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

اندازه گیری گذارهای کوانتومی بلورمگنتو فوتونی یک بعدی با ساختار $(TiO_2/SiO_2)^6/Bi:YIG/(TiO_2/SiO_2)^6$ به روش دورنگی دایروی مغناطیسی

مسعود حیدری [۱]، سیده مهری حمیدی [۱] و محمدمهدی طهرانچی [۱و۲]

[۱] پژوهشکده لیزر پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
[۲] گروه فیزیک ،دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

چکیده- از اندازه‌گیری طیف‌سنجی دورنگی دایروی مغناطیسی در مواد زیستی و جامدات مغناطیسی استفاده شده است. قابلیت *MCD* درتحقیق 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 دایـروی مغناطیسی پرداختــه شده است؛ که منجر به ثبت گذارهای $^6A_1(^6S)\rightarrow{}^4T_2(^4G)$ ، $^6A_1(^6S)\rightarrow{}^4T_1(^4G)$ و $^6A_{1g}(^6S)\rightarrow{}^4T_{2g}(^4G)$ ناشی از گذارهای میدان بلوری در طول موجهای ۵۱۰ ، ۵۵۰ ، ۵۸۰ ، ۶۱۰ و ۶۸۰ نانومتری شده است.

کلید واژه: طیـف سنجی، دورنگی دایـروی مغناطیـسی، گذار میـدان 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 Heidari [1], Seyedeh Mehri Hamidi[1] and Mohammad Mehdi Tehranchi[1, 2]
[1]Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
[2]Physics 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 $^6A_1(^6S)\rightarrow{}^4T_2(^4G)$, $^6A_1(^6S)\rightarrow{}^4T_1(^4G)$ and $^6A_{1g}(^6S)\rightarrow{}^4T_{2g}(^4G)$ 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.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-17]

۱-مقدمه

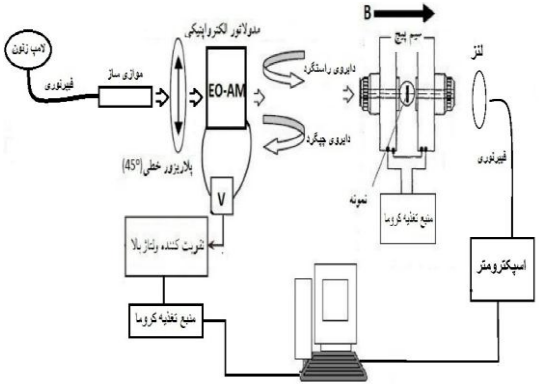
طیف‌سنجی دورنگی دایروی مغناطیسی[1] بر پایه‌ی اندازه‌گیری اختلاف جذب میان نورهای قطبیده‌ی دایروی راستگرد (RCP) و چپگرد (LCP) می‌باشد، که توسط یک میدان مغناطیسی قوی موازی با جهت انتشار نور، در نمونه القاء می‌شود. شدت آن به طور خطی بستگی به انرژی جداشدگی زیمان دارد که این جداشدگی، متناسب با مغناطش ماده می‌باشد[۱].

این نوع طیف‌سنجی، اساسا" یک روش موثر و مفید برای آنالیز ساختار است و از کاربردهای آن می توان به شناسایی گذارهایی که به وضوح در طیف مرئی و فرابنفش بدلیل گذارهای اسپین ممنوع 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 کوانتومی باشد[۲]. 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 کوانتومی می توان با دقت بیشتری MCD را اندازه گیری کرد.

۲-شرح آزمایش

چیدمان تجربی بصورت طرح‌وار در شکل ۱ نشان داده شده است. پیچه‌هایی که در این چیدمان استفاده شده است، با ۲۵۰ دور سیم، دارای هسته‌ی آهنی است که در جریان ۳ آمپر در فاصله‌ی۱۰میلی‌متر میدان۱۵۰میلی تسلا را ایجاد می‌کند. نمونه دارای لایه‌ی نقص $Y_{2.25}Bi_{0.75}Fe_5O_{12}$ با ضخامت ۸۰۰ نانومتر می‌باشد که به روش پالسی لایه‌نشانی شده است. لایه‌های الکتریکی در دو طرف لایه نقص نیز با روش باریکه‌ی الکترونی ، هر



شکل۱- طرح‌واره‌ی طیف‌سنجی دورنگی دایروی مغناطیسی

کدام با ضخامت ربع‌موج در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر لایه-نشانی شده است. لایه‌های الکتریکی در دو طرف لایه نقص نیز با روش باریکه‌ی الکترونی، هر کدام با ضخامت ربع‌موج در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر لایه‌نشانی شده است.

درنهایت بلورمگنتوفوتونی باضخامت۲/۵میکرومتر باساختار $(TiO_2/SiO_2)^6/Bi:YIG/(TiO_2/SiO_2)^6$ خواهیم داشت. نور لامپ زنون توسط فیبر به داخل موازی ساز جهت هم‌راستا کردن پرتوها هدایت می‌شود. پرتوهای موازی شده از یک قطبشگر ۴۵ 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 کانونی۱۰سانتی‌متر کانونی و با فیبر جمع می‌شود و در نهایت با طیف‌سنج ثبت می‌شود. برای محاسبه‌ی دورنگی دایروی مغناطیسی در بازه‌ی۵۰۰ تا۷۰۰ نانومتردر دمای اتاق ازرابطه‌ی $MCD=\frac{1}{2\pi l}\frac{I_+-I_-}{I_++I_-}$ استفاده می-شود که l ضخامت نمونه مغناطیسی I_+ و I_- به ترتیب شدت عبوری قطبش های دایروی راستگرد و چپگرد از نمونه می باشد.

۳-نتایج و بحث

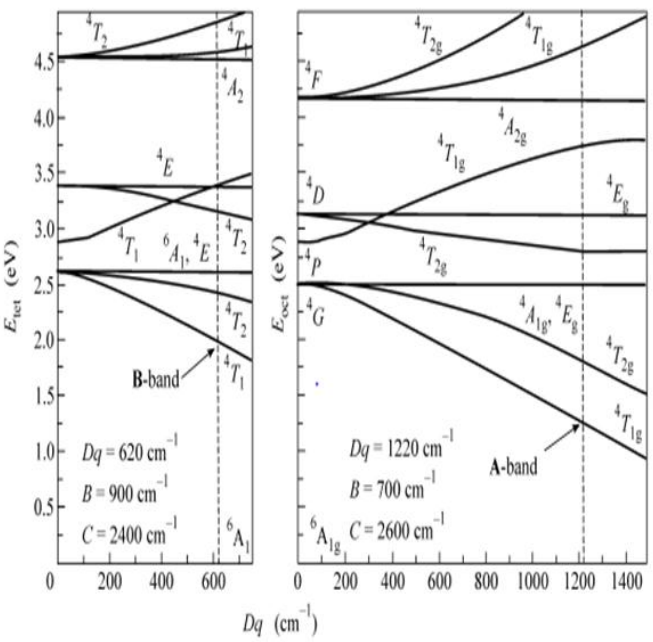
در ابتدا، بدلیل اینکه خواص مگنتواپتیکی گارنت‌ها از ساختارشان سرچشمه می‌گیرد، باید بصورت خلاصه در مورد ساختارشان صحبت شود. گارنت‌ها بلورهای یونی با ترکیب عمومی $\{C_3\}[A_2](D_3)O_{12}$ هستند که در

[1] Magnetic circular dichroism (MCD)

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-17]

