان های سطحی، تراوایی مغناطیسی مربوط به حرکت دیواره ها شروع به کاهش کرده و اثر مخرب روی  $GMI$  دارد. با توجه به نتایج آزمایش، همانطور که انتظار می رود منحنی  $GMI$  به قله رسیده و سپس به دلیل جریان میرایی افت می نماید. همچنین در فرکانس اندازه گیری شده (  $10MHz$  ) درصد  $GMI$  از ۲۸۰ درصد برای حالت تک سیم به ۳۲۰ درصد برای حالتی که از دو سیم موازی تشکیل شده افزایش یافته است.

واژگان کلیدی: اثر مغناطوامپدانس غول آسا - سیم مغناطیسی بی شکل - تراوایی مغناطیسی

## Investigation of the magnetic field dependence of giant magnetoimpedance effect in single core and double core sensoes in the intermediate frequency regimes

Ghoochani, Shima<sup>1,2</sup>; Rezaei roknabadi, Mahmoud<sup>1,2</sup>; Jazayeri gharebagh, Ali<sup>3</sup><sup>1</sup> Department of Physics, Ferdowsi University, of Mashhad, Mashhad, Iran<sup>2</sup> Angstrom thin film research laboratory, Department of Physics, Ferdowsi University, of Mashhad. Mashhad, Iran<sup>3</sup> Acecr-sharif university branch

## Abstract

*In this work, dependence of the giant magnetoimpedance effect on the applied magnetic field in the amorphous magnetic wire  $Co_{68.15}Fe_{4.35}Si_{12.5}B_{15}$ , in the cases of single wire and parallel double wires has been investigated in the intermediate frequencies (10 kHz to a few hundred MHz). The results indicated, in the measured frequencies, the magnetic permeability will be decreased because of eddy currents, and it has destructive effect on GMI. As it has predicted, the experiment results indicated the GMI profile reaches a maximum and then decreased due to eddy currents. Also, the GMI ratio increased from 280% in the single wire case to 320% for the parallel wires, in the measured frequency (10MHz).*

PACS No. 8085

Key words: Giant magnetoimpedance effect – amorphous magnetic wire – magnetic permeability

## مقدمه

در فرکانس‌های پایین، انرژی لازم جهت حرکت دیواره حوزه‌ها تامین نشده و در این ناحیه اثر پوسته بسیار ضعیف است. در فرکانس‌های متوسط اثر پوسته مهم شده و در این ناحیه GMI اساساً ناشی از تغییرات عمق پوسته است که در اثر تغییرات شدید تراوایی مغناطیسی موثر در حضور میدان مغناطیسی خارجی ( $H_{dc}$ ) بوجود آمده است [۲].

بسته به شکل هندسی نمونه، منحنی GMI در بازه فرکانسی (صد کیلوهرتز تا ده مگاهرتز) می‌تواند به یک قله برسد. زیرا هم حرکت دیواره حوزه و هم چرخش ممان‌ها در تراوایی و در نتیجه در GMI نقش دارند [۳]. اما در فرکانس‌های بالاتر (در ناحیه متوسط)، به دلیل وجود جریان‌های سطحی تراوایی مغناطیسی ناشی از حرکت دیواره‌ها کاهش می‌یابد. پس بتدریج سهم چرخش ممان‌ها در تراوایی مغناطیسی ماده غالب شده و دیواره‌ها تقریباً ساکن می‌شوند.

در نتیجه بدیهی است که منحنی GMI به قله برسد و سپس به دلیل جریان میرایی افت نماید.

در فرکانس‌های بالا، بنیان GMI روی اثر ژیرومغناطیسی است [۴]. در این ناحیه تغییرات شدیدی در عمق پوسته به وجود می‌آید که در نتیجه مکانیزمی است که مشابه با پدیده تشدید فرومغناطیسی (FMR) است.

در این مقاله یک سیم پایه‌کبالت که به روش ذوبی- چرخشی<sup>۲</sup> مورد آزمایش قرار گرفته است.

## روش تحقیق :

سیم مغناطیسی  $Co_{68.15}Fe_{4.35}Si_{12.5}B_{15}$  به طول  $3/5\text{cm}$  و قطر  $125\mu\text{m}$  انتخاب شده است. وابستگی امپدانس ماده به میدان مغناطیسی dc خارجی در فرکانس‌های  $250\text{KHz}$  و  $1\text{MHz}$  بررسی شده است. اندازه‌گیری با استفاده از یک سیگنال ژنراتور و جریان محرکی با دامنه ثابت  $14\text{mA}$  انجام شده است.

