بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

بررسی اثر لایه میانی در افزایش اثر مگنتواپتیکی کِر در فیلم‌های مغناطیسی چندلایه

مهرداد مرادی، سامان محمودی، زهرا رجبی و داود رضوانی

پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، کاشان

چکیده – افزایش اثر مگنتواپتیکی کِر برای بهبود کارکرد حافظه‌های مگنتواپتیکی بسیار پراهمیت است. یکی از راه‌های این کار استفاده از ساختار چندلایه است. در این مقاله برای سه ماده SnO_2, SiO_2 و TiO_2 ، اثر جنس و ضخامت لایه بر سیگنال کِر بررسی شده است. این مواد دارای خواص مهمی از جمله نیمرسانایی و شفافیت نوری همزمان هستند. بیشترین سیگنال کِر بدست آمده ۴۸/۸۸ درجه بود که به ازای لایه ۳۱۰ نانومتری از SiO_2 و ۵ نانومتر Co در ساختار Glass\Cu\ SiO_2\Co مشاهده شد. همچنین بیشترین وابستگی سیگنال کر به ضخامت برای لایه SnO_2 مشاهده شد.

کلید واژه- اثر مگنتواپتیکی کِر، فیلم مغناطیسی چندلایه، حافظه مگنتواپتیکی.

Investigation of the Effects of Spacer Layer in Amplifying the Magneto-Optical Kerr Effect in Magnetic Multilayer Films

M. Moradi, S. Mahmoodi, Z. Rajabi, D. Rezvani

Institute of Nanoscience and Nanotechnology, University of Kashan, Kashan, Iran

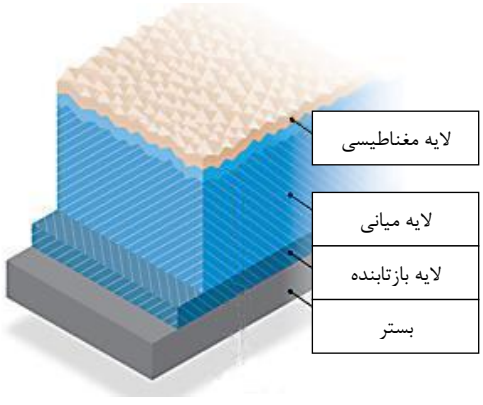
Abstract- Enhancement of the magneto-optical Kerr effect for the best performance of the data storage is very important. This enhancement can take place utilizing extra layers. In this paper, the effect of kind and thickness of the layer for the SnO_2, SiO_2 and TiO_2 materials on the magneto-optic Kerr signal of the magnetic structure have been investigated. These materials have important properties such as semiconducting and optical transparency simultaneously. The maximum Kerr signal was 48.88 degrees in the 310 and 5 nm thick of SiO_2 and Co layers respectively. Also, the most dependency of the signal on the thickness was observed in the SnO_2 layer.

Keywords: Magneto-optical Kerr effect, Magnetic multi layers film, Magneto-optical data storage

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

۱- مقدمه

امروزه فیلم‌های نازک مغناطیسی به خاطر کاربردهای گسترده و پراهمیت آن‌ها، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. در حالت کلی این فیلم‌ها به صورت ترکیبی از چندلایه مغناطیسی و غیر مغناطیسی ساخته می‌شوند. یکی از کاربردهای مهم فیلم‌های نازک چندلایه، حافظه‌های مغناطیسی است [۱]. یکی از روش‌های ثبت و بازخوانی اطلاعات از این دسته حافظه‌ها روش مگنتواپتیکی است. اثر مگنتواپتیکی کر روشی مناسب برای بازخوانی اطلاعات از حافظه‌های مگنتواپتیکی است. در این پدیده پرتو با قطبش خطی به ماده مغناطیسی برخورد کرده با آن برهم‌کنش می‌کند و بازتابیده می‌شود. پرتو بازتابیده شده در حالت کلی دارای قطبش بیضی‌گون با مقداری چرخش است. برای عملکرد هرچه بهتر حافظه‌های مگنتواپتیکی بایستی بیشترین میزان چرخش کِر و کمترین میزان بیضی‌گونگی را داشته باشیم. متاسفانه در حالت عادی چرخش کِر کوچک است، این مساله باعث شده است که پیدا کردن راهی برای افزایش چرخش کِر بدون تغییر در مغناطش ماده مغناطیسی و ایجاد خلل در کارکرد حافظه، بسیار مورد توجه باشد. یکی از این راه‌ها ساخت ساختار چندلایه است [۲].



