بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۴-۱۲ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

بررسی خواص مغناطواپتیکی نانوذرات فریت کبالت مس تحت میدان‌های ضعیف

محمد مرادی[۱،۳]، آسیه رفیعی[۱]، سهراب منوچهری[۲]

[۱]دانشکده فیزیک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

[۲]دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین‌شهر

[۳]گروه پژوهشی فوتونیک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

چکیده – در این پژوهش نانوذرات فریت کبالت مس ($Co_xCu_{1-x}Fe_2O_4$) با روش هم‌رسوبی تهیه شد و خواص مغناطواپتیکی این نانو ذرات با استفاده از روش اثر فارادی مورد مطالعه قرار گرفت. با بررسی منحنی تراگسیل بعد از آنالیزور نمونه رقیق شده، در میدان‌های مغناطیسی ضعیف مشاهده شد که توان تراگسیل برای نمونه $Co_{0.8}Cu_{0.2}Fe_2O_4$ در B=۸۳/۱mT به حالت اشباع می‌رسد. با اندازه گیری میدان مغناطیسی B و جریان اعمالی I، منحنی تغییرات میدان مغناطیسی و جریان اعمالی رسم شد. نمودار حاصل خطی و با تئوری کاملا در توافق بود. تصویر TEM اندازه ذرات را در محدوده نانومتر نشان داد.

کلید واژه- اثر فارادی، تراگسیل، فریت کبالت مس، نانوذرات.

Magneto optical properties of copper-cobalt ferrite nanoparticles under the influence of a low magnetic field

Abstract- In this study, copper-cobalt ferrite nanoparticles ($Co_xCu_{1-x}Fe_2O_4$) were prepared by co-precipitation method and their magneto-optic properties were studied by using the Faraday effect method. By investigating The transmission after analyzer curve diluted sample in low magnetic fields was observed the transmission power B=83.1mT to reach saturation for $Co_{0.8}Cu_{0.2}Fe_2O_4$. By measuring the magnetic field B and applied current I, the curve versus B was plotted versus I. It graph was linear and was agreed with the theory. TEM image was showed a particle size in the nanometer range.

Keyword: Faraday Effect, Transmission, Copper-Cobalt Ferrite, Nanopariticles.

M. Moradi[a,b], A. Rafie[a] ,S. Manouchehri [b]

[a] Department of Physics, Shahrekord University, Shahrekord .

[b] Department of Physics, Malek-Ashtar University of Technology, Shahinshahr.

[c] Photonics Research Group , Shahrekord University, Shahrekord.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

۱- مقدمه

امروزه نانوساختارها به دلیل ویژگی‌های اپتیکی، الکترونی و مغناطیسی منحصر به فرد در زمینه‌های مختلف علوم نظیر پزشکی، زیست شناسی، الکترونیک، فوتونیک، شیمی و دیگر علوم مورد توجه قرار گرفته‌اند [۱و۲]. ساختار نانویی مواد مغناطواپتیکی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. در حال حاضر این مواد به علت داشتن خواص جالب اپتیکی و الکتریکی در ساخت قطعات اپتیکی، اپتیک غیرخطی، کاتالیست‌ها و حافظه‌های اپتیکی کاربرد دارند [۳].

از این میان، نانو ذرات فریت مغناطیسی با ساختار اسپینلی بسیار مورد توجه فیزیکدان‌ها، شیمیدان‌ها، مهندسان و ... قرار دارد. فریت‌های اسپینلی دارای فرمول عمومی AB_2O_4 هستند که B معمولا آهن و A یک کاتیون فلزی ناپایدار مانند مس، روی، کبالت است [۴ و ۵].

نانو ذرات فریت به روش‌های مختلفی همچون ترمال [۶]، هیدروترمال [۷]، هم‌رسوبی [۸و۹] تهیه می‌شوند. روش هم-رسوبی به علت اینکه امکانات مورد نیاز برای انجام آن ارزان‌تر است، به سادگی انجام شده و همچنین حجم محصول به دست آمده نیز بیشتر است. در این پژوهش نیز نانوذرات فریت کبالت مس به این روش تهیه و مورد مطالعه قرارگرفته‌اند.

