

اثر جهت و اندازه میدان مغناطیسی در بازپخت جریان DC-میدانی بر امپدانس مغناطیسی بزرگ نوار آلیاژ آمورف $Co_{68.15} Fe_{4.35} Si_{12.5} B_{15}$

خان احمدی، ایمان؛ روزمه، سید احسان

دانشکده فیزیک دانشگاه کاشان، کیلومتر ۶ بلوار قطب راوندی - روبروی پل هوایی، کاشان

گروه فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان

چکیده

در این مقاله تأثیر پارامترهای بازپخت (اندازه و جهت میدان مغناطیسی) در بازپخت جریان مستقیم و جریان مستقیم-میدانی در نوارهای آلیاژ آمورف $Co_{68.15} Fe_{4.35} Si_{12.5} B_{15}$ مورد بررسی قرار گرفت.

بیشینه مقدار درصد امپدانس مغناطیسی در بازپخت جریان مستقیم ۱۱۶.۲٪ در جریان ۶۰۰ میلی آمپر و ۱۵ دقیقه بازپخت و در بازپخت جریان مستقیم-میدانی، بیشینه مقدار درصد امپدانس مغناطیسی در ۶۰۰ میلی آمپر، میدان مغناطیسی عرضی ۶۰ اورستد و حدود ۱۴۷.۴۷٪ به دست آمد.

The influence of magnetic field direction and amplitude in direct current-field annealing on the giant magnetoimpedance effect (GMI) of $Co_{68.15} Fe_{4.35} Si_{12.5} B_{15}$ amorphous alloy ribbon

Khanahmadi, Iman; Roozmeh, Seyed ehsan

Department of Physics, University of kashan, kashan,

Department of Physics, kashan University, kashan

Abstract

In this paper, the influence of annealing parameters (amount and direct of magnetic field) in DC current and DC current-field annealing was investigated in $Co_{68.15} Fe_{4.35} Si_{12.5} B_{15}$ amorphous alloys ribbons for magneto impedance.

The maximum value of GMI ratio (about 116.2%) obtained for 600mA and 15 minutes in DC current annealing. This maximum was (about 147.4%) for 600mA, 600e transverse magnetic field in DC current-field annealing.

Amorphous Alloys, DC Current -Field Annealing, Co-based, Magnetic Material.

مقدمه

امپدانس مغناطیسی (MI) شامل تغییرات زیاد امپدانس مواد مغناطیسی نرم تحت اعمال میدان مغناطیسی یکنواخت است. این پدیده به طور گسترده در نوارهای کبالت پایه به دلیل داشتن میدان ناهمسانگردی نزدیک صفر بررسی شده است. ناهمسانگردی را می توان به وسیله کنترل شرایط بازپخت تغییر داد. نوارهای کبالت پایه به دلیل دارا بودن حوزه مغناطیسی برای

کشف اثر امپدانس مغناطیسی (MI) در سال ۱۹۹۴ [۱] باب تازه ای را در بررسی حسگرهای مغناطیسی دقیق گشود. اثر امپدانس مغناطیسی به عنوان یکی از خواص ترابرد مواد می تواند بیان کننده خواص ذاتی و همچنین خواص مغناطیسی مواد از جمله ناهمسانگردی، تنگش، پذیرفتاری، تشدید مغناطیسی و غیره باشد.

مشاهده اثر MI بسیار مناسب می‌باشند. القای حوزه‌های مغناطیسی را می‌توان به وسیله کنترل شرایط بازپخت اعم از (نرخ بازپخت، مدت‌زمان حضور میدان و...) کنترل کرد. تغییر امپدانس الکتریکی رسانای حامل جریان متناوب با دامنه و فرکانس مشخص تحت تغییر میدان مغناطیسی استاتیکی خارجی، امپدانس مغناطیسی نامیده می‌شود [۱]. نسبت امپدانس مغناطیسی نمونه‌ها از رابطه‌ی (۱) به دست می‌آید:

پس از بهینه‌سازی، برای اندازه‌گیری امپدانس، جریان متناوب ۸ میلی‌آمپر و فرکانس ۴ مگاهرتز توسط دستگاه مولد جریان متناوب به نمونه اعمال و اندازه‌گیری ولتاژ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ انجام شد. میدان مغناطیسی یکنواخت در جهت طولی و هم‌راستا با طول نوار به وسیله‌ی سیم‌پیچ در بازه‌ی صفر تا ۱۰۸ اورستد اعمال شد. تغییرات به‌دست‌آمده در ولتاژ خروجی را در اسیلوسکوپ ثبت کرده و سپس از رابطه‌ی (۱) برای به‌دست آوردن منحنی درصد امپدانس مغناطیسی بزرگ برحسب میدان مغناطیسی اعمالی استفاده کردیم.