شکل ۱: طرحواره ساختار چندلایه شامل زیرلایه، لایه بازتابنده، لایه میانی و لایه مغناطیسی.

در این ساختار که به صورت طرحوار در شکل (۱) نمایش داده شده است از لایه بازتابنده به منظور بازتاب بیشتر پرتو از بستر و برهم‌کنش بیشتر با ماده مغناطیسی و از لایه میانی بواسطه ایجاد کاواک نوری و گیراندازی نور در داخل ساختار برای افزایش برهم‌کنش و در نتیجه افزایش سیگنال کِر استفاده می‌شود. در این مقاله با استفاده از نظریه انتشار نور، نقش جنس و ضخامت لایه میانی بر افزایش سیگنال کِر بررسی شده است. با توجه به کاربرد گسترده فلز کبالت در حافظه‌های مغناطیسی از آن به عنوان ماده مغناطیسی و از مس، با توجه به بزرگ بودن قسمت موهومی ضریب شکست آن به عنوان لایه بازتابنده استفاده شده است. همچنین از سه ماده SnO_2، SiO_2 و TiO_2 با توجه به اینکه نیمه‌رسانایی شفاف هستند و می‌توان از هر دو خاصیت شفافیت و نیمه‌رسانایی آنها بهره برد به عنوان لایه میانی استفاده شده است.

۲- مبانی نظری

برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ زاک و همکارانش روشی را پیشنهاد کردند که بوسیله آن می‌توان سیگنال کِر را در ساختارهای چندلایه محاسبه کرد [۳]. در این روش برای عبور نور از مرز هر لایه یک ماتریس ۴×۴، A_i (برای ورود پرتو به درون لایه ماتریس A_i و برای خروج پرتو از لایه ماتریس A_i^{-1}) و برای انتشار نور در هر لایه یک ماتریس ۴×۴، D_i تعریف می‌شود. در نهایت ماتریس توصیف کننده یک لایه به صورت $A_i^{-1}D_iA_i$ می‌باشد. برای ساختار چندلایه کافی است که ماتریس‌های توصیف کننده لایه‌ها را در هم ضرب کنیم نتیجه ماتریسی مانند M است که نشان دهنده رفتار ساختار چندلایه است:

$$M = A_0\, A_1^{-1}\, D_1\, A_1\, A_2^{-1}\, D_2\, A_2\, \ldots \qquad (۱)$$

اندیس‌ها نشان دهنده شماره هر لایه هستند، ماتریس M را می‌توان به صورت یک ماتریس بلوکه‌ای ۲×۲ نوشت:

$$M = \begin{bmatrix} G & H \\ I & F \end{bmatrix}. \qquad (۲)$$

این ماتریس به صورت زیر با ضرایب انعکاس در ارتباط است:

$$IG^{-1} = \begin{bmatrix} r_{ss} & r_{sp} \\ r_{ps} & r_{pp} \end{bmatrix}. \qquad (۳)$$

با بدست آمدن ضرایب انعکاس می‌توان میزان چرخش کِر θ_k و بیضی‌گونگی کِر ψ_k را برای قطبش‌های پرتو فرودی s و p به صورت زیر محاسبه کرد:

$$\chi_p = \frac{r_{sp}}{r_{pp}}, \qquad \chi_s = \frac{r_{ps}}{r_{ss}}, \qquad (۴)$$

$$\theta_k^i = 1/2\left(tan^{-1}\left(\frac{(2Re\chi_i)}{1-|\chi_i|^2}\right)\right), \quad i = s, p. \qquad (۵)$$

$$\psi_k^i = 1/2\left(sin^{-1}\left(\frac{(2Im\chi_i)}{1+|\chi_i|^2}\right)\right), \quad i = s, p. \qquad (۶)$$