در این پژوهش بررسی خواص مغناطواپتیکی نانوذرات با روش فارادی انجام می‌گیرد. اثر فارادی یکی از اثرات مغناطواپتیکی است که برهم‌کنش میان نور و ماده را نشان می‌دهد. در این روش ماده در میدان مغناطیسی و بین آنالیزور و پلاریزور قرار گرفته و سپس با تابش لیزر به نمونه و آشکارسازی آن توسط فوتوسل می‌توان ویژگی‌هایی همچون چرخش صفحه قطبش (اثر فارادی) و منحنی تراگسیلندگی بعد از آنالیزور را بررسی کرد[۱۰].

این اثر وقتی به وجود می‌آید که صفحه قطبش نور با قطبیدگی خطی هنگام عبور از یک ماده دی‌الکتریک در حضور میدان مغناطیسی می‌چرخد. مقدار چرخش در این حالت توسط رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\theta = \upsilon BL \qquad (۱)$$

که با چگالی شار مغناطیسی B و طول محیط L متناسب است. در این رابطه υ ثابت وردت است.

تراگسیلندگی نور عبوری از شاره مغناطیسی ناشی از اثر سایه هندسی با افزایش شدت میدان مغناطیسی اعمالی افزایش می‌یابد. هلست (Helseth) بر مبنای این نوع تراگسیلندگی اپتیکی که به میدان مغناطیسی وابسته است، تئوری تعادلی را بنا نهاد [۱۱]. در این تئوری اگر P را شدت تراگسیلندگی بنامیم، رابطه شدت به صورت زیر تعریف می‌شود

$$P = P_{max} - \Delta P exp(-CH^2) \qquad (۲)$$

که در آن ΔP تفاوت شدت تراگسیلی بیشینه(P_{max}) و شدت تراگسیلی میدان صفر (P_{min}) است. H شدت میدان مغناطیسی خارجی و C ثابت وابسته به دما و چگالی شاره مغناطیسی است. حال اگر در این مجموعه همزمان، چرخش فارادی نیز در نظر گرفته شود و t به عنوان تراگسیلندگی آنالیزور تعریف شود، توان تراگسیلندگی بعد از آنالیزور از رابطه زیر به دست می‌آید [۱۲]:

$$P = [P_{max} - \Delta P exp(-CH^2)] \cdot t \cdot cos^2(\alpha \pm \theta) \qquad (۳)$$

در این رابطه θ چرخش فارادی و α زاویه بین آنالیزور و پلاریزور است. در این پژوهش با استفاده از روش و چیدمان فارادی به بررسی منحنی تراگسیلندگی بعد از آنالیزور در نانوذرات فریت کبالت مس می‌پردازیم.

۲- مواد و روش‌ها

برای سنتز نانوذرات فریت کبالت مس با نسبت‌های مولی متفاوت، ابتدا با استفاده از مقادیر ذکر شده در جدول ۱، محلول‌های ۱ مولار آهن، ۰.۵ مولار مس و ۰.۵ مولار کبالت را

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

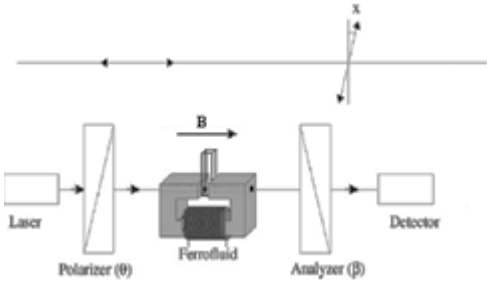
تهیه کردیم و سود را به حجم ۲۶۰cc رساندیم. سپس نسبت-های مولی متفاوت از محلول‌ها را در بشرهای جداگانه مخلوط و آنها را هر کدام جداگانه به یک باره به سود اضافه کردیم. بشرها روی همزن مغناطیسی به مدت یک ساعت قرار گرفتند و بعد از آن برای زمان ۱۵ ساعت محلول‌ها را راکد قرار داده و سپس با خالی کردن یون‌های اضافی کلر و سدیم به همراه آب، رسوب ته‌نشین شده چندین بار با آب دایونایز شستشو داده شد. به منظور تهیه پودر فریت کبالت مس حدود $\frac{1}{3}$ از محلول را پس از خشک کردن با هاون آسیاب نمودیم.