$$GMI(\%) = \frac{\Delta Z}{|Z|} \times 100 = \frac{|Z(H)| - |Z(H_{max})|}{|Z(H_{max})|} \times 100$$

که در این رابطه $Z(H)$ امپدانس مغناطیسی نمونه در میدان مغناطیسی یکنواخت، $Z(H_{max})$ امپدانس مغناطیسی نمونه در حالت اشباع مغناطیسی است که راستای تمام دوقطبی‌های مغناطیسی ماده با راستای میدان اعمالی خارجی یک‌سو باشد. اثر MI مستقیماً به جریان متناوب گذارنده از نمونه، میدان استاتیکی اعمالی خارجی، نفوذپذیری مغناطیسی، مقاومت الکتریکی و فرکانس جریان عبوری بستگی دارد. منشأ اثر امپدانس مغناطیسی عمق پوسته یا اثر پوسته است که با رابطه $\delta_m = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}}$ تعریف می‌شود.

در این رابطه δ_m عمق پوسته، μ نفوذپذیری مغناطیسی، ρ مقاومت ویژه الکتریکی ماده و ω فرکانس جریان متناوب می‌باشد [۲]، این پدیده کلاسیکی و بر اساس معادلات ماکسول و لاندایو-لیفشیتز قابل توجیه می‌باشد [۱]. در بازپخت جریانی علاوه بر جریان یافتن گرما در نمونه، طبق قانون آمپر باعث ایجاد یک میدان مغناطیسی پیرامونی می‌شود؛ اما وقتی جریان قطع و نمونه سرد می‌شود، میدان عرضی محو می‌شود. در بازپخت جریان DC - میدانی، گرما و میدان مغناطیسی داخل نمونه هرکدام به‌تنهایی قابل کنترل هستند.

در این کار از میدان مغناطیسی زمین به علت کوچکی، همچنین با توجه به‌اندازه‌گیری تغییرات نسبی صرف‌نظر شده است.

تحلیل و بررسی نتایج:

شکل ۱ بیشینه اثر امپدانس مغناطیسی، نمونه‌های بازپختی در محیط هوا با جریان مستقیم ۶۰۰ میلی‌آمپر در حضور میدان‌های مختلف مغناطیسی در راستاهای ۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه‌ی محور طولی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. در این نمودارها β زاویه قرارگیری نوار در میدان مغناطیسی خارجی در هنگام بازپخت است.

برای بررسی بهتر اثر زاویه تابش و اندازه میدان مغناطیسی اعمالی در بازپخت جریان DC-میدانی بر اثر امپدانس مغناطیسی بزرگ نوارهای آمورف کبالت پایه، نتایج آزمایش‌ها فوق در جدول ۱ ارائه شده است.

در این تحقیق نوار آمورف کبالت پایه با ترکیب $Co_{68.15}Fe_{4.35}Si_{12.5}B_{15}$ در ابعادی با طول ۳۰ میلی‌متر، عرض ۰/۸ میلی‌متر و ضخامت ۲۸/۸ میکرومتر که به روش ذوب چرخان تهیه شده [۳]، مورد استفاده قرار گرفته است. برای به دست آوردن بهینه جریان بازپختی، نمونه‌ها در جریان‌های

روش تحقیق:

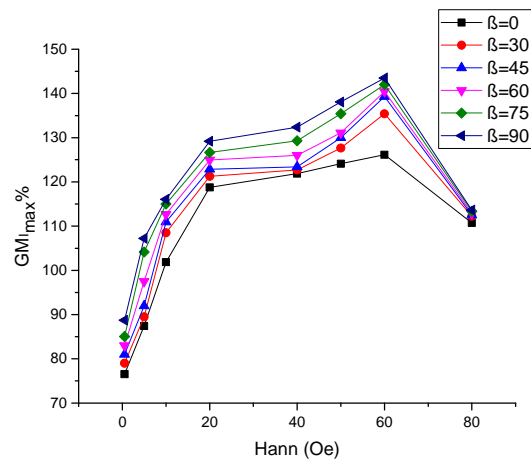
در این تحقیق نوار آمورف کبالت پایه با ترکیب $Co_{68.15}Fe_{4.35}Si_{12.5}B_{15}$ در ابعادی با طول ۳۰ میلی‌متر، عرض ۰/۸ میلی‌متر و ضخامت ۲۸/۸ میکرومتر که به روش ذوب چرخان تهیه شده [۳]، مورد استفاده قرار گرفته است. برای به دست آوردن بهینه جریان بازپختی، نمونه‌ها در جریان‌های

بازپختی و ناحیه سوم، اثر امپدانس مغناطیسی کاهش می‌یابد. البته همچنان اندازه امپدانس از مقدار آن در میدان‌های بازپختی پایین، بیشتر است.