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

پارامتر سیگنال کِر یک پارامتر کاربردی است که به صورت تعریف می‌شود:

$$S = \sqrt{\theta_k^2 + \psi_k^2} \qquad (۷)$$

محاسبات این مقاله بر اساس آن انجام شده است. با توجه به کاربرد در حافظه‌های مغناطیسی محاسبات در هندسه قطبی انجام شده، طول‌موج نور تابشی ۶۳۲/۸ نانومتر و زاویه تابش ۱۵ درجه در نظر گرفته شده است. ضرایب شکست مواد و ضریب مگنتواپتیکی کبالت از منبع [۴] استخراج شده در جدول (۱) نمایش داده شده است.

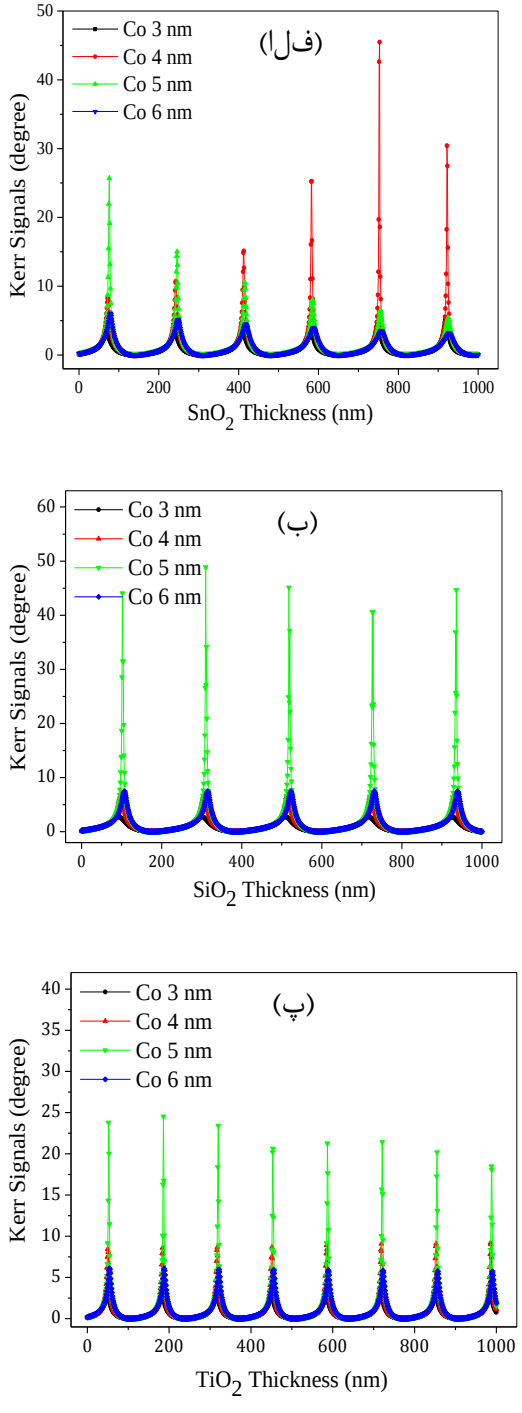
جدول ۱: ضرایب شکست و ضریب مگنتواپتیکی مواد.

ماده	ضریب شکست	ضریب مگنتواپتیکی
Co	۲/۲۱۳ + ۴/۱۷۲ i	۰/۰۲۱۱ - ۰/۰۰۵۸ i
SnO_2	۱/۸۸ + ۰/۰۱ i	۰
SiO_2	۱/۵۴۲	۰
TiO_2	۲/۲۸ + ۰/۰۰۰۶ i	۰
Cu	۰/۲۴۹ + ۳/۴۱۰ i	۰