ابتدا از یک سیم مغناطیسی بی‌شکل استفاده کرده و سیم‌ها روی پایه‌های مسی قرار داده شد (شکل ۱-الف)، و تغییرات امپدانس

اخیراً توسعه حسگرهای مغناطیسی پرکاربرد از زمان کشف اثر معروف به مغناطوامپدانس غول‌آسا در مواد فرومغناطیس نانوبلوری و بی‌شکل، اهمیت زیادی پیدا کرده است [۱ و ۲].

تغییرات زیاد امپدانس مواد مغناطیسی نرم، هنگامیکه این مواد تحت تاثیر میدان مغناطیسی یکنواخت باشند را اثر مغناطوامپدانس غول‌آسا (GMI)<sup>۱</sup> می‌نامند. این پدیده صرفاً کلاسیکی است و به جز اثرات کوانتومی در مغناطیس، هیچ اثر کوانتومی دیگری دیده نمی‌شود. اثر مغناطوامپدانس غول‌آسا بر پایه تاثیر میدان مغناطیسی خارجی بر پاسخ مغناطیسی ماده و در نتیجه بر امپدانس آن بنا شده است [۱].

این اثر ناشی از توزیع غیر یکنواخت جریان متناوب در فرکانس‌های نسبتاً بالا در ماده است که به آن اثر پوسته می‌گویند و مستقیماً وابسته به تغییرات در عمق پوسته ( $\delta_m$ ) است. عمق پوسته بستگی به نفوذپذیری مغناطیسی محیطی ماده ( $\mu_0$ ) و رسانندگی الکتریکی ( $\sigma$ ) و فرکانس ( $f$ ) دارد و به صورت زیر بیان می‌شود [۳]:

$$\delta_m = c/\sqrt{(4\pi^2 f \sigma \mu_0)}$$

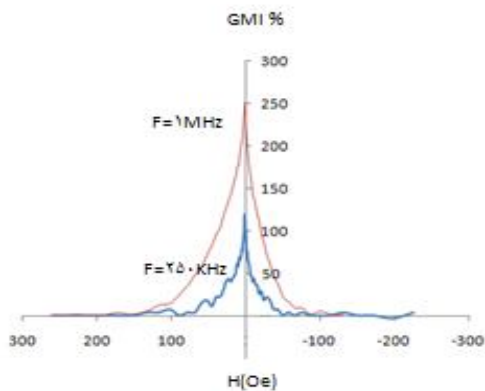
از آنجا که اعمال یک میدان مغناطیسی یکنواخت باعث افزایش عمق پوسته و در نتیجه کاهش امپدانس می‌شود، اثر مغناطوامپدانس غول‌آسا در موادی ایجاد می‌شود که مقاومت کم و نفوذپذیری مغناطیسی زیادی داشته باشند.

میدان مغناطیسی dc و فرکانس جریان متناوب از مهمترین پارامترهای GMI محسوب می‌شوند.

براساس فرکانس جریان محرک متناوب ( $f$ ) مغناطوامپدانس غول-آسا را در حالت کلی به سه ناحیه زیر دسته‌بندی می‌کنند [۲]:

- ۱) ناحیه فرکانسی پایین (یک تا ده کیلوهرتز)
- ۲) ناحیه فرکانسی متوسط (ده کیلوهرتز تا چند صد مگاهرتز)
- ۳) ناحیه فرکانسی بالا (پانصد مگاهرتز تا گیگاهرتز)

<sup>۱</sup>Giant magneto impedance<sup>۲</sup>Melt spinning



شکل (۲) نمودار وابستگی GMI به میدان مغناطیسی خارجی در فرکانس‌های ۲۵۰KHz و ۱MHz

وقتی یک میدان مغناطیسی dc در راستای محور طولی به نمونه اعمال می‌شود در عدم حضور جریان متناوب، حوزه‌های نزدیک به جهت میدان شروع به رشد کرده و سایر حوزه‌ها کاهش می‌یابند تا در میدان‌های بالا ماده تک حوزه می‌شود. با حضور جریان متناوب، ممان‌های مغناطیسی در هر حوزه‌ای به سمت میدان اعمالی می‌چرخند. با افزایش میدان، تراوایی پیرامونی و در نتیجه امپدانس افزایش می‌یابد. زمانی که میدان مغناطیسی اعمالی با میدان ناهمسانگردی ماده برابر شود منحنی GMI به یک ماکزیمم می‌رسد. افزایش بیشتر میدان خارجی منجر به کاهش تراوایی مؤثر شده و منحنی GMI افت می‌نماید.