حال اگر به رفتار امپدانس نسبت به زاویه اعمال میدان مغناطیسی ضمن پخت دقت کنیم، مشاهده می‌کنیم که مستقل از مقدار میدان مغناطیسی، اثر امپدانس با افزایش زاویه، افزایش یافته و به بیشینه تغییر خود به ازای زاویه ۹۰ درجه می‌رسد. افزایش یافتن اثر امپدانس مغناطیسی نمونه‌ها، زمانی که اندازه میدان مغناطیسی بازپختی ثابت انتخاب شده و زاویه‌ی میدان مغناطیسی بازپختی افزایش می‌یابد، با نتایج کارهای قبلی [۴] مطابقت خوبی دارد و حاکی از این است که سهم مؤلفه‌ی عرضی میدان مغناطیسی بازپختی، در بهینه کردن اثر امپدانس مغناطیسی نمونه بیشتر از سهم مؤلفه‌ی طولی میدان مغناطیسی بازپختی می‌باشد. بازپخت جریانی ساختار حوزه‌ای پیچیده‌ای القا می‌کند درحالی‌که حضور میدان مغناطیسی عرضی ضمن بازپخت ساختار حوزه‌ای عرضی القا می‌کند. رقابتی بین این دو القا در نمونه صورت می‌گیرد [۵].

تصور می‌کنیم که برای میدان‌های بازپخت کوچک، مکانیزم حرکت دیواره‌ها در روند مغناطش جسم غالب است. افزایش میدان ضمن بازپخت باعث القا ساختار حوزه‌ای عرضی می‌شود در این حالت عملاً حوزه‌ها هم‌راستا شده و سهم فراوانی به حرکت دیواره تعلق نمی‌گیرد. در این حالت نقش چرخش گشتاور مغناطیسی و نفوذپذیری عرضی به‌خصوص در فرکانس‌های بالا افزایش می‌یابد. در مجموع بازپخت جریان DC- میدان باعث رقابت و گذار بین دو نوع القا ساختار مغناطیسی می‌شود. ساختار مغناطیسی پیرامونی به‌وسیله‌ی میدان ناشی از جریان بازپخت و ساختار مغناطیسی ناشی از میدان مغناطیسی خارجی اعمالی ضمن بازپخت می‌باشد.

با استفاده از روش آزمایش مراجع [۶، ۷]، می‌توان رفتار نفوذپذیری مغناطیسی را به‌صورت تابعی از اندازه و زاویه‌ی تابش میدان بازپخت به دست آورد. به نظر می‌رسد که برای نمونه‌های بازپخت شده در حضور میدان مغناطیسی هم‌راستای محور طولی نوار آمورف، نفوذپذیری مغناطیسی طولی حاصله از حرکت دیواره حوزه‌ها (μ_{\parallel}^{dw})، با افزایش میدان بازپخت کاهش پیدا می‌کند،

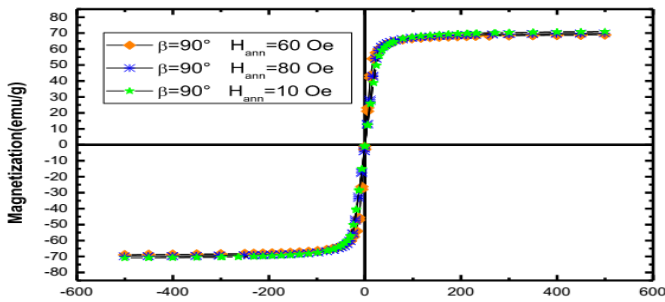


شکل ۱: بیشینه اثر امپدانس مغناطیسی اندازه‌گیری شده در فرکانس ۴ مگاهرتز و دامنه جریان ۸ میلی‌آمپر برای نمونه‌های بازپختی با جریان مستقیم ۶۰۰ میلی‌آمپر در حضور میدان‌های مختلف مغناطیسی در راستاهای ۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه‌ی محور طولی نمونه‌ها.

