



اندازه‌گیری گذارهای کوانتمومی بلور مگنتو فوتونی یک بعدی با ساختار $(TiO_2/SiO_2)^6/Bi:YIG/(TiO_2/SiO_2)^6$

مسعود حیدری^۱, سیده مهری حمیدی^۱ و محمد Mehdi Tehranchi^{۱, ۲}

^۱پژوهشکده لیزر پلاسماء، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

^۲گروه فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

چکیده- از اندازه‌گیری طیف‌سنجی دورنگی دایروی مغناطیسی در مواد زیستی و جامدات مغناطیسی استفاده شده است. قابلیت MCD در تحقیق و مشخصه‌یابی حالت‌های برانگیخته الکترونی به اندازه‌ی است که برای دیگر روش‌های طیف‌سنجی غیر قابل دسترس می‌باشد. بر این اساس در این تحقیق، به مطالعه‌ی گذارهای بلور مگنتو فوتونی یک بعدی، $(TiO_2/SiO_2)^6/Bi:YIG/(TiO_2/SiO_2)^6$ در بازه‌ی ۵۰۰ تا ۷۰۰ نانومتری به روش دورنگی دایروی مغناطیسی پرداخته شده است؛ که منجر به ثبت گذارهای $^6A_l(^6S) \rightarrow ^4T_l(^4G)$ و $^6A_g(^6S) \rightarrow ^4T_{2g}(^4G)$ ناشی از گذارهای میدان بلوری در طول موجه‌ای ۵۱۰، ۵۵۰، ۵۸۰، ۶۱۰ و ۶۸۰ نانومتری شده است.

کلید واژه: طیف‌سنجی، دورنگی دایروی مغناطیسی، گذارهای میدان بلوری، بلور مگنتوفوتونی.

Quantum Transitions Measuring of One-Dimensional Magnetic Photonic Crystal with Structure $(TiO_2/SiO_2)^6/Bi:YIG/(TiO_2/SiO_2)^6$ By Magnetic Circular Dichroism Method

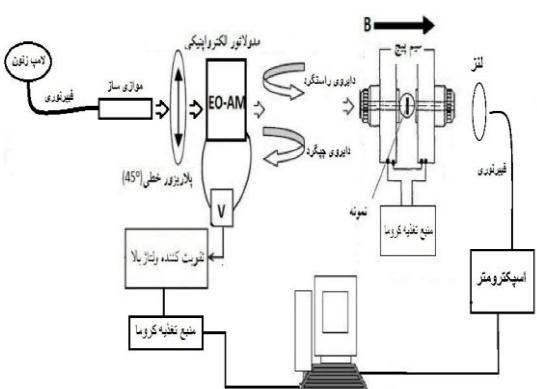
Masoud Heidari¹, Seyedeh Mehri Hamidi¹ and Mohammad Mehdi Tehranchi^{1, 2}

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

²Physics Department, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract -Magnetic circular dichroism spectroscopy (MCD) is used in bio and solid magnetic materials. Ability of MCD in research and characterization of excited electronic states is so powerful while other spectroscopic methods are not efficient enough. Therefor in this research the transitions of magnetic photonic crystal with structure $(TiO_2/SiO_2)^6/Bi:YIG/(TiO_2/SiO_2)^6$ has been studied in the range of 500nm to 700nm by MCD. Which leads to recording $^6A_l(^6S) \rightarrow ^4T_2(^4G)$, $^6A_l(^6S) \rightarrow ^4T_l(^4G)$ and $^6A_g(^6S) \rightarrow ^4T_{2g}(^4G)$ transitions duo to field crystal transitions in 510 nm, 550 nm, 580 nm, 610 nm, 680 nm wavelength.

Keyword: spectroscopy, magnetic circular dichroism, crystal field transition, magnetic photonic crystal.



شکل ۱- طرح‌واره‌ی طیف‌سنجی دورنگی دایروی مغناطیسی

کدام با ضخامت ربع موج در طول موج 520 نانومتر لایه‌نشانی شده است. لایه‌های الکتریکی در دو طرف لایه نقص نیز با روش باریکه‌ی الکترونی، هر کدام با ضخامت ربع موج در طول موج 520 نانومتر لایه‌نشانی شده است.

درنهایت بلور مگنتوفوتونی با ضخامت $2/5$ میکرومتر با ساختار $(TiO_2/SiO_2)^6 / Bi : YIG / (TiO_2/SiO_2)^6$ خواهیم داشت. نور لامپ زنون توسط فیبر به داخل موازی ساز جهت هم راستا کردن پرتوها هدایت می‌شود. پرتوهای موازی شده از یک قطبشگر 45 درجه عبور کرده و برای دایروی شدن از یک مدولاتور که با برنامه‌ی *Lab View* کنترل می‌شود، عبور داده می‌شود. در ادامه‌ی مسیر، نور دایروی پس از عبور از نمونه، توسط یک عدسی با فاصله کانونی 10 سانتی‌متر کانونی و با فیبر جمع می‌شود و در نهایت با طیف‌سنج ثبت می‌شود. برای محاسبه‌ی دورنگی دایروی مغناطیسی در بازه‌ی 500 تا 700 نانومتر در

دماهی اتاق از رابطه‌ی

$$MCD = \frac{I_{\perp} - I_{\parallel}}{2\pi I_{\perp} + I_{\parallel}}$$

استفاده می‌شود که I_{\perp} ضخامت نمونه مغناطیسی I_{\perp} و I_{\parallel} به ترتیب شدت عبوری قطبش‌های دایروی راستگرد و چپگرد از نمونه می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

در ابتدا، بدليل اینکه خواص مگنتوپتیکی گارنت‌ها از ساختارشان سرچشمه می‌گیرد، باید بصورت خلاصه در مورد ساختارشان صحبت شود. گارنت‌ها بلورهای یونی با ترکیب عمومی $\{C_3\}[A_2](D_3)(O_{12})$ هستند که در

۱- مقدمه

طیف‌سنجی دورنگی دایروی مغناطیسی^۱ بر پایه‌ی اندازه‌گیری اختلاف جذب میان نورهای قطبیده‌ی دایروی راستگرد (*RCP*) و چپگرد (*LCP*) می‌باشد، که توسط یک میدان مغناطیسی قوی موازی با جهت انتشار نور، در نمونه القاء می‌شود. شدت آن به طور خطی بستگی به انرژی جدادشگی زیمان دارد که این جدادشگی، متناسب با مغناطش ماده می‌باشد^[۱].

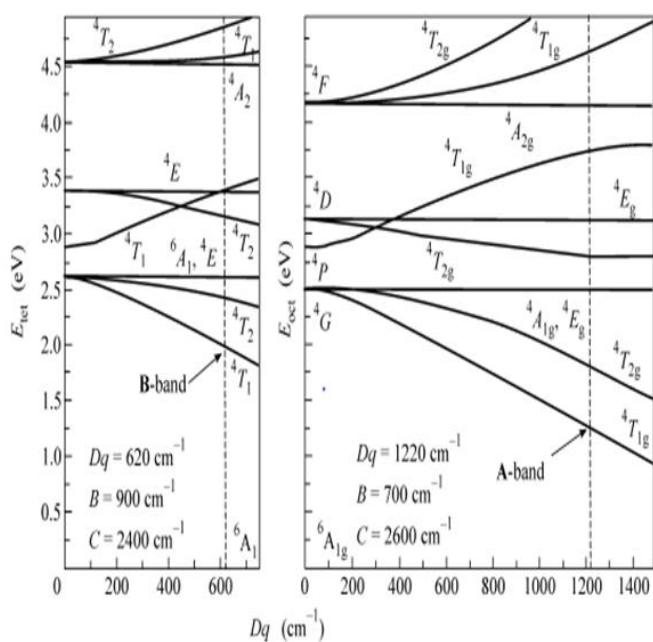
این نوع طیف‌سنجی، اساساً یک روش موثر و مفید برای آنالیز ساختار است و از کاربردهای آن می‌توان به شناسایی گذارهایی که به وضوح در طیف مرئی و فرابینکش بدلیل گذارهای اسپین متنوع و ضعیف قابل تشخیص نیستند اشاره کرد^[۲]؛ همچنین در مطالعه‌ی سیستم‌های غیرآلی، آلی و بیولوژیکی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد^[۳].

