

مطالعه‌ی اثر تشدید فرومغناطیسی نمونه‌ی ریبون

$Co_{68.25}Fe_{4.5}Si_{12.25}B_{15}$ با استفاده از ساختار میکرواستریپ

سعید آزادیان^۱، رهام باقران^۲، حمید افتخاری^۲، محمد مهدی طهرانچی^{۱*}

^۱گروه فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

^۲پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

*رایانامه نویسنده مسئول: teranchi@sbu.ac.ir

با نتایج نظری مقایسه و انطباق خوبی بین این نتایج مشاهده شد.

کلیدواژه: تشدید فرومغناطیسی، میکرواستریپ، محور آسان

۱- مقدمه

بررسی پاسخ مغناطیسی در نمونه‌های دارای پاسخ مغناطیسی سریع، به دلیل کاربرد آن‌ها در صنایع مختلف به خصوص صنعت مخابرات، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. یکی از این روش‌ها، اندازه‌گیری پدیده‌ی تشدید فرومغناطیسی است. در این روش ماده‌ی مغناطیسی که تا نزدیک ناحیه‌ی اشباع مغناطیده شده است، بر روی یک خط انتقال حامل سیگنال با فرکانس مشخص قرار می‌گیرد. در فرکانس تشدید ماده که معمولاً از مرتبه‌ی گیگاهرتز است، امیدانس خط انتقال بیشینه می‌شود. در این ناحیه‌ی فرکانسی که طول موج، هم مرتبه‌ی با ابعاد نمونه می-

چکیده: در این مقاله، اثر تشدید فرومغناطیسی نمونه‌ی $Co_{68.25}Fe_{4.5}Si_{12.25}B_{15}$ با هندسه‌ی ریبون، در ساختار میکرواستریپ مطالعه شد. آزمایش بر مبنای جاروب فرکانسی و در یک میدان مغناطیسی پایا انجام پذیرفت. آزمایش‌ها برای دو حالت اعمال میدان مغناطیسی در راستای محور آسان نمونه و در راستای عمود بر محور آسان، توسط آهنربای دائم، انجام شد. با جاروب فرکانس جریان متناوب گذرنده از میکرواستریپ در بازه‌ی یک گیگا هرتز تا چهار گیگاهرتز، فرکانس جذب نمونه‌ی ذکر شده از آزمایش به دست آمد. برای اشباع نمونه، هنگامی که میدان مغناطیسی خارجی در راستای محور آسان اعمال شد شدت میدان مورد نیاز ۱۵ میلی تسلا و در حالت اعمال میدان در راستای عمود بر محور آسان شدت میدان مورد نیاز ۱۰۰ میلی تسلا است. نتایج حاصل از آزمایش‌ها برای فرکانس جذب،

هایی که با علامت منفی به بخش اول معادله حرکت اضافه شده‌اند از چپ به راست عبارت میرایی گیلبرت و عبارت میرایی بلاخ - بلومبرگ هستند. هنگامی که جریان متناوب با فرکانس از مرتبه‌ی گیگاهرتز از میکرواستریپ عبور می‌کند، یک میدان مغناطیسی متناوب پیرامونی حول آن ایجاد می‌شود. چنانچه نمونه بدون اتصال الکتریکی به خط، روی آن قرار بگیرد میدان مغناطیسی متناوب پیرامونی خط انتقال، روی نمونه القاشده و نمونه تحت یک میدان مغناطیسی متناوب متقارن قرار می‌گیرد [۲].

پس از عبور جریان از خط و القای میدان مغناطیسی متناوب بر روی نمونه‌ی فرومغناطیس؛ کمیت خودالقای نمونه و به تبع آن امپدانس نمونه، شروع به تغییر می‌کند. آنچه که سازوکار اصلی فرآیند تشدید فرومغناطیسی است، القای متقابل نمونه و خط انتقال است. با عوض شدن خود القای نمونه در اثر فرآیند القای متقابل، نمونه نیز خود القای خط انتقال را تغییر می‌دهد. با تغییر خود القای خط انتقال، دیگر امپدانس مشخصه‌ی آن ۵۰ اهم نبوده و بازتاب از خط انتقال و پارامترهای پراکندگی^۶ به دست می‌آیند. در واقع میدان مغناطیسی متناوب به مانند عامل اختلالی عمل کرده و ممان‌های مغناطیسی در حال تقدیم در ماده را کمی از حالت تعادل خود، منحرف می‌سازد. این فرآیند به منزله‌ی ذخیره‌شدن انرژی نهفته در میدان مغناطیسی متناوب در نمونه و پدیده‌ی جذب میکروموج است. در واقع جذب، ذخیره‌ی انرژی در نمونه به منظور انحراف ممان مغناطیسی از حالت تعادل اولیه (مختل نشده) و افزایش دامنه‌ی حرکت تقدیمی ممان‌ها است. بیشینه‌ی جذب