جدول ۱: برخی پارامترهای مربوط به اندازه و زاویه میدان در بازپخت جریانی-میدانی با $I_{ann}=600\text{mA}$ و مدت زمان ۱۵ دقیقه و بیشینه مقدار GMI برای جریان اندازه‌گیری با مشخصات $I_{AC}=8\text{mA}$ و فرکانس $f=4\text{MHz}$

$H_{ann}(Oe)$ خام	۰/۵	۵	۱۰	۲۰	۴۰	۵۰	۶۰	۸۰
۰	۱۰۴/۱۶	۷۶/۵۵	۸۷/۴۲	۱۰۱/۸۵	۱۱۸/۷۵	۱۲۱/۸۸	۱۲۴/۱۱	۱۲۶/۱۵
۳۰	۱۰۴/۱۶	۷۹	۸۹/۵۰	۱۰۸/۵	۱۲۱/۲۷	۱۲۲/۷	۱۲۷/۶۵	۱۳۵/۴
۴۵	۱۰۴/۱۶	۸۱	۹۱/۹۵	۱۱۰/۹۶	۱۲۲/۸۵	۱۲۳/۴	۱۲۹/۹۸	۱۳۹/۲۹
۶۰	۱۰۴/۱۶	۸۳	۹۷/۵۰	۱۱۲/۶۶	۱۲۴/۹۶	۱۲۶	۱۳۱/۱	۱۴۰/۴۲
۷۵	۱۰۴/۱۶	۸۵/۰۳	۱۰۴/۱۴	۱۱۵/۰۱	۱۲۶/۶۶	۱۲۹/۳	۱۳۵/۴	۱۴۱/۹۸
۹۰	۱۰۴/۱۶	۸۸/۷۳	۱۰۷/۲۳	۱۱۶/۰۷	۱۲۹/۱۹۷	۱۳۲/۳۹	۱۳۸/۰۸	۱۴۳/۴۷

از داده‌های جدول ۱ و رفتار منحنی‌های شکل ۱ می‌توان به نتایج کلی دست‌یافت که به آن اشاره می‌کنیم. افزایش اثر امپدانس مغناطیسی با افزایش میدان مغناطیسی ضمن پخت به‌گونه‌ای است که تقریباً سه ناحیه را در برمی‌گیرد. در محدوده میدان‌های بازپخت پایین حداکثر تا ۲۰ اورستد، افزایش اثر امپدانس مغناطیسی فراوان است. با افزایش این میدان، افزایش اثر امپدانس مغناطیسی کمی کاهش یافته اما همچنان رفتار افزایشی رادار است. این رفتار تا میدان مغناطیسی ۶۰ اورستد ادامه یافته و سپس با افزایش میدان



شکل ۲: منحنی مغناطش نمونه‌های بازپخت شده در میدان‌های مختلف مغناطیسی و زاویه ثابت ۹۰°.

نتیجه‌گیری

اعمال میدان مغناطیسی خارجی ضمن بازپخت جریانی، می‌تواند به القاء ناهمسانگردی و تولید حوزه‌های عرضی کمک کند زیرا می‌توان بعد از پایان اعمال جریان تا سرد شدن نمونه همچنان میدان را اعمال کرد. دامنه و زاویه تابش میدان مغناطیسی در هنگام بازپخت جریان DC-میدانی نوار در بازپخت اهمیت دارد. با انتخاب شرایط بهینه در اندازه‌گیری اعم از اندازه و فرکانس جریان و بهینه پارامتر بازپخت همچون اندازه و جهت میدان بازپختی موجب می‌شود که اثر امپدانس مغناطیسی افزایش قابل‌توجهی داشته باشد.

مرجع‌ها

[۱] M. H. Phan and H. X. Peng, "Giant magneto impedance materials: Fundamentals and applications" Progress in Materials Science, Vol. 53, 2008, pp. 323–420.

[۲] L.V. Panina, K. Mohri, "Magneto-impedance effect in amorphous wires". Appl Phys Lett. 1994;65:1189–91.

[۳] رضایی، محمدرضا؛ جزایری قره‌باغ، علی؛ بختیاری، رضا. ساخت و مشخصه‌یابی نوارهای مغناطیسی آمورف (Co-Fe-Si-B-(Ni,Mo)). کنفرانس سالانه فیزیک، شه‌ریور ۱۳۸۷، دانشگاه کاشان.