۳- انجام محاسبات

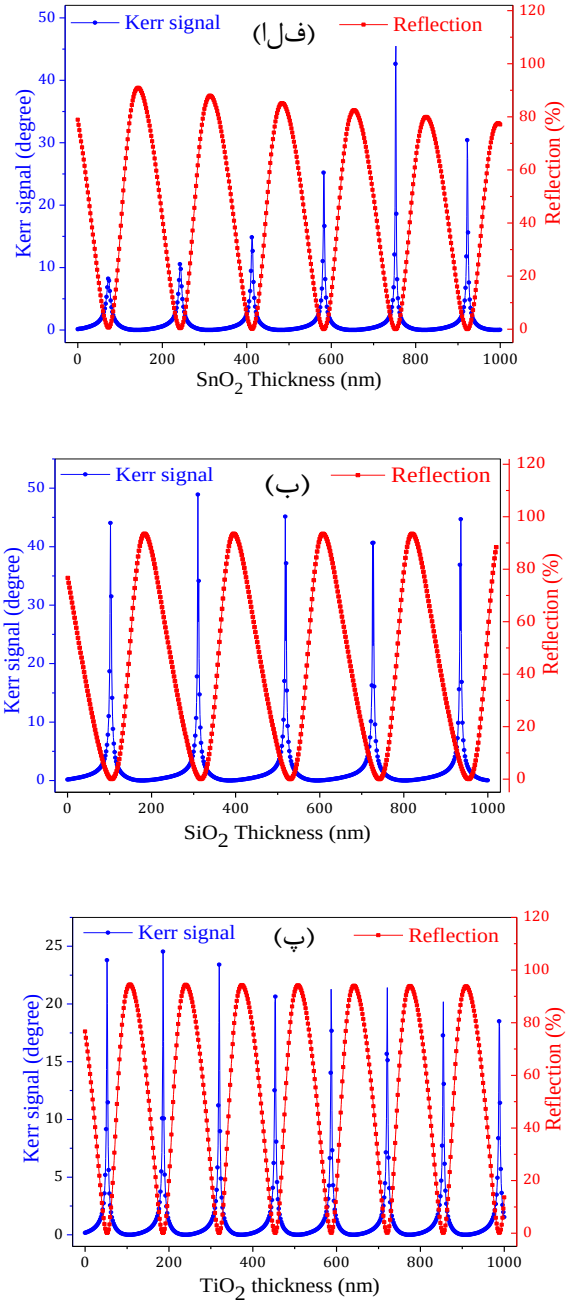
در این مقاله، چینش‌های مختلف از مواد در لایه میانی امتحان شد تا نحوه عملکرد و تاثیر آنها بر بزرگی سیگنال کِر بررسی شود. محاسبات برای لایه مغناطیسی Co و لایه بازتابنده Cu با وجود لایه‌های میانی SnO_2، SiO_2 و TiO_2 انجام شد.

ضخامت لایه بازتابنده کمی بیشتر از دو برابر عمق نفوذ نور در مس در نظر گرفته شد. در واقع هرچه ضخامت این لایه بیشتر باشد، بازتاب بیشتر و سیگنال بزرگتر خواهد بود اما عملا میزان افزایش سیگنال تا ضخامت معینی ادامه می‌یابد و بعد از آن سیگنال تقریبا ثابت می‌شود. ابتدا بایستی ضخامت بهینه لایه مغناطیسی برای لایه‌های میانی با جنس‌های مختلف محاسبه شود. به این منظور برای ضخامت‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ نانومتر از لایه Co و ضخامت متغیر لایه میانی محاسبات انجام شد. همانگونه که در شکل (۲) نشان داده شده است، ضخامت بهینه Co برای SnO_2 برابر ۴ نانومتر و برای SiO_2 و TiO_2 برابر ۵ نانومتر است. حال با این مقادیر کار را ادامه داده اثر جنس و ضخامت لایه میانی بر بزرگی سیگنال کِر را بررسی می‌کنیم. همانگونه که در شکل (۳) نشان داده شده است برای هر سه حالت اختلاف بسیار زیادی در بزرگی سیگنال نقطه صفر (عدم وجود لایه میانی) و بیشینه‌های سیگنال با حضور لایه میانی وجود دارد. که در جدول (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: سیگنال کِر به ازای ضخامت‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ نانومتر از لایه کبالت و ضخامت‌های متغیر از لایه‌های میانی مختلف الف) SnO_2، ب) SiO_2، پ) TiO_2 در ساختار Glass\Cu\Spacer layer\Co.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]



شکل (۳): سیگنال کِر و درصد بازتاب در ضخامت بهینه کبالت ضخامت‌های متغیر از لایه‌های میانی مختلف الف) SnO_2، ب) SiO_2، پ) TiO_2 در ساختار Glass\Cu\Spacer layer\Co.

در شکل (۳) سیگنال کِر و درصد بازتاب نور از ساختار برای ضخامت‌های مختلف از لایه میانی و بهینه ضخامت

جدول ۲: سیگنال کر بدون حضور لایه میانی، بیشینه سیگنال کِر به ازای لایه‌های میانی مختلف و ضخامت بهینه لایه میانی.

لایه میانی	TiO_2	SiO_2	SnO_2
سیگنال بدون حضور لایه میانی (درجه)	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۴
بیشینه سیگنال (درجه)	۲۴/۵۵	۴۸/۸۸	۴۵/۵۲
ضخامت بهینه لایه میانی (نانومتر)	۱۸۸	۳۱۰	۷۵۳

کبالت رسم شده است. برای ضخامت‌های خاص از لایه میانی میزان بازتاب از ساختار کاهش یافته و سیگنال کِر افزایش می‌یابد. در این ضخامت‌ها بازتاب‌های پی در پی نور در درون ساختار به صورت مخرب تداخل کرده میزان بازتاب کاهش می‌یابد. در نتیجه مخرج کسر رابطه (۴) کاهش یافته سیگنال کِر افزایش می‌یابد. نکته قابل توجه دیگر این است که بیشینه‌های سیگنال و در عین حال کمینه‌های بازتاب در ضخامت‌های خاص تکرار می‌شوند. اما در ساختار شامل SnO_2 این مقادیر تفاوت زیادی دارند. با انجام محاسبات برای مواد مختلف به عنوان لایه میانی مشاهده شد که برای موادی که قسمت موهومی ضریب شکست آنها مانند SiO_2 و TiO_2 بسیار کوچک است، این مساله تکرار می‌شود. حتی اگر ضخامت لایه به چند میکرومتر هم برسد بیشینه‌ها در یک حد و اندازه باقی می‌مانند. که با توجه به جذب بسیار کم نور در این مواد قابل توجیه است. از طرف دیگر موادی که مانند SnO_2 قسمت موهومی ضریب شکست آنها در حد چند صدم است، یک بیشینه بزرگ دارند و با افزایش ضخامت لایه با توجه به افزایش جذب در لایه سیگنال کِر کاهش می‌یابد.

۴- نتیجه گیری

استفاده از لایه بازتابنده در ضخامت دو برابر عمق نفوذ نور و ضخامت خاص از لایه میانی و مغناطیسی که به روش ماتریس قابل محاسبه است می‌تواند به افزایش سیگنال کِر منجر شود. در این مقاله بیشترین سیگنال کِر مشاهده شده ۴۸/۸۸ درجه بوده است که در حضور لایه میانی ۳۱۰ نانومتری SiO_2 بدست آمده است.

۵- مراجع

[1] A. Kundrotaite, M. Rahman, P. R. Aitchison, J. N. Chapman, *Interactions in magnetic arrays for storage and computation*, **Microelectron. Eng.** 57 (2001) 975.

[2] M. Moradi, M. Ghanaatshoar, *Cavity enhancement of the magneto-optic Kerr effect in glass/Al/SnO_2/PtMnSb/SnO_2 structure*, **Opt. *Commun.* 283** (2010) 5053.

[3] J. Zak, E. R. Moog, C. Liu and S. D. Bader, *Universal Approach to Magneto-Optics*, **J. Magn. Magn. Mater.** 89 (1990) 107.

[4] E. D. Palik, *Handbook of Optical Constants of Solids*, Academic Press, Boston, 1985.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]