شود، برای کم کردن اثر پراکندگی در محل نمونه، از ساختار میکرواستریپ استفاده می‌شود [۱]. در این مقاله با ارائه‌ی چیدمان اندازه‌گیری تشدید فرومغناطیسی در نمونه نوارفلزی مغناطیسی آمورف $Co_{68.25}Fe_{4.5}Si_{12.25}B_{15}$ ، فرکانس تشدید آن را به دست می‌آوریم و با کمک محاسبات نظری انجام شده نتایج تجربی را مورد تایید قرار می‌دهیم.

۲- مبانی نظری

در فرکانس‌های بالاتر از صد مگا هرتز، پاسخ ماده فرومغناطیسی نسبت به میدان مغناطیسی متناوب خارجی، شبه ایستا نبوده و دینامیک مغناطش حاکم می‌شود. در این حالت، ممان‌های مغناطیسی حول نقطه‌ی تعادل خود با فرکانس لارمور^۱ شروع به حرکت تقدیمی^۲ می‌نمایند [۵-۱]. در وضعیت تقدیم ممان، معادله‌ی حرکت بردار مغناطش یعنی معادله‌ی لاندائو - لیفشیتز، توصیف کننده‌ی دینامیک مغناطش می‌باشد. این معادله را می‌توان به صورت رابطه (۱) نوشت

$$\vec{M} = \vec{M} \times \vec{H}_{\text{eff}} - \frac{\alpha}{M_s} \vec{M} \times \dot{\vec{M}} - \frac{\vec{M} - \vec{M}_0}{\tau} \quad (1)$$

بخش اول معادله‌ی لاندائو - لیفشیتز، همان گشتاور مغناطیسی وارد شده بر ممان مغناطیسی از جانب میدان موثر است که حرکت تقدیمی را تبیین می‌کند. میدان موثر نیز برآیند میدان‌های داخلی و خارجی است. γ نماد ثابت ژیرومغناطیسی^۳، α نماد ثابت میرایی گیلبرت^۴، M_s نماد مغناطش اشباع و τ نماد زمان واهلش^۵ هستند. به دلیل وجود ماده، حرکت تقدیمی پیوسته نبوده و میرا می‌گردد. عبارت-

¹ Larmour frequency

² Precession movement

³ Gyromagnetic ratio

⁴ Gilbert damping constant

⁵ Relaxation time

⁶ S-parameters

۳- چیدمان آزمایشگاهی و نتایج

تجربی

در آزمایش تشدید فرومغناطیسی از میکرواستریپ با امیدانس مشخصه ۵۰ اهم استفاده می‌شود. چیدمان آزمایش تشدید فرومغناطیسی به صورت طرح‌وار در شکل ۲ نشان داده شده است.

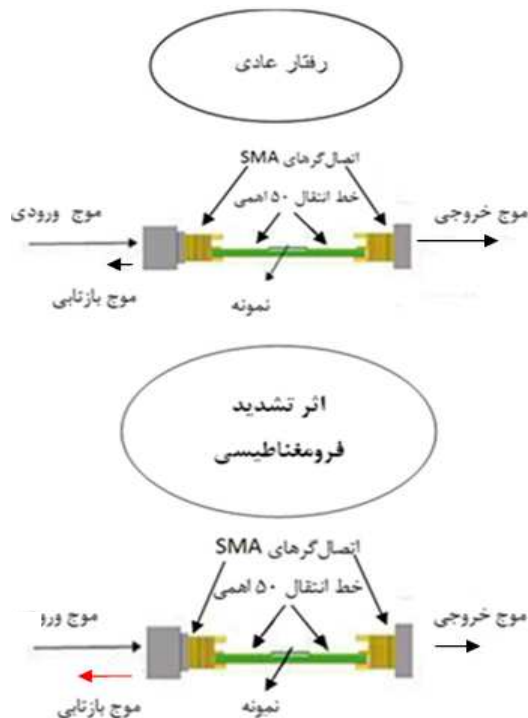
در ابتدا نمونه ی $Co_{68.25}Fe_{4.5}Si_{12.25}B_{15}$ در امتداد طول خط انتقال گذاشته شد و یک میدان مغناطیسی پایای خارجی به وسیله منبع تغذیه و سیملوله با شدت ۱۵ میلی تسلا، در راستای طول نمونه و خط اعمال گردید. این شدت میدان خارجی نمونه را اشباع نکرد ولی به سمت اشباع برد زیرا شدت میدان مغناطیسی پایای لازم جهت اشباع نمونه ۲۰ میلی تسلا می‌باشد.

در این آزمایش از مولد پالس و نوسان نما برای تولید و ثبت سیگنال با اتصال به رایانه به کمک کارت تبدیل داده استفاده شد. آزمایش بر مبنای جاروب فرکانسی انجام شد به نحوی که با استفاده از کد نوشته شده، فرکانس جریان متناوب مولد پالس جاروب شده و دامنه‌ی نظیر به هر فرکانس ثبت شد. در واقع با نوشتن چنین برنامه‌ای کاری شبیه به کار تحلیلگر شبکه^۲ انجام پذیرفت.

آزمایش سه بار برای حالت بدون میدان مغناطیسی پایای خارجی و سه بار در حضور میدان با شدت ۱۵ میلی تسلا، تکرار شد (تکرار پذیری صحت داده برداری را مشخص می‌کند). سپس دامنه‌های ثبت شده در حضور میدان از دامنه‌های ثبت شده در غیاب میدان

و یا تشدید هنگامی رخ می‌دهد که فرکانس جریان متناوب گذرنده از میکرواستریپ، درست‌برابری فرکانس تقدیم‌ممان‌های مغناطیسی نمونه (فرکانس لارمور) باشد. در حالت تشدید، بیشینه‌ی انرژی در ماده جذب شده و به دنبال آن، بیشترین میزان انحراف امیدانس مشخصه-ی خط انتقال از ۵۰ اهم و بیشترین میزان بازتاب به دست خواهد آمد. در شکل ۱ این پدیده به صورت طرح‌وار نشان داده شده است

فرکانس تشدید (بیشینه‌ی جذب) را می‌توان از رابطه-ای موسوم به رابطه‌ی کیتل^۱، بر حسب برخی ویژگی-های ماده مثل مغناطش اشباع و...، به صورت نظری از رابطه‌ی $f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{(H - H_k)(H + M_s)}$ محاسبه کرد [3]. در رابطه‌ی فوق H_k میدان ناهمسانگردی نمونه است که در صفحه قرار دارد.



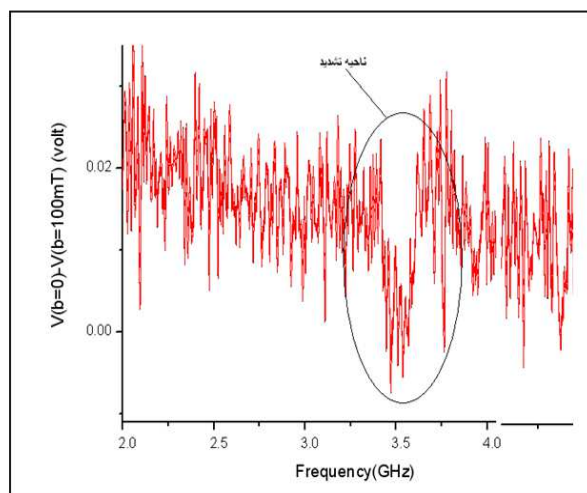
شکل ۱ طرح‌واره چگونگی بر هم خوردن تطبیق امیدانس در اثر پدیده‌ی تشدید فرومغناطیسی

² Network Analyser

¹ Kittel



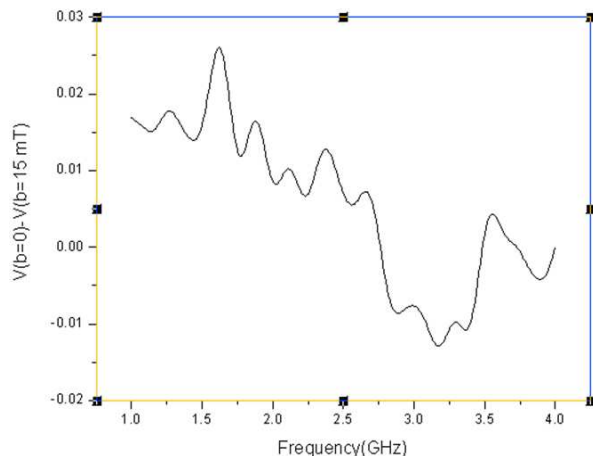
شکل ۲ طرح واره چیدمان آزمایش تشدید فرومغناطیس