کاهش اثر GMI در فرکانس‌های بالاتر به دلیل این است که حرکت دیواره حوزه‌ها، در اثر جریان‌های سطحی شدیداً "میرا می‌شود" [۶]. در نتیجه تنها چرخش ممان‌های مغناطیسی در GMI نقش دارد.

بنابراین بدیهی است که منحنی GMI به مقدار بیشینه رسیده و سپس به دلیل جریان میرایی افت نماید. لازم به ذکر است که قله در منحنی GMI در میدان ناهمسانگردی ماده رخ می‌دهد [۵]. شکل‌های ۳-الف و ب اثر شکل هندسی ماده را در GMI نشان می‌دهد.

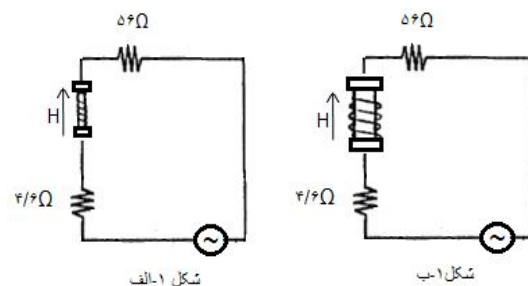
وابستگی امپدانس به میدان مغناطیسی خارجی در فرکانس ۱۰MHz اندازه‌گیری شده است. نتایج نشان می‌دهد، استفاده از دو سیم موازی اثر GMI بهتری را نسبت به حالت تک‌سیم نشان می‌دهد.

مغناطیسی این نمونه در فرکانس‌های مختلف بر حسب میدان مغناطیسی خارجی بررسی شدند.

برای ایجاد میدان مغناطیسی خارجی از یک سلونوئید با میدان مغناطیسی یکنواخت در جهت طولی و همراستا با طول سیم در بازه صفر تا ۱۶۰ اورستد استفاده شده است. درصد تغییر امپدانس مغناطیسی (نسبت GMI) با میدان مغناطیسی اعمالی به صورت زیر بیان می‌شود [۵]:

$$\Delta Z/Z(\%) = 100 * [Z(H) - Z(H_{max})] / Z(H_{max})$$

که در آن  $H_{max}$  ماکزیمم میدان مغناطیسی یکنواخت اعمالی است. بدین ترتیب نمودار درصد GMI بر حسب میدان مغناطیسی خارجی رسم و مقایسه شد (شکل ۲). همچنین مراحل فوق برای حالت دو سیم موازی به همان طول و به فاصله ۱cm بررسی شد (شکل ۱-ب).



شکل ۱ طراحی اول، الف) یک سیم مغناطیسی بی‌شکل. طراحی دوم، ب) دو عدد سیم به همان طول به صورت موازی و به فاصله ۱cm از هم.

## تحلیل و بررسی نتایج

شکل ۲، نمودار وابستگی به میدان مغناطیسی خارجی GMI را که در آن از یک سیم مغناطیسی بی‌شکل به عنوان ماده GMI استفاده شده است، نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود رفتار امپدانس مواد با اعمال میدان مغناطیسی پس از یک روند افزایشی، کاهش می‌یابد که در فرکانس‌های مختلف، این بیشینه امپدانس متفاوت است.

همانطور که مشاهده می‌شود رفتار امپدانس مواد با اعمال میدان مغناطیسی پس از یک روند افزایشی، کاهش می‌یابد که در فرکانس‌های مختلف، این بیشینه امپدانس متفاوت است.

در طراحی دوم، در فرکانس اندازه‌گیری شده (۱۰ MHz) درصد GMI ( $\Delta Z/Z\%$ ) از ۲۸۰ درصد برای حالت تک سیم به ۳۲۰ درصد برای حالتی که از دو سیم موازی تشکیل شده، افزایش یافته است.

وجود دو سیم مغناطیسی به صورت موازی باعث افزایش حساسیت میدان مغناطیسی می‌شود و اثر GMI بهتری را نسبت به حالت تک‌سیم نشان داد که شاید بتوان علت این رفتار را به افزایش خاصیت القائی نسبت داد.

### سپاسگزاری

با سپاس و قدردانی فراوان از جناب آقای دکتر قناعت شعار و دکتر حمید افتخاری در گروه پژوهشکده لیزر و پلاسما در دانشگاه شهید بهشتی تهران و همچنین از جناب آقای مجتبی محمدی در آزمایشگاه تحقیقاتی لایه نازک آنکستروم در دانشگاه فردوسی مشهد که در ارائه امکانات و مباحث علمی همکاری نموده اند.

### مرجع‌ها

- [۱] M.-H. Phan, H.-X. Peng, Giant magnetoimpedance materials: fundamentals and applications, Prog. Mater. Sci. 53 (2008) 323-420  
 [۲] L.V. Panina, K. Mohri, Magneto-impedance effect in amorphous wires, Appl. Phys. Lett. 65 (1994) 1189.  
 [۳] M. Knobel, K.R. Pirota, J. Magn. Magn. Mater. 242-245 (2002) 33;M.  
 [۴] Knobel, M.L. Sánchez, P. Marín, C. Gómez-Polo, M. Valázquez, A. Hernando, J. Appl. Phys. 79 (1996) 1646.  
 [۵] M. Ghanaatshoar, M.M. Tehrani, S.M. Mohseni, M. Parhizkari, S.E. Roozmeh, A. Jazayeri Gharebagh, Magnetoimpedance effect in current annealed Co-based amorphous wires, J. Magn. Magn. Mater. 304 (2006) e706-e708.  
 [۶] Progress in Materials Science 53 (2008) 323-420

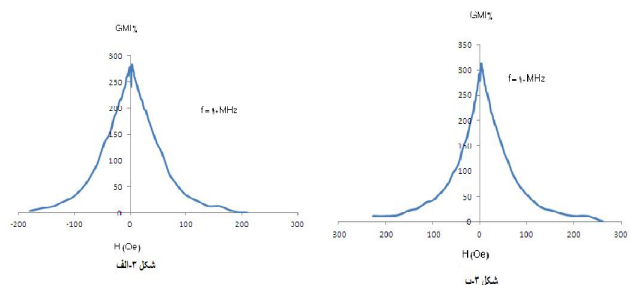
شاید بتوان علت این رفتار را به افزایش خاصیت القائی نسبت داد [۶]. در واقع وجود دو سیم مغناطیسی به صورت موازی باعث

افزایش حساسیت میدان مغناطیسی می‌شود.

همانطور که مشاهده می‌شود در بالاترین فرکانس اندازه‌گیری شده (۱۰ MHz) درصد GMI ( $\Delta Z/Z\%$ ) از ۲۸۰ درصد برای حالت تک سیم به ۳۲۰ درصد برای حالتی که از دو سیم موازی تشکیل شده، افزایش یافته است.

در فرکانس‌های اندازه‌گیری شده مشاهده دو قله در منحنی GMI نتیجه تحریک دیواره حوزه‌ها در راستای محیطی است [۶].

همچنین پاسخ مغناطیسی  $\xi$  در نمونه با یک سیم، ۱۳ درصد بر اورستد است در حالیکه در نمونه با دو سیم موازی،  $\xi$  حدود ۱۷ درصد بر اورستد می‌باشد، که نشان می‌دهد این طراحی (دو سیم موازی) به منظور کاربرد در سنسورهای GMI با حساسیت بالا مناسب است.



(شکل ۳-الف) نمودار وابستگی GMI به میدان مغناطیسی خارجی برای حالت تک سیم. / (شکل ۳-ب) نمودار وابستگی GMI به میدان مغناطیسی خارجی برای حالت دو سیم موازی.

### نتیجه‌گیری

از سیم مغناطیسی بی‌شکل  $\text{Co}_{68.15}\text{Fe}_{4.35}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$  به منظور اندازه‌گیری اثر مغناطیسی امپدانس غول‌آسا در فرکانس‌های ۲۵۰ KHz و ۱ MHz و ۱۶ MHz بر حسب میدان مغناطیسی یکنواخت اعمالی استفاده شده است. به منظور اندازه‌گیری اثر مغناطیسی امپدانس غول‌آسا در فرکانس‌های ۸ MHz و ۱۰ MHz بر حسب میدان مغناطیسی یکنواخت اعمالی در دو طراحی متفاوت، استفاده شده است.

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله