

اثر تغییرات دمایی در رفتار مغناطیسی لایه نازک فریت بیسموت رشد یافته بر بلور فوتونی پلیمری

زهره سادات عزیزی^۱، محمد مهدی طهرانچی^{۱،۲}، سیده مهری حمیدی^۱

^۱ پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

^۲ دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

چکیده - تنظیم پذیری میزان تنش با اعمال دما، در راستای طراحی ادوات کوک پذیر نوری مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. بر این اساس رفتار مغناطیسی لایه نازک فریت بیسموت بر بسترهای از بلور فوتونی کلئیدی مورد مطالعه قرار گرفته است. بلور فوتونی مناسب با کنترل درصد تبخیر و دما رشد یافت و لایه فریت بیسموت به ضخامت ۸۰ نانومتر با روش لایه نشانی لیزری تهیه شده است. بررسی تغییرات پاسخ مغناطیسی نمونه با کمک هندسه فارادی صورت پذیرفت و نتایج نشانگر توانایی کوک پذیری پاسخ فارادی با اعمال تنش از طریق تغییرات دمایی است.

کلید واژه- بس فرو، بلور فوتونی کلئیدی، چرخش فارادی، فریت بیسموت، مغناطو تنگش.

Temperature induced changes of magnetic behavior of BiFeO₃ thine film on polymeric photonic crystal

Zahra Sadat Azizi¹, Mohammad Mehdi Tehranchi^{1,2}, Seydeh Mehri Hamidi¹

¹Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran

²Department of physics, Shahid Beheshti University, Tehran

Abstract- Adjustability of the stress by the applied temperature, in order to design tunable optical devices are of interest to many researchers. The magnetic behavior of thin films of bismuth ferrite on colloidal photonic crystal as substrate is studied. To increase the effect of stress on bismuth ferrite thin layer of a polymer photonic crystal is designed with suitable dimensions. By Faraday rotation geometry, relation of structure of designed substrate for this goal and magnetic behavior of BFO is described. The substrate thermal striction can deform the magnetic response of the BFO layer. It is argued that the thermal striction accompanying the faraday rotation of the sample.

Keywords: Bismuth ferrite, Colloidal photonic crystal, Faraday rotation, Magneto striction, Multiferroic.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، مطالعه‌ی لایه نازک BiFeO_3 (BFO) به دلیل پتانسیل بالای آن در ابزارهایی نظیر حافظه‌های فروالکتریک، اسپینترونیک، انواع حسگر، محرک‌ها^۱ و سامانه‌های میکروالکترومکانیک مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است [۱-۲]. تا کنون ویژگی‌های متعددی شامل خاصیت فروالکتریک و پاد فرومغناطیس بودن در دمای اتاق، رسانندگی نوری، فوتوالکتریک بودن، تنش پذیری نوری و خواص غیرخطی مرتبه دوم بزرگ [۱] در BFO شناسایی شده‌اند. این ماده به دلیل آرایش اسپین پیچشی در طول ۶۲ نانومتری اش از نظر خواص مغناطیسی دارای ویژگی‌های جذابی است [۲]. با در کنارهم قرار دادن و تلفیق ویژگی‌های این ماده طراحی و ساخت حسگرها و سویچ‌ها امکان پذیر شده است.

با رشد ماده ای مانند BFO بر روی لایه ای دیگر، تنش های بزرگی به دلیل تفاوت در پارامترهای ساختار بلوری و ضریب انبساط گرمایی بین لایه و زیرلایه یا به دلیل وجود نواقصی در حین رشد لایه، در لایه‌ها به وجود می‌آید. هرچند وجود این تنش اغلب باعث کم شدن خواص لایه می‌شود، ولی با علم بر چگونگی روابط حاکم بر آن و مهندسی تنش می‌توان در برخی از خواص آن دست برد. مهندسی تنش از راه های متفاوتی نظیر انتخاب زیرلایه با اختلاف ثابت شبکه‌های مشخص، اعمال تنش مکانیکی به زیر لایه و اعمال تغییرات دمایی انجام می‌شود. میزان اثر پذیری BFO از تنش مکانیکی تا ۵ درصد گزارش شده است [۳].

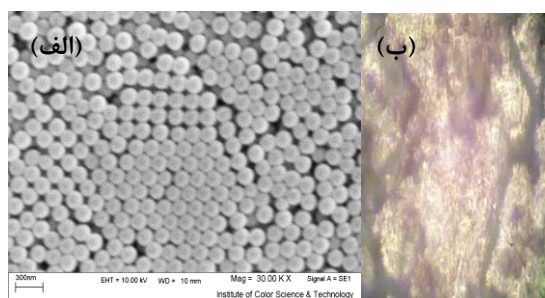
اثر بازیخت دمایی ساختارهای بلور فوتونی پلیمری سه بعدی (CPC^۲) مطالعه شده است [۴] و اثر دمای طولانی مدت، در جمع تر شدن شبکه و بالا رفتن ضریب پراش شدگی (کم شدن فضای میانی و تنگش بالاتر در نمونه) گزارش گردیده است. از طرفی مقاله [۵]، اثر سرد کردن کره‌ها را بر زیاد شدن قطر کره‌های پلیمری گزارش کرده است.