بنابراین روش طیف‌سنجی *MCD* می‌تواند یک روش اپتیکی جایگزین برای طیف‌سنجی جذب در شناسایی کردن گذارهای کوانتموی باشد^[۴]. در این بین، بلورهای مگنتو فوتونی بدلیل خاصیت‌های مگنتو اپتیکی و اپتیکی قابل تنظیمی که از خود نشان می‌دهند توجه خیلی زیادی را به خود جلب کرده‌اند^[۴]. در این بلورها می‌توانند با تغییر ضخامت لایه نقص، مدهای جایگزیده شده در نوار ممنوعه ایجاد کنند؛ و با ایجاد این مدها در محل گذارهای کوانتموی می‌توان با دقت بیشتری *MCD* را اندازه‌گیری کرد.

۲- شرح آزمایش

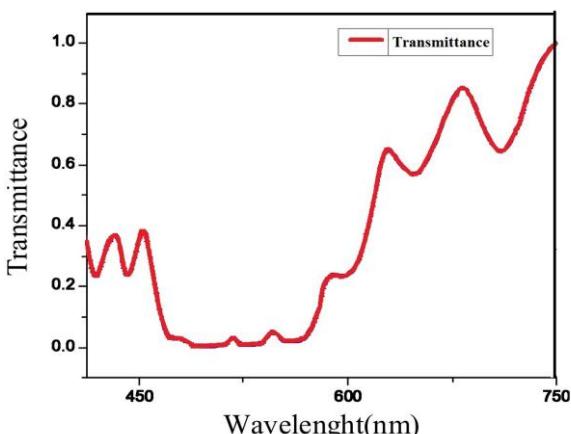
چیدمان تجربی بصورت طرح‌وار در شکل ۱ نشان داده شده است. پیچه‌هایی که در این چیدمان استفاده شده است، با 250 دور سیم، دارای هسته‌ی آهنی است که در جریان 3 آمپر در فاصله‌ی 10 میلی‌متر میدان 150 میلی‌تسلا را ایجاد می‌کند. نمونه دارای لایه‌ی نقص $Y_{2.25}Bi_{0.75}Fe_5O_{12}$ با ضخامت 800 نانومتر می‌باشد که به روش پالسی لایه‌نشانی شده است. لایه‌های الکتریکی در دو طرف لایه نقص نیز با روش باریکه‌ی الکترونی، هر

^۱ Magnetic circular dichroism (MCD)



شکل(۳)- محاسبه‌ی میدان بلوری ساختار YIG برای مکان‌های چهار وجهی(چپ) و هشت وجهی (راست)-نمودار تانابه‌سوگانو [۱۰، ۸].

۲/۴ الکترون‌ولت به ترتیب متضاد با گذارهای $^{2+}$ الکترون‌ولت به ترتیب متضاد با گذارهای $^{6}A_1(^6S) \rightarrow ^4T_1(^4G)$ و $^{6}A_1(^6S) \rightarrow ^4T_2(^4G)$ از یون Fe^{+3} در مکان چهاروجهی است [۱۰]. طیف عبوری بلور مگنتوفوتونی بر حسب طول موج در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: طیف عبوری بلور مگنتوفوتونی بر حسب طول موج در بازه‌ی ۴۲۵ تا ۷۵۰ نانومتر

همانطور که به وضوح مشخص است، چهار مد جایگزیده در طول موج‌های ۴۷۸، ۵۰۶، ۵۴۹ و ۵۹۶ نانومتر در داخل نوار ممنوعه‌ی فوتونی بین ۴۶۴ و ۵۸۶ نانومتر مشاهده می‌شود [۱۱]. این جایگزیده شدن نور داخل بلور

A ، C ، D و E کاتیون‌های هستند که قادرند مکان‌های شبکه را با مختصات اکسیژن متفاوت اشغال کنند [۵]. ساختار گارنت آهن ایتریوم ($Y_3Fe_5O_{12}$) از دو یون Fe^{+3} در میدان بلور چهاروجهی، سه یون Fe^{+3} در میدان بلور هشتوجهی و سه یون Y^{+3} در میدان بلور دوازدهوجهی تشکیل شده [۶]؛ که اصطلاحاً به قرارگیری چهار لیگاند در اطراف یک عنصر واسطه، میدان بلور چهاروجهی و به همین منوال قرارگیری شش لیگاند، هشتوجهی و هشت لیگاند دوازدهوجهی گفته می‌شود. در ساختار YIG آلاییده شده با بیسموت ($Bi:YIG$)، بیسموت منجر به ایجاد گذار مگنتوپاتیکی جدید نمی‌شود، بلکه تقویت ضریب جذب گذارهای یون‌های گارنت غیرآلاییده شده را به همراه دارد. بنابراین طیف جذب اپتیکی از بلور YIG ناشی می‌شود [۷]. منشاء جذب در YIG توسط کلگستون^۲، ویکرشیم^۳ و لفور^۴ بحث شده است. واضح است که دو نوع گذار وجود دارد که در لبه‌ی جذب ظاهر می‌شوند. نوع اول، خطهای گسسته‌ای است که بعلت گذارهای میدان بلوری از یونهای فلز است که در ناحیه مرئی ظاهر می‌شوند؛ دومی، بعلت فرایند انتقال بار از لیگاند اکسیژن به یون فلز مرکزی با یک پیک در حوالی ۲/۹ الکtron‌ولت، که شامل جذبهای خیلی قوی‌تر است [۸]. به هر حال بنظر می‌رسد که سهم اصلی لبه جذب برای لایه‌های YIG از اولین باند گسسته در حوالی پیک ۱/۳ الکtron‌ولت است که بعلت گذارهای میدان بلوری آهن (Fe^{+3}) در مختصات هشتوجهی ایجاد می‌شود. نتایج این پیش‌بینی با تئوری میدان بلوری که نمودار تانابه‌سوگانو^۵ را بیان می‌کند، مطابقت دارد. در این تئوری داده‌ها و آگاهی‌های لازم برای تفسیر از روی نمودارهای انرژی بدست می‌آید، که در کمپلکس میدان قوی، این نمودارها موسوم به نمودارهای تانابه سوگانو هستند. شکل ۲ نمودار تانابه سوگانو را برای یون Fe^{+3} در مکان چهاروجهی و هشت وجهی بر حسب انرژی روی میدان بلور نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، باند در انرژی ۱.۷۱ الکtron‌ولت مطابق با گذار $(^6A_1(^6S) \rightarrow ^4T_{2g}(^4G))$ یون Fe^{+3} در مکان هشتوجهی است [۹]. همچنین باند در انرژی ۲ و

² Clogston

³ Wickersheim

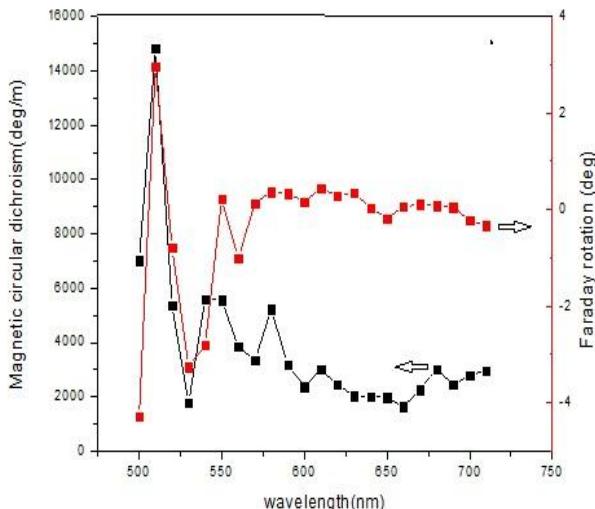
⁴ Lefever

⁵ Tanabe sugano

۵- منابع

۱. Mason, W.R., *Magnetic Circular Dichroism Spectroscopy*. 2007: Wiley.com.
۲. Stephens, P., *Magnetic circular dichroism*. Annual Review of Physical Chemistry, 1974. **25**(1): p. 201-232.
۳. Lindon, J.C., G.E. Tranter, and D. Koppenaal, *ONLINE Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry: 3 volume set*. 2010: Access Online via Elsevier.
۴. Hamidi, S., M. Tehranchi, and A. Bananej, *Adjustable Faraday rotation by using engineered one-dimensional magneto photonic crystals*. Optical Materials, 2010. **32**(9): p. 1085۱۰۸۹.-
۵. Gilleo, M. and S. Geller, *Magnetic and Crystallographic Properties of Substituted Yttrium-Iron Garnet, $3Y_{\{2\}}O_{\{3\}} \cdot xM_{\{2\}}O_{\{3\}} \cdot (5-x)Fe_{\{2\}}O_{\{3\}}$* . Physical Review, 1958. **110**(1): p. 73.
۶. Wittekoek, S., et al., *Magneto-optic spectra and the dielectric tensor elements of bismuth-substituted iron garnets at photon energies between 2.2-5.2 eV*. Physical review B, 1975. **12**(7): p. 2777.
۷. Zenkov, A. and A. Moskvin, *Bismuth-induced increase of the magneto-optical effects in iron garnets: a theoretical analysis*. Journal of Physics: Condensed Matter, 2002. **14**(28): p. 6957.
۸. Wood, D. and J. Remeika, *Effect of impurities on the optical properties of yttrium iron garnet*. Journal of Applied Physics, 1967. **38**(3): p. 1038-1045.
۹. Scott, G., et al., *Magnetic circular dichroism and Faraday rotation spectra of $Y_{\{3\}}Fe_{\{5\}}O_{\{12\}}$* . Physical Review B, 1975. **12**(7): p. 2562.
۱۰. Gavriluk, A.G.e., et al., *Irreversible electronic transition with possible metallization in $Y_3Fe_5O_{12}$ at high pressure*. Journal of Experimental and Theoretical Physics Letters, 2005. **82**(9): p. 603-608.
۱۱. Hamidi, S., M. Tehranchi, and M. Shasti, *Engineered one-dimensional magneto-photonic crystals for wavelength division multiplexing systems*. Journal of Physics D: Applied Physics, 2011. **44**(20): p. 205107.

مگنتوفوتونی از طریق افزایش شدت به تقویت گذارهای *MCD* کمک می‌کند. منحنی تغییرات دورنگی دایروی مغناطیسی، فارادی طیفی اندازه‌گیری شده بر حسب طول موج در دمای اتاق در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: طیف دورنگی دایروی مغناطیسی و فارادی طیفی نمونه بلور مگنتوفوتونی در ناحیه ۵۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر

طیف *MCD* تقریباً در طول موجهای ۵۸۰، ۵۵۰، ۵۱۰، ۶۱۰ و ۶۸۰ نانومتر از خود پیک نشان می‌دهد. پیک‌های ۵۱۰ و ۵۵۰ نانومتری ناشی از گذار $^6A_I(^6S) \rightarrow ^4T_2(^4G)$ ؛ و پیک‌های ۵۸۰ و ۶۱۰ متناظر با گذار $^6A_I(^6S) \rightarrow ^4T_1(^4G)$ است که در محیط چهار وجهی رخ می‌دهد؛ و طول موج ۶۸۰ ناشی از انتقال $^6A_{Ig}(^6S) \rightarrow ^4T_{2g}(^4G)$ در محیط هشت وجهی است. همچنین از بلور مگنتوفوتونی اندازه‌گیری فارادی طیفی صورت گرفت که تاییدی بر صحت گذارها و طیف سنجی *MCD* است.

۴- نتیجه‌گیری

مطالعه‌ی گذارهای بلور مگنتوفوتونی یک بعدی TiO_2/SiO_2 ⁶/Bi:YIG/(TiO_2/SiO_2)⁶ در بازه‌ی ۵۰۰ تا ۷۰۰ نانومتری به روش دورنگی دایروی مغناطیسی، منجر به ثبت گذارهای $^6A_I(^6S) \rightarrow ^4T_2(^4G)$ و $^6A_I(^6S) \rightarrow T_1(^4G)$ و $^6A_{Ig}(^6S) \rightarrow ^4T_{2g}(^4G)$ ناشی از گذارهای میدان بلوری در طول موجهای ۵۱۰، ۵۵۰، ۵۸۰، ۶۱۰، ۶۸۰ و ۷۰۰ نانومتری شده است.