شکل ۴: نمودار اختلاف دامنه بر حسب فرکانس با اعمال میدان در راستای محور سخت نمونه

جهت مقایسه با نتیجه‌ی نظری، فرکانس نظری تشدید از رابطه کیتل به ازای $H_k = 230$ آمپر بر متر و مغناطش اشباع $M_s = 6.4 \times 10^5$ آمپر بر متر و در میدان مغناطیسی با شدت ۱۵ میلی تسلا معادل ۱۱۹۳۷ آمپر بر متر، فرکانس جذب، $3/07$ گیگاهرتز به دست آمد که با نتیجه‌ی تجربی انطباق خوبی دارد. در واقع هنگامی که میدان مغناطیسی در راستای طول نمونه اعمال شده به ازای شدت میدان کم، شرط تشدید ارضاشده و همین میزان میدان برای تشدید کافی است. چنانچه بنابر تعریف، محور آسان نمونه محوری باشد که در راستای آن ماده خیلی سریع مغناطیده می‌شود می‌توان نتیجه گرفت که راستای

کم شدند و این میزان اختلاف بر حسب فرکانس مطابق شکل ۳ رسم شد. در وضعیتی دیگر نمونه عمود بر خط انتقال گذاشته و میدان مغناطیسی پایای خارجی از طریق آهنربای دائم^۱ با شدت ۱۰۰ میلی تسلا اعمال شد و در حین جاروب فرکانس، آزمایش در غیاب و حضور میدان سه بار تکرار شد و سپس دامنه‌ها از هم کسر شدن و نتیجه به صورت شکل ۴ به دست آمد.



شکل ۳ نمودار اختلاف دامنه بر حسب فرکانس با اعمال میدان در راستای آسان نمونه

با توجه به شکل ۴ می‌توان دریافت که بیشترین تضعیف دامنه‌ی ورودی در فرکانس $3/18$ گیگاهرتز رخ داده و می‌توان این طور استنباط کرد که بیشینه‌ی جذب در این فرکانس رخ داده است.

^۱ Magnet

خیلی قوی‌تر از آنچه که رابطه‌های نظری پیش بینی می‌کردند نمونه را به تشدید رساند که دلایل آن بررسی و تبیین شد.

مرجع‌ها

- [1] D. de Cos, A. Garcí'a-Arribas, and J. M. Barandiaran, "Ferro magnetic resonance in gigahertz magnetoimpedance of multilayer systems," *J.Magn.Magn.Mat***304**, 218-221, 2006.
- [2] M. Knobel, M. Vazquez, and L. Kraus "Giant magneto impedance," Report version 3c, *Institute of Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague, Czech Republic*. 2002.
- [3] C. Kittel, "Introductions to solid state physics," seventh edition, Wiley, New York, pp 24-30, (1996).
- [4] M. H. Phan and H. X. Peng "Giant magnetoimpedance materials :Fundamentals and applications," *progress in material science* **53**,pp 323-420 2008.
- [5] A. G. Gurevich and G. A. Melkov "Magnetization oscillations and waves", CRC press, 1996.

محور آسان^۱ نمونه، راستای طول نمونه بوده و با اعمال میدان در آن راستا حتی با شدت کم، شرط تشدید ارضا شده است. در حالی که، هنگامی که میدان مغناطیسی در راستای عمود بر محور آسان (در راستای محور سخت) اعمال می‌گردد، میدانی بسیار قوی‌تر نیاز است تا ماده را به اشباع برساند. همان‌طور که از شکل ۵ نیز مشخص است فرکانس جذب ماده در این شرایط ۳/۵ گیگاهرتز است در حالی که از محاسبات نظری این فرکانس تشدید باید به ازای میدان مغناطیسی با شدت ۲۰ میلی تسلا رخ بدهد نه ۱۰۰ میلی تسلا. می‌توان نتیجه گرفت که عواملی مانند اعمال میدان در جهت محور سخت نمونه و اثر وامغناطش عرضی، سبب بالا رفتن میزان شدت میدان مغناطیسی مورد نیاز جهت تشدید فرومغناطیسی ماده شده‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله به راه اندازی چیدمان آزمایش تشدید فرومغناطیسی و مطالعه‌ی این اثر بر روی نمونه‌ی ریون $Co_{68.25}Fe_{4.5}Si_{12.25}B_{15}$ پرداخته شد. آزمایش با منطق جاروب فرکانسی در میدان مغناطیسی ثابت انجام شد. در حین جاروب فرکانسی میدان مغناطیسی ثابت یک بار با سیملوله و در امتداد طول نمونه و یک بار با آهنربای دایم و عمود بر طول نمونه اعمال شد. در مورد اعمال طولی میدان مغناطیسی نتایج تجربی به دست آمده کاملاً با نتایج نظری هم‌خوان بود. در مورد اعمال میدان مغناطیسی در راستای عمود بر طول نمونه، میدان مغناطیسی

¹ Easy axes