جدول ۱: مقادیر مواد مورد نیاز

نام‌ماده	مقدارگرم
کلرید آهن $(Fe\ \ Cl_3 6H_2O)$	$27.0395g$
کلرید مس $(CuCl_2)$	$3.4300g$
کلرید کبالت $(CoCl_2 6H_2O)$	$5.9492g$
سود سوز آور $(NaOH)$	$12.1256g$

۲-۱ چیدمان فارادی و منحنی تراگسیل

در این چیدمان که طرحوار آن در شکل ۱ آمده است، ابتدا نمونه با نسبت ۴۰cc آب مقطر دو بار یونیزه و ۱cc محلول فریت کبالت مس رقیق شد و آن را S_1 نامگذاری کردیم. S_1 در کوت با ضخامت ۱mm ریخته شد و در بین قطب‌های سیم-پیچ مغناطیسی در چیدمان فارادی قرار گرفت. با اعمال میدان مغناطیسی به نمونه و عبور لیزر $(\lambda = 634\ \ nm)$، تراگسیلندگی بعد از آنالیزور برای زوایای مختلف α یادداشت، محاسبه و سپس رسم شد. در اشکال ۲، ۳ و ۴ این منحنی‌ها را نشان دادیم.

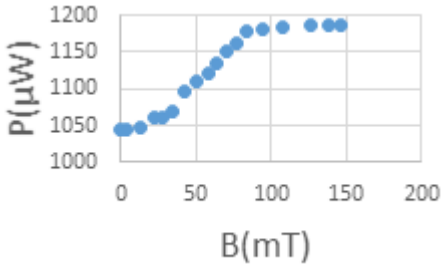


شکل۱: چیدمان فارادی.

۳- نتایج و بحث

۳-۱ منحنی تراگسیلندگی بعد از آنالیزور

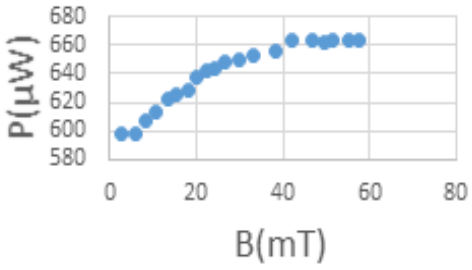
منحنی تراگسیلندگی بعد از آنالیزور، با اعمال میدان مغناطیسی به نمونه رقیق شده $Co_{0.0.8}Cu_{0.2}Fe_2O_4$ در شکل ۲ برای $\alpha = 0^\circ$ محاسبه و رسم شد. نمودار حاکی از آن است که شدت تراگسیلندگی به سرعت با افزایش میدان مغناطیسی افزایش می‌یابد.



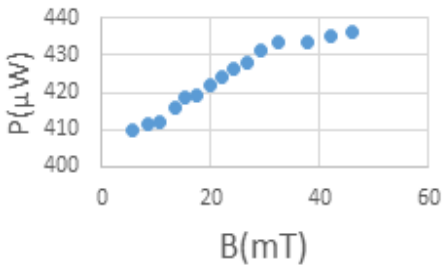
شکل ۲: منحنی تراگسیلندگی $\alpha = 0^\circ$.

۳-۲ تراگسیلندگی زوایای $\alpha = \pm 45^\circ$

منحنی تراگسیل به ازای زوایای $\alpha = +45^\circ$ (شکل۳) و $\alpha = -45^\circ$ (شکل۴) برای نمونه $Co_{0.6}Cu_{0.4}Fe_2O_4$، رسم شد که با بررسی و مقایسه دو منحنی تحت زوایای مثبت و منفی، نشان می‌دهد که محلول در $\alpha = +45^\circ$ دیرتر به حد اشباع می‌رسد.



شکل ۳: تراگسیل بعد از آنالیزور در $\alpha = +45^\circ$.



این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

شکل ۴: تراگسیل بعد از آنالیزور در در $\alpha = -45^{\circ}$.

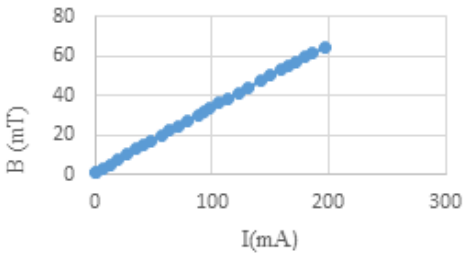
۳-۳ بررسی تغییرات B نسبت به تغییرات I

به منظور بررسی ارتباط تغییرات میدان مغناطیسی B با تغییرات جریانI، بر اساس قانون آمپر که در معادله ۴ و ۵ بیان شده است.

$$\int B \cdot dl = \mu_{\circ} I \qquad (۴)$$

$$B = \frac{\mu_{\circ} NI}{2\pi R} \qquad (۵)$$

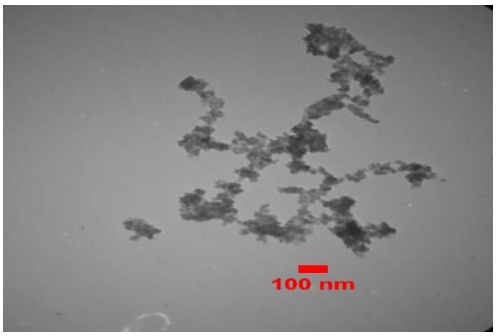
جریان اعمالی و میدان مغناطیسی اندازه گیری و در یک منحنی رسم شد. همان‌گونه که از شکل ۵ مشاهده می‌شود، این تغییرات خطی است و با تئوری توافق بسیار خوبی دارد.



شکل ۵: تغییرات B بر حسب I.

۳-۴ تصویر TEM

به منظور مطالعه ساختاری و نیز توزیع اندازه ذرات تصویر، TEM یکی از نمونه‌ها تهیه شد که در شکل ۶ آورده شده نشان می‌دهد که ذرات توزیع یکنواخت دارند و اندازه ذرات تقریبا یکسان است.



شکل ۶: تصویر TEM نمونه $Co_{0.4}Cu_{0.6}Fe_2O_4$، تهیه شده در آزمایشگاه دانشگاه صنعتی شریف.

۳-۵ نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که تراگسیلندگی بعد از آنالیزور با تئوری توافق داشته و با بررسی این نمودارها برای زوایای چرخش آنالیزور به اندازه ۴۵+ و ۴۵- درجه، حد اشباع شدگی محلول تغییر می‌کند. همچنین تغییرات میدان با جریان نیز به صورت خطی افزایش می‌یابد که این موضوع نیز با تئوری هم‌خوانی دارد.

مراجع

[1] G. Armelles, A. Cebollada, A. García-Martín and M. U González, "*Magnetoplasmonics: Combining Magnetic and Plasmonic Functionalities*" Adv. Opt. Mater. Vol 1, pp10–35, (2013).

[۲] ه. گلپایگانی، ع. بیت اللهی، م. نیایی فر، "سنتز مکانیکی-شیمیایی و بررسی خواص مغناطیسی نانوپودر فریت کبالت" هفتمین کنگره سرامیک ایران، (۱۳۸۸).

[۳] ر. متفرقه تیلکی، ا. ایرجی زاده، س م. مهدوی،"ساخت نانوذرات طلا، نقره و مس به روش کندوسوز لیزر پالسی"، مقاله نامه‌کنفرانس ایران ، ۹۱-۸۸، (۱۳۸۵).

[4] B. D. Cullity,C. D.Graham,"*Magnetic materials*",pp. 178-179 IEEE Press, (2009).

[5] K.E. Sickafus and J M. Wills, "*Structure of Spinel"* Journal of American Ceramic Society, vol. 82, No.12, pp 3279-3292, 1999

[6] M. Goodarz Naseri, et al "*Synthesis and characterization of zinc ferrite nanoparticles by a thermal treatment method*" Solid State Communication, Vol. 151, pp. 1031-1035, (2011).

[7] S. Verma, et al "*Synthesis of nanosized MgFe2O4 powders by microwave hydrothermal method"*, Materials Letters, Vol. 58, pp. 1092-1095, (2004).

[8] N. D. Kandpal, et al, *"Co-precipitaion method of synthesis and characterization of iron oxide nanoparticles"* Journal of Scientific & Industrial Research, Vol. 73. pp. 87-90, (2014).

[۹] ا. کاظمی نژاد، ف. فرجیانپور، ز. رمضانی، *"ساخت نانوذرات مغناطیسی $CuFe_2O_4$ به روش هم‌رسوبی و به‌کارگیری آن‌ها در حسگر گاز اتانول"*، مجله پژوهش سیستم‌های بس‌ذره‌ای، دوره اول، شماره ۱، (۱۳۹۰).

[۱۰] س.کیانی، "اندازه گیری خواص اپتیکی نانوذرات فریت کبالت مس" دانشگاه شهرکرد، پایان نامه کارشناسی ارشد، (۱۳۹۰).

[11] L E. Helseth, " *Optical sensor for detecting colloidal phase transitions induced by magnetic* fields *"* J. Phys. D: Appl. Phys. Vol. 42, (2009).

[12] S. Kiani, et al "*Theoretical and Experimental Investigation on Faraday Rotation Measurement in Ferrofluid of Oil-based Co-Zn Ferrite Nanoparticles"* Proceedings of the 4th International Conference on Nanostructures (ICNS4), (2012).

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]