در این مقاله، به روش لایه نشانی پالس لیزری، لایه ۸۰

نانومتری BFO تشکیل شده بر لایه‌ی بلور فوتونی کلوییدی با اندازه کره ۲۰۰ نانومتری تهیه شده است. در ادامه با رویکرد تجربی وجود و تغییرات اثر تنش بر مغناطش ساختار تحت دمای بالاتر و پایین تر از دمای ساخت آن بررسی می‌شود. برای این منظور چیدمان فارادی تک طول موج، که دارای دقت اندازه گیری تا چند ده میکرو رادیان چرخش است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج نشانگر وجود مغناطش در لایه نازک BFO به واسطه اعمال تنش توسط زیرلایه CPC طراحی شده و تنظیم پذیری میزان این تنش با دماست.

۲- روش ساخت و مشخصه یابی نمونه

برای تهیه بلور فوتونی سه بعدی (CPC)، از کره‌های پلی استایرن با اندازه 200 ± 5 نانومتری استفاده شده است. برای تهیه لایه آرایش یافته و منظم CPC، پوشش سوسپانسونی از کره‌ها بر روی لام خشک شد. ابتدا شیشه تمیز شده را داخل ظرف مناسب قرار داده و به صورت مناسبی از محلول سوسپانسیون ذرات کلئیدی پوشانده شد. فرآیند خشک شدن در دمای اتاق (۳۰ درجه سانتی گراد) و به مدت دو هفته انجام شد. ساختار منظم کره‌ها با تصویر SEM و طیف بازتابی و رنگ ساختار مشخص شده است.



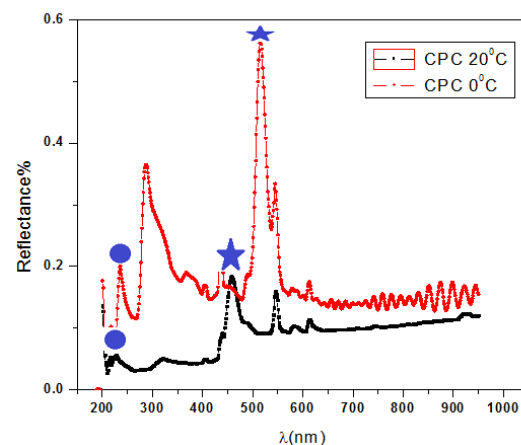
شکل ۱: (الف) تصویر SEM از کره‌های پلی استایرن ۲۰۰ نانومتری. (ب) تصویر با رزولوشن ۴۰ برابر از لایه BFO/CPC.

ثبت طیف بازتابی این بلور فوتونی (شکل ۲) در زوایای تقریباً عمود (حدود ۵ درجه) و ۲۰ درجه نمایانگر آرایش منظم کره‌های ۲۰۰ نانومتری در ساختار بلوری fcc است. طبق رابطه براگ، قله‌های بازتاب مربوط به بازتابش اولیه و ثانویه پراش براگ از ساختار بلور فوتونی به ترتیب با ستاره و دایره مشخص شده‌اند. پیک های دیگری که در شکل وجود دارند، با تغییر زاویه ثابت مانده و مربوط به

¹ activators

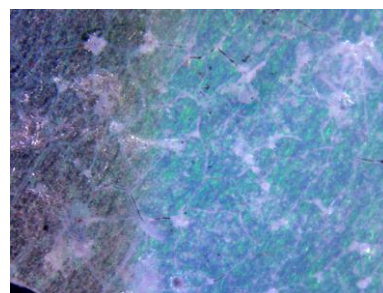
² Colloidal photonic crystal

بازتابش از زیرلایه هستند.



شکل ۲: طیف بازتابی از نمونه CPC با کره‌های ۲۰۰ نانومتری در تابش عمودی (نمودار قرمز) و ۲۰ درجه (نمودار مشکی). قله‌های اولیه و ثانویه بازتابش براگ در هردو نمودار به ترتیب با ستاره و دایره مشخص شده‌اند.

با استفاده از سیستم لایه نشانی پالسی (PLD)، با نرخ ۳۰ نانومتر بر دقیقه، لایه بیسموت فریت با ضخامت ۸۰ نانومتر بر لایه CPC رشد داده شد. در شکل ۳، بزرگ نمایی از مرز لایه تشکیل شده نمایش داده شده است. پلاسمای ماده در فشار محفظه 4×10^{-7} میلی بار و با انرژی هر پالس هماهنگ سوم لیزر Nd:YAG، 20mJ و نرخ تکرار ۵ هرتز تشکیل شده است. فاصله لایه تا هدف ۳ سانتی متر و در دمای اتاق حفظ شد.



شکل ۳- تصویر با بزرگ نمایی ۵۰۰ برابر از مرز ناحیه لایه نشانی شده.

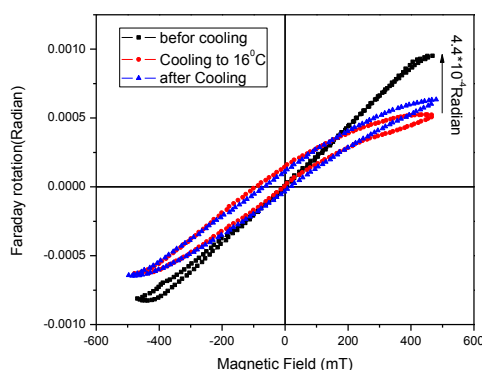
به منظور شرح پاسخ مغناطیسی نمونه ساخته شده به تغییرات دمایی و تحقیق اثر مغناطو تنگش معکوس در آن، چیدمان فارادی با دقت بالا استفاده شد. در این چیدمان باتغییر میدان مغناطیسی DC، تغییر قطبش نور

لیزر هلیوم نئون مدوله شده، میزان چرخش فارادی (FR) نمونه سنجیده می‌شود.

برای اطمینان از صحت نتایج، هر داده حاصل میانگین گیری از حداقل هشت جفت رفت و برگشت در دوبار اندازه گیری جداگانه و در تمامی آنها اثر زیرلایه حذف شده است. زیرلایه نیز مشخصه یابی شده است و اثری از تغییر رفتار معطوف به آن نمی‌شود.

۳- نتایج و بحث

به منظور تحقیق میزان اثر تنش سطحی بستره CPC بر پاسخ مغناطیسی لایه BFO، بررسی دمایی نمونه، در دو حوزه دمای پایین تر از دمای اتاق و بالاتر از آن انجام شده است. در حوزه اول، نمونه به مدت یک ساعت در دمای ۱۵°C قرار داشت. رفتار پسماند و چرخش فارادی آن در دمای اتاق بررسی شد (شکل ۴). قبل از اعمال تنش دمایی (نمودار مشکی)، بیشینه چرخش تا حدود ۰/۰۶ درجه می‌رسید، با اجرای فرآیند سرمایش (نمودار قرمز) علاوه بر تغییر شکل نمودار پسماند مقدار بیشینه در میدان ۴۸۰ میلی تسلا، ۰/۰۲۵ درجه کاهش نشان می‌دهد.



شکل ۴: نمودار تغییرات شدت FR در دمای اتاق قبل از سرد کردن نمونه (نمودار مشکی)، بعد از سرد کردن تا دمای ۱۵°C (نمودار قرمز) و برگشت نمونه دوازده ساعت بعد از تست سرمایش (نمودار آبی) در نمونه BFO/CPC.

بنابراین با اعمال اختلاف دمای ۱۰°C، عامل تنش سطح CPC تغییر ۴۲ درصدی در بیشینه چرخش نمونه را ایجاد می‌کند. این تغییر بعد گذشت چند ساعت از فرآیند سرمایش، به علت محو شدن اثر تنش دمایی، به سمت حالت اولیه باز می‌گردد (نمودار آبی).

مشکی و آبی رسم شده است. همانطور که مشاهده می-شود به دلیل بیشتر بودن ضریب انبساط گرمایی کره‌ها نسبت به BFO تنش از سوی سطوح موثر کره‌ها به BFO از یک سو و وجود خاصیت مغناطو تنگش در لایه BFO از سوی دیگر، میزان چرخش به ازای تغییرات دمایی دارای افت قابل ملاحظه‌ای هستند و از سوی دیگر با گذشت زمان بدلیل انعطاف پذیری بستره‌ی پلیمری به مقدار پیشین خود قبل از هر یک از عملیات‌های گرمایشی و سرمادهی می‌رسند.

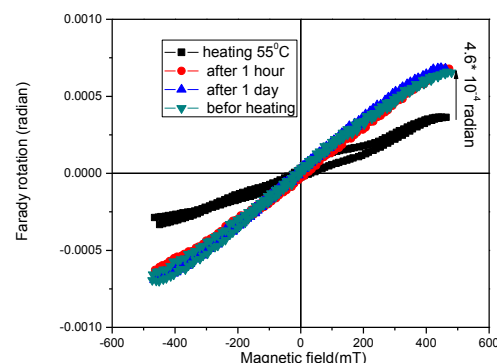
۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، به منظور مطالعه اعمال تنش گرمایی و سرمایی نمونه BFO/CPC ساخته شد. اعمال دمایی بالا و پایین تر از دمای اتاق، عامل تغییری بیش از ۴۰ درصد در بیشینه چرخش فارادی نمونه شدند و از این جهت که باعث کاهش سرعت رسیدن به اشباع می‌شوند عملکرد یکسانی دارند. با بررسی برگشت پذیری اثر دمایی، نمونه قابلیت پیشین خود را باز می‌یابد به طوری که، در دمای بالا سرعت برگشت رفتار بیشتر است. این نتایج، وجود بستگی قوی بین تنش اعمالی بر لایه BFO و مغناطش آن را اثبات می‌کند. با تغییر دمایی آن قابلیت تغییر این رفتار به صورت برگشت پذیر وجود دارد. کوک پذیری رفتار مغناطیسی نمونه با اعمال دما، می‌تواند جهت طراحی ادوات نوری به کار گرفته شود.

مراجع

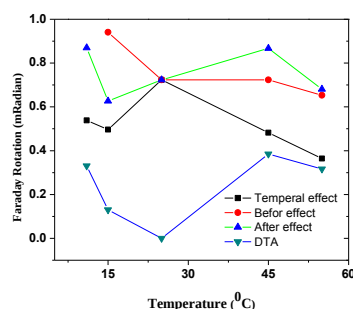
- [1] Bing Gu, Yang Wang, John Wang, and Wei Ji, "Femtosecond third-order optical nonlinearity of polycrystalline BiFeO₃", OPTICS EXPRESS, Vol.17, No.13, pp. ۱۰۹۷۰, 2009.
- [2] M. Tehranchi, N. Kubrakov and A. K. Zvezdivn "Spin-Flop and incommensurate structures in magnetic ferroelectrics", Ferroelectrics, Vol. 204, pp. 181- 188 1997.
- [3] J. X. Zhang, B. Xiang, Q. He, J. Seidel, R. J. Zeches, P. Yu, S. Y. Yang, C. H. Wang, Y-H. Chu, L. W. Martin, A. M. Minor, and R. Ramesh, "Large field-induced strains in a lead-free piezoelectric material", Nature Nanotechnology, Vol. 6, No.98, pp102, 2011.
- [4] C. G. Schafer, T. Winter, S. Heidt, C. Dietz, T. Ding, J. J. Baumberg and M. Gallei, "Smart polymer inverse-opal photonic crystal films by melt-shear organization for hybrid core-shell architectures", J. Mater. Chem. C, Vol. 3, pp2204, 2015.
- [5] L. Bo, J. Zhou, L. Longtu, G. Zhilun, "Temperature-tuned photonic bandgap in polymer synthetic opals", J JOURNAL of materials science Vol. 40, pp 2611- 2613, 2005.

در رفتار دمای بالای نمونه، در چند نقطه دمایی از کم به زیاد تست شد. شکل ۵ نمایانگر کاهش مقدار بیشینه چرخش در میدان ۴۸۰ میلی تسلا تحت دمای ۵۵°C، به اندازه‌ی ۰.۰۲۶ درجه است. این مقدار حدود ۷۰ درصد از مقدار اولیه مغناطش است. حدود یک روز بعد از فرآیند گرمایش، مشابه با رفتار دمای پایین، رفتار ماده به حالت اولیه خود باز می‌گردد (نمودار آبی در شکل ۵). در اینجا نیز با همان استدلال‌های دمای پایین رفتارها قابل توصیف اند.



شکل ۵: نمودار تغییرات شدت FR در دمای اتاق قبل از گرم کردن نمونه (نمودار سبز)، بعد از گرم کردن تا دمای ۵۵°C (نمودار مشکی) و برگشت نمونه بعد از یک ساعت (نمودار قرمز) و دوازده ساعت بعد از تست گرمایی (نمودار آبی).

نتایج مجموعه‌ای از تغییرات چرخش فارادای در دماهای مختلف در شکل ۶ کنارهم آورده شده اند. که در آن داده‌های مربوط به قبل و یک روز پس از اعمال تنش دمایی (به ترتیب نمودارهای قرمز و سبز) در دماهای مختلف آمده است. چرخش فارادی در هریک از دماها و اختلاف



شکل ۶: نمودار مقایسه تغییرات دمایی نقطه بیشینه‌ی چرخش نمودار پسماند در میدان ۴۵۵ میلی تسلا (نمودار مشکی) و اختلاف آن‌ها در همین نقطه، پس از یک روز از دمادهی (نمودار آبی). نمودار قرمز و سبز به ترتیب مربوط به بیشینه‌ها بلافاصله قبل و یک روز پس از دما دهی است.

آن با همین مقدار در روز بعد در نمودارهای به ترتیب