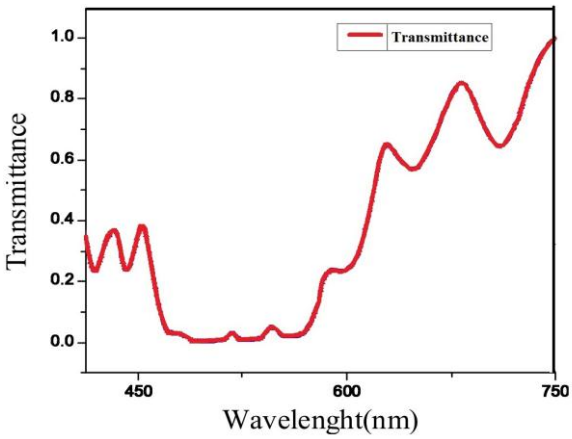
آن A، C و D کاتیون‌هایی هستند که قادرند مکان‌های شبکه را با مختصات اکسیژن متفاوت اشغال کنند[۵]. ساختار گارنت آهن ایتریوم $(Y_3Fe_5O_{12})$ از دو یون Fe^{+3} در میدان بلور چهاروجهی، سه یون Fe^{+3} در میدان بلور هشت‌وجهی و سه یون Y^{+3} در میدان بلور دوازده‌وجهی تشکیل شده[۶]؛ که اصطلاحا به قرارگیری چهار لیگاند در اطراف یک عنصر واسطه، میدان بلور چهاروجهی و به همین منوال قرار گیری شش لیگاند، هشت‌وجهی و هشت لیگاند دوازده‌وجهی گفته می‌شود. در ساختار YIG آلاییده شده با بیسموت $(Bi:YIG)$، بیسموت منجر به ایجاد گذار مگنتواپتیکی جدید نمی‌شود، بلکه تقویت ضریب جذب گذارهای یون‌های گارنت غیرآلاییده شده را به همراه دارد. بنابراین طیف جذب اپتیکی از بلور YIG ناشی می‌شود [۶، 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 می شوند؛ و دومی، بعلت فرایند انتقال بار از لیگاند اکسیژن به یون فلز مرکزی با یک پیک درحوالی ۲/۹ الکترون‌ولت ، که شامل جذبهای خیلی قوی‌تر است[۸]. به هرحال بنظر می‌رسد که سهم اصلی لبه جذب برای لایه‌های YIG از اولین باند گسسته در حوالی پیک ۱/۳ الکترون‌ولت است که بعلت گذارهای میدان بلوری آهن (Fe^{+3}) در مختصات هشت‌وجهی ایجاد می‌شود. نتایج این پیش بینی با تئوری میدان بلوری که نمودار تانابه‌سوگانو[۵] را بیان می‌کند، مطابقت دارد. در این تئوری داده ها و آگاهی های 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 چهار وجهی و هشت وجهی بر حسب انرژی روی میدان بلور نشان می‌دهد. باتوجه به نمودار، باند درانرژی ۱.۷۱ الکترون‌ولت مطابق با گذار $^6A_{1g}(^6S)\rightarrow{}^4T_{2g}(^4G)$، یون Fe^{+3} در مکان هشت‌وجهی است[۹]. همچنین باند درانرژی ۲ و

[2] Clogston
[3] Wickersheim
[4] Lefever
[5] Tanabe sugano



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

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

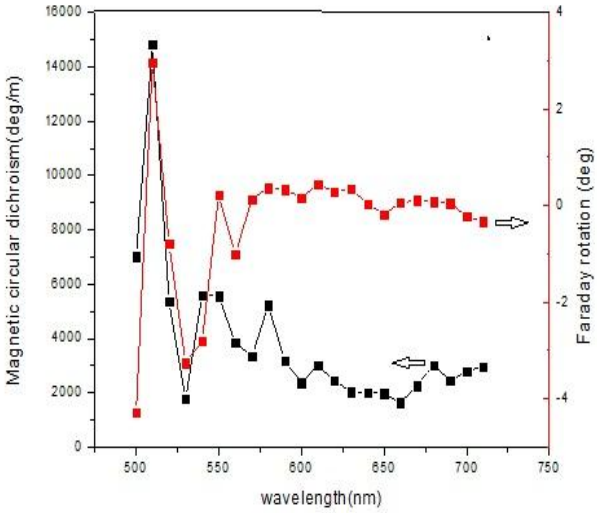


شکل۳: طیف عبوری بلور مگنتوفوتونی برحسب طول‌موج در بازه‌ی ۴۲۵ تا ۷۵۰ نانومتر

همانطور که به وضوح مشخص است، چهار مد جایگزیده در طول‌موج‌های 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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-17]

مگنتو فوتونی از طریق افزایش شدت به تقـویت 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 ناحیه‌ی ۵۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر

طیف *MCD* تقریبا در طول موجهای ۵۱۰ ، ۵۵۰ ، ۵۸۰ ، ۶۱۰ و ۶۸۰ نانومتر از خود پیک نشان می دهد. پیک‌های ۵۱۰ و ۵۵۰ نانومتری ناشی از گذار $^6A_1(^6S)\rightarrow{}^4T_2(^4G)$؛ و پیک‌های ۵۸۰ و ۶۱۰ متناظر با گذار $^6A_1(^6S)\rightarrow{}^4T_1(^4G)$ است که در محیط چهار وجهی رخ می‌دهد؛ و طول موج ۶۸۰ ناشی ازانتقال $^6A_{1g}(^6S)\rightarrow{}^4T_{2g}(^4G)$ در محیط هشت وجهