

اثر تابش پرتوهای گاما بر نامتقارنی امپدانس مغناطیسی بزرگ آلیاژ آمورف

$\text{Co}_{68.15}\text{Fe}_{4.35}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$

احمد رمضانی مقدم آرانی* و سید احسان روزمه

دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، اصفهان، ایران.

*اصفهان، کاشان، دانشگاه کاشان، دانشکده فیزیک، کدپستی: ۸۷۳۱۷۵۳۱۵۳

پست الکترونیکی: ramezamo@kashanu.ac.ir

چکیده

تغییرات بزرگ امپدانس الکتریکی رساناهای مغناطیسی در حضور میدان مغناطیسی، امپدانس مغناطیسی بزرگ (GMI) و وابستگی آن به جهت میدان مغناطیسی، اثر نامتقارنی امپدانس مغناطیسی (AGMI) نامیده می‌شود. میزان حساسیت به مقدار و جهت میدان مغناطیسی اعمالی و همچنین میزان خطی بودن GMI از جمله پارامترهای اساسی در زمینه استفاده از کمیت مذکور در توسعه‌ی حس‌گرهای مغناطیسی هستند. استفاده از شرایط بازپخت مناسب ضمن کاهش تنش‌های داخلی ضمن ساخت، ایجاد نظم بلورین و القای ناهمسانگردی مغناطیسی می‌تواند بهینه‌ی پاسخ GMI را به سادگی قابل کنترل کند. در این پژوهش اثر مدت زمان تابش‌دهی با پرتوهای گامای حاصل از دو چشمه ^{137}Cs و ^{60}Co بر نامتقارنی امپدانس مغناطیسی آلیاژ آمورف $\text{Co}_{68.15}\text{Fe}_{4.35}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ مورد مطالعه قرار گرفت. بهینه‌ی زمان بهبود امپدانس مغناطیسی برای چشمه‌ی ^{60}Co به مدت ۳۰ ساعت و چشمه‌ی ^{137}Cs به مدت ۲۴ ساعت بدست آمد. نقش پراش پرتو X حاصل از نمونه نشان‌دهنده خروج نمونه‌ها از حالت آمورف و تشکیل بلورک‌ها است. اثرات ناشی از پرتوهای چشمه ^{137}Cs نمونه را از نظر مغناطیسی نرم‌تر کرده و پاسخ نمونه را به میدان‌های مغناطیسی حول میدان ناهمسانگردی بویژه در نمونه بازپختی در ۲۴ ساعت افزایش قابل‌ملاحظه‌ای داده که در نتیجه این نمونه را نسبت به دیگر نمونه‌ها برای کاربرد حس‌گری مناسب‌تر گردانیده است.

کلیدواژگان: امپدانس مغناطیسی، بازپخت، پرتو گاما، آلیاژ آمورف، حسگرهای مغناطیسی.

۱. مقدمه

امپدانس مغناطیسی بزرگ^۱ (GMI) شامل تغییر بزرگی در مولفه‌های حقیقی و موهومی امپدانس الکتریکی نمونه مغناطیسی است. در حضور یک میدان مغناطیسی یکنواخت است. اثر امپدانس مغناطیسی به عنوان یکی از خواص ترابرد مواد می‌تواند بیان‌کننده‌ی خواص ذاتی و هم‌چنین خواص مغناطیسی مواد از جمله ناهمسانگردی، تنگش، پذیرفتاری مغناطیسی، تشدید مغناطیسی باشد. این اثر در انواع مختلفی از مواد مغناطیسی مانند نوارها و سیم‌های آلیاژ آمورف و فیلم‌های نازک مشاهده شده است [۲۰۱]. این آلیاژها، رفتار نرم

^۱Giant Magnetoimpedance

پرتوهای ناشی از چشمه‌های مورد استفاده در این تحقیق رخداد پدیده‌های کامپتون و فوتوالکتریک محتمل تر است. پیامد نهایی این پدیده‌ها در جسم انتقال انرژی پرتوها به محیط برهمکنش است که به علت نفوذ پرتوهای پرانرژی به داخل نمونه این انتقال انرژی به خوبی به بخش آمورف منتقل و باعث بلورین شدن آن می‌شود. گرماگیری سطح نمونه در مجاورت هوا امکان ایجاد اکسید بر لایه سطحی را باعث شده که برهمکنش مغناطیسی این لایه با لایه‌های زیرین موجب نامتقارنی امپدانس مغناطیسی در بایاس تبادلی می‌شود [۵].

انتظار می‌رود به دلیل انرژی زیاد پرتوهای گاما تحرکات مذکور تغییراتی در خواص مغناطیسی مواد مغناطیسی نرم ایجاد کند که می‌تواند ناشی از حرکت دیواره‌های حوزه‌ها باشند. هنگامی که تابش با انرژی بالا به محیط آلیاژ آمورف وارد می‌شود، نقص‌هایی در سطح نوار ایجاد می‌شود. انتظار می‌رود که این نقص‌ها بر تغییر خواص مغناطیسی تاثیرگذار باشد و این تاثیر از طریق برهمکنش قوی با دیواره حوزه انجام می‌گیرد [۶ و ۷].

۲. بخش تجربی

در این تحقیق از نوارهای آلیاژ آمورف $\text{Co}_{68.15}\text{Fe}_{4.35}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ به طول ۳ سانتی‌متر، ضخامت ۲۸/۸ میکرومتر و عرض ۰/۸۱ میلی‌متر استفاده شده است. نمونه‌ها به وسیله دو چشمه ^{60}Co و ^{137}Cs در بازه‌های زمانی ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۰، ۳۶ و ۴۸ ساعت تحت تابش قرار گرفته‌اند. چشمه ^{60}Co پرتوهای گاما با انرژی‌های ۱.۱۷ MeV و ۱.۳۳ MeV و چشمه ^{137}Cs پرتوهای گاما با انرژی ۶۶۲ KeV تابش می‌کنند. آهنگ دز چشمه‌های مذکور در فاصله ۵۰ سانتی‌متری به ترتیب $222.3 \mu\text{Gy/h}$ و $293.4 \mu\text{Gy/h}$ است و در این تحقیق برای دریافت حداکثر دز نمونه‌ها در کمترین فاصله از چشمه قرار داده شده‌اند. برای اندازه‌گیری امپدانس در بسامدهای متوسط از دستگاه Function Generator به عنوان

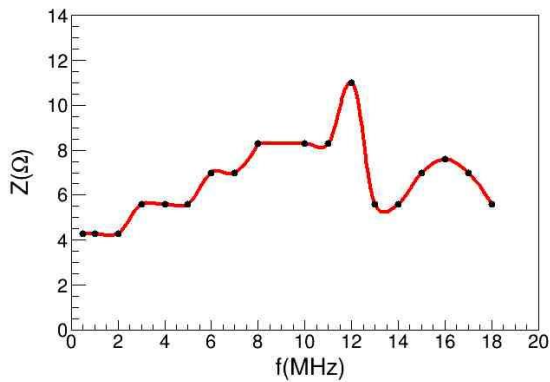
مغناطیسی عالی چون پذیرفتاری مغناطیسی بالا و وادارندگی پایین از خود نشان می‌دهند. اثر GMI به عواملی چون ترکیب آلیاژی، شکل نمونه، شرایط بازیخت، و تنش‌های داخلی ضمن ساخت حساسیت زیادی دارد. استفاده از شرایط بازیخت مناسب ضمن کاهش تنش‌های داخلی ضمن ساخت، ایجاد نظم بلورین و القای ناهمسانگردی مغناطیسی، می‌تواند بهینه پاسخ GMI را به سادگی قابل کنترل کند. همچنین بازیخت مناسب می‌تواند نمونه را برای کاربردهای حسگر مغناطیسی مهیا کند [۱ و ۲].

نمودار GMI اغلب نسبت به جهت میدان مغناطیسی اعمالی متقارن است. مشاهده شده است که تحت شرایط خاص در این نمودار نامتقارنی ظاهر می‌شود. این پدیده اثر نامتقارنی امپدانس مغناطیسی بزرگ^۱ (AGMI) نامیده می‌شود. اثر AGMI به عنوان پدیده بسیار حساس به میدان‌های ضعیف مغناطیسی و فرکانس، کاندیدای مناسبی جهت توسعه حسگرهای مغناطیسی می‌باشد [۳].

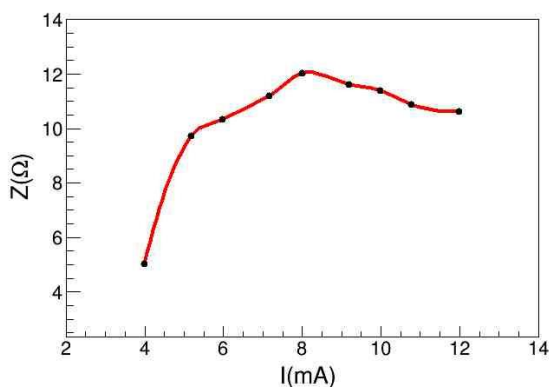
یکی از روش‌های بازیخت، بازیخت تحت تابشی است. پرتوهای گاما هنگام عبور از یک محیط می‌تواند طی انجام سه پدیده فوتوالکتریک، کامپتون و تولید زوج با محیط برهمکنش داشته باشد. در حالت نهایی همه فرایندهای مذکور، یک الکترون و یک اتم پس زده وجود دارد که در اثر دریافت تکانه در حین انجام فرایند می‌تواند در محیط تحرک داشته باشد. تکانه دریافتی به نوع فرآیند، مشخصات محیطی و البته انرژی پرتوهای گامای ورودی بستگی دارد.

احتمال رخداد سه پدیده، به انرژی پرتوها هم وابسته است، به گونه‌ای که در انرژی‌های پایین پرتوها دست‌خوش پدیده‌های فوتوالکتریک و کامپتون شده و در انرژی‌های بالاتر از ۱.۰۲۲ MeV پدیده تولید زوج نیز می‌تواند رخ دهد [۴]. برای انرژی

^۱ Asymmetric Giant Magnetoimpedance



شکل (۱): تغییرات امپدانس مغناطیسی بر حسب فرکانس.



شکل (۲): تغییرات امپدانس مغناطیسی بر حسب دامنه جریان الکتریکی.

شکل ۳ بیشینه درصد امپدانس مغناطیسی را در زمان‌های مختلف بازپختی برای دو چشمه نشان می‌دهد. هر چه زمان پرتودهی بیشتر شود؛ شرایط نمونه برای گذر از حالت آمورف به بلورین شدن مهیا می‌شود. انتظار می‌رود که بیشترین اصلاح در نفوذپذیری مغناطیسی و در نتیجه امپدانس مغناطیسی نزدیک نقطه بلورین شدن نمونه است. این شرایط برای تابش چشمه ^{60}Co پس از ۳۰ ساعت است؛ در حالی که در مورد چشمه ^{137}Cs زمان مورد نیاز زمان کوتاه‌تر بوده و حدود ۲۴ ساعت امپدانس مغناطیسی را بهینه می‌کند.

منبع دامنه جریان و فرکانس و از اسیلوسکوپ برای اندازه‌گیری ولتاژ استفاده شد. میدان مغناطیسی یکنواخت در جهت طولی و هم‌راستا با طول نوار بوسیله سیم‌پیچ و در بازه ۱۰۸- تا ۱۰۸ اورستد اعمال شد. تغییرات حاصل شده در ولتاژ خروجی در اسیلوسکوپ ثبت شد. برای به دست آوردن امپدانس مغناطیسی بزرگ بر حسب میدان از رابطه زیر استفاده شده است.

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

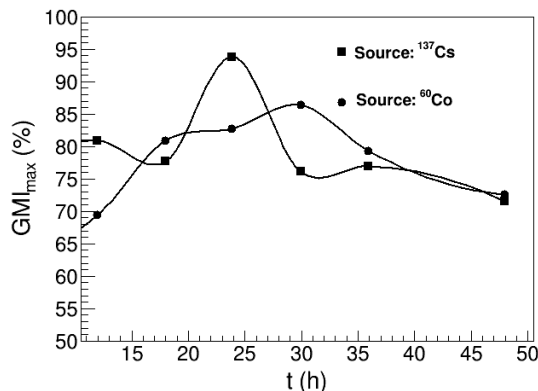
که در آن Z امپدانس مغناطیسی و H شدت میدان مغناطیسی اعمال شده و H_{\max} حداکثر شدت میدان مغناطیسی اعمالی است.

۳. بحث و نتایج

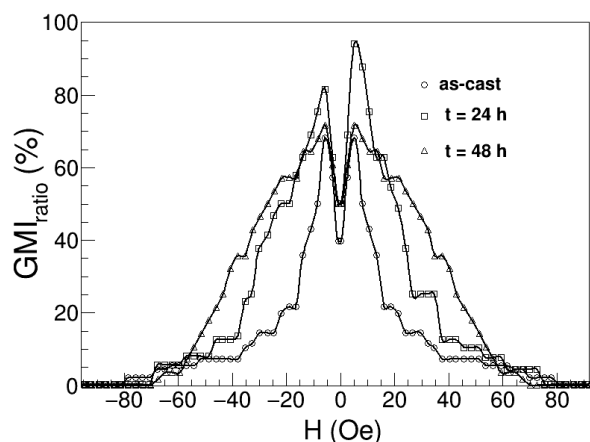
با توجه به این که امپدانس الکتریکی نمونه تابع فرکانس و دامنه جریان الکتریکی عبوری از نمونه است، ابتدا باید رفتار امپدانس را به ازای فرکانس و دامنه جریان‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد.

با اعمال فرکانس و دامنه جریان‌های مختلف، بهینه پاسخ امپدانس مغناطیسی در فرکانس ۱۲ MHz و دامنه جریان ۸ mA بدست آمده است. امپدانس مغناطیسی بر حسب فرکانس در شکل ۱ و بر حسب دامنه جریان در شکل ۲ رسم شده است.

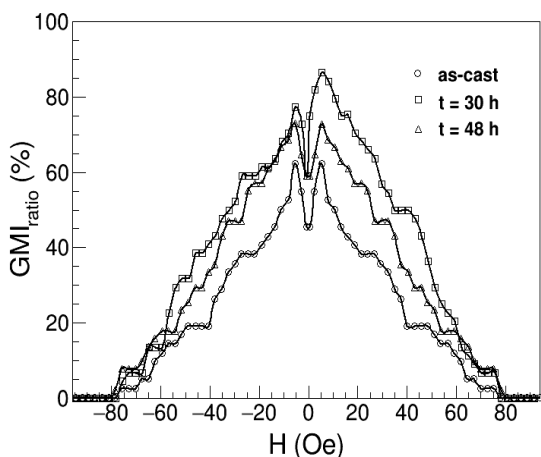
برای مقایسه رفتار امپدانس مغناطیسی نسبت به میدان مغناطیسی اعمالی نمونه‌های بازپختی به وسیله چشمه‌های کبالت و سزیوم، نامتقارنی امپدانس مغناطیسی سه نمونه خام (دایره توخالی)، بازپخت در بهینه ساعت تابش (مربع توخالی) و طولانی‌ترین ساعت تابش (48h) (مثلث توخالی) برای دو چشمه جداگانه در شکل ۵ (تابش‌دهی شده با چشمه ^{137}Cs) و شکل ۶ (تابش‌دهی شده با چشمه ^{60}Co) رسم شده است.



شکل (۳): پیشینه درصد امپدانس مغناطیسی اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های تحت تابش با چشمه ^{60}Co و همچنین چشمه ^{137}Cs در بازه‌های زمانی ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۰، ۳۶ و ۴۸ ساعت.

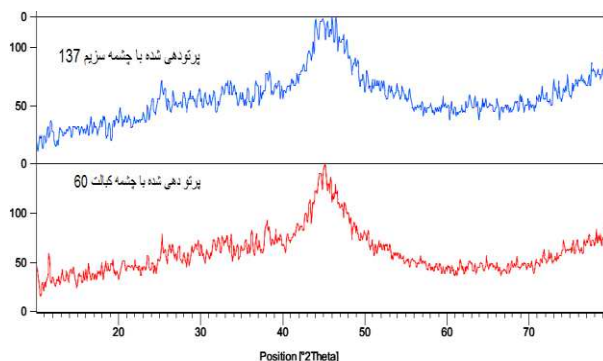


شکل (۵): نامتقارنی امپدانس مغناطیسی سه نمونه خام (دایره توخالی)، بازپخت شده در ۲۴ ساعت (مربع توخالی) و ۴۸ ساعت (مثلث توخالی) تابش‌دهی با چشمه ^{137}Cs .



شکل (۶): نامتقارنی امپدانس مغناطیسی سه نمونه خام (دایره توخالی)، بازپخت شده در ۳۰ ساعت (مربع توخالی) و ۴۸ ساعت تابش‌دهی (مثلث توخالی) با چشمه ^{60}Co .

با توجه به این‌که نمونه‌های بازپختی در زمان‌های طولانی‌تر از زمان بهینه دارای درجه بلورین بیش‌تر هستند؛ از دو نمونه تحت تابش منبع ^{60}Co و ^{137}Cs با بهینه پاسخ امپدانس، پراش پرتو X گرفته شده است. آزمایش پراش با استفاده از پرتوهای X تولیدی از دستگاه Panalytical مدل X'PertPro با Cu- $\text{K}\alpha$ ($\lambda=0.154\text{ nm}$) انجام پذیرفته نتایج آن در شکل ۴ رسم شده است. با توجه به ترکیب شیمیایی نمونه و پس از مقایسه با نقش پراش بلورهایی چون $\beta\text{-Co}$ ، Co_2Si ، SiO_2 ، Co_2B ، CoO ، $(\text{CoFe})_2\text{B}$ ، $\alpha\text{-Fe}_2\text{B}_2\text{O}_3$ و... که احتمال تشکیل در نمونه را دارند، حضور فازهای بلوری چون Co ، Co_2Si و Si محتمل‌تر است [8].



شکل (۴): طیف پراش پرتوهای X از نمونه‌های تابش‌دیده از چشمه سزیوم (نمودار آبی) و کبالت (نمودار قرمز).

با افزایش زمان بازپخت ابتدا پاسخ امپدانس مغناطیسی افزایش می‌یابد. همراه با این افزایش در بیشینه امپدانس با ازای جهت میدان اعمالی نامتقارنی در نمودار امپدانس ظاهر می‌شود که علت آن (چنانچه قبلاً اشاره شد) برهمکنش مغناطیسی بین لایه پادمغناطیس سطح و فرومغناطیس لایه زیر سطح است. شیب تند نمودار امپدانس نمونه تابشی تحت چشمه ^{137}Cs در ۲۴ ساعت بازپخت حساسیت بالای نمونه را به ازای یک تغییر کوچک در میدان مغناطیسی خارجی نشان می‌دهد که آنرا نسبت به دیگر نمونه‌ها کاندید خوبی برای حس گر مغناطیسی می‌گرداند.

۴. نتیجه گیری

اندازه‌گیری امپدانس مغناطیسی و همچنین نامتقارنی در آن روشی مفید برای بررسی خواص مغناطیسی مواد به ویژه میزان کارایی آن در ساخت حس گرهای مغناطیسی است. یکی از روش‌های کنترل میزان امپدانس مغناطیسی ساخت نمونه به صورت آمورف و سپس انجام عملیات حرارتی (بازپخت) بر روی آن است که تنوع زیادی در بازپخت وجود دارد. در این پژوهش اثر مدت زمان تابش گامای حاصل از دو

چشمه‌ی ^{60}Co و ^{137}Cs بر نامتقارنی امپدانس مغناطیسی آلیاژ آمورف $\text{Co}_{68.15}\text{Fe}_{4.35}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ مورد مطالعه قرار گرفت. بهینه زمان بهبود امپدانس مغناطیسی برای چشمه‌ی ^{60}Co به مدت ۳۰ ساعت و چشمه‌ی ^{137}Cs به مدت ۲۴ ساعت به دست آمد. انتظار می‌رود تابش پرتوهای گاما باعث کاهش تنش‌های داخلی، ایجاد نظم بلورین و القای ناهمسانگردی مغناطیسی گردد که در این صورت می‌توان بهینه پاسخ GMI را به کمک تابش‌دهی کنترل نمود. نقش پراش پرتو نشان می‌دهد که با افزایش مدت زمان بازپخت، نمونه‌ها از حالت آمورف به سمت بلورین شدن حرکت می‌کنند. با توجه به تغییرات شدید امپدانس مغناطیسی نمونه تحت چشمه‌ی ^{137}Cs در ۲۴ ساعت (تابش‌دهی با دز $293.4 \mu\text{Gy/h}$) به ازای تغییر کوچک میدان مغناطیسی اعمالی به ویژه در حوالی میدان ناهمسانگردی، این نمونه را برای کاربرد حس‌گری مناسب‌تر می‌سازد.

۵. قدردانی

نویسندگان از همکاری صمیمانه آقای پروفیسور مصطفی زاهدی‌فر برای تامین امکانات پرتودهی کمال سپاس و قدردانی را دارند.

۵. مراجع

- [1] M. Knobel, M. Vazquez, L. Kraus, Giant magnetoimpedance, in: K.H.J. Buschow (Ed.), Handbook of Magnetic Materials, vol. 15, Elsevier Science, B.V., Amsterdam, 2003, p. 497 (Chapter 5).
- [2] M.H. Phan, H.X. Peng, Prog. Mater. Sci. 53 (2008) 323.
- [3] T. Kitoh, K. Mohri, T. Uchiyama, IEEE Trans. Magn. 31 (1995)3137.
- [4] G. F. Knoll, "Radiation Detection and Measurement," John Wiley & Sons, New York, 2010.
- [5] C.G. Kim, K.J. Jang, H.C. Kim, S.S. Yoon, J. Appl. Phys. 85 (1999)5447.
- [6] D.G. Hwang, C.G. Kim, K.H. Lee, H.C. Kim, J. Magn. Magn. Mater. 125 (1993) 129.
- [7] H. Song, D. G. Park, Thin Solid Film. 519 (2011).
- [۸] روزمه، سید احسان. پایان نامه دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، پژوهشکده لیزر و پلاسما (۱۳۸۵).