[۴] R. Mardani, A. Amirabadizadeh, M. Ghanaatshoar and H. Farsi, "The influence of magnetic field direction and amplitude in direct current-field annealing on the magnetoimpedance of Co-Based wires," J. Supercond. Nov. Magn. vol. 28, no. 8, pp.2441-2446, 2015.

[۵] M. Ghanaatshoar, M.M. Tehranchi, S.M. Mohseni, S.E. Roozmeh, A. Jazayeri Gharehbagh, Effect of magnetic field-current annealing on the magnetoimpedance Of Co-based ribbons, J. Non-Crystalline Solids.

[۶] Manh-Huong Phan, Hua-Xin Peng, Michael R. Wisnom, Seong-Cho Yu, Nguyen Chau, Valve behavior of giant magnetoimpedance in field- annealed $Co_{70}Fe_3Si_{15}Nb_{2.2}Cu_{0.8}B_7$ amorphous ribbon, J. Appl. Phys. **97** (2005).

[7] M.H. Phan, S.C. Yu, C.G. Kim, and M. Vazquez, Appl. Phys. Lett. **83** (2003) 2871

[8] M.H. Phan, H.X. Peng, M.R. Wisnom, S.C. Yu, C.G. Kim, N.H. Nghi, Sensors and Actuators A. **129** (2006) 62–65.

درحالی‌که نفوذپذیری مغناطیسی طولی حاصله از چرخش مغناطش (μ_{Σ}^{TOT})، ابتدا با زیادشدن میدان بازپخت به‌اندازه‌ی ۶۰ Oe، افزایش می‌یابد و سپس در میدان‌های بازپخت بالاتر از ۶۰ Oe، کاهش می‌یابد. با توجه به این‌که شکل هندسی نوارها باعث می‌شود دیواره حوزه‌ها مؤلفه‌ی بیشتری در راستایی طولی نوارها داشته باشند. به نظر می‌رسد که برای نمونه‌های بازپخت شده در حضور میدان مغناطیسی هم‌راستایی محور عرضی نوار آمورف، نفوذپذیری مغناطیسی ناشی از حرکت دیواره‌ی حوزه‌ها در راستای عرضی (μ_{Σ}^{dw}) ابتدا با زیادشدن میدان بازپخت به‌اندازه‌ی ۶۰ Oe، افزایش می‌یابد و سپس در میدان‌های بازپخت بالاتر از ۶۰ Oe، کاهش می‌یابد. یا به عبارتی نفوذپذیری مغناطیسی طولی حاصله از چرخش مغناطش (μ_{Σ}^{TOT})، ابتدا با زیادشدن میدان بازپخت به‌اندازه‌ی ۶۰ Oe، افزایش می‌یابد زیرا نفوذپذیری مغناطیسی عرضی ناشی از حرکت دیواره‌ی حوزه با نفوذپذیری مغناطیسی طولی ناشی از چرخش مغناطش متناسب است [۸].

$$\mu_{\Sigma}^{dw}(f) \propto \mu_{\Sigma}^{TOT}(f) \quad (2)$$

از طرفی افزایش یا کاهش نفوذپذیری مغناطیسی عرضی ناشی از حرکت دیواره‌ی حوزه و نفوذپذیری مغناطیسی طولی ناشی از چرخش مغناطش (μ_{Σ}^{TOT})، باعث افزایش یا کاهش اثر امپدانس مغناطیسی می‌شود؛ که کاملاً مطابق داده‌ها جدول است.

در شکل ۲ نتایج اندازه‌گیری منحنی‌های پسماند نمونه‌های بازپخت شده در میدان‌های مختلف مغناطیسی و زاویه ثابت ۹۰° نشان داده‌شده است. از شکل (۲) می‌توان نتیجه گرفت که برای

نمونه‌های بازپخت شده در حضور میدان مغناطیسی هم‌راستایی محور عرضی نوار آمورف، نفوذپذیری مغناطیسی ناشی از حرکت دیواره‌ی حوزه‌ها در راستای عرضی (μ_{Σ}^{dw}) ابتدا با زیادشدن میدان بازپخت به‌اندازه‌ی ۶۰ Oe، افزایش می‌یابد و سپس در میدان‌های بازپخت بالاتر از ۶۰ Oe، کاهش می‌یابد که استدلال‌های ارائه‌شده برای توجیه نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های فوق را تأیید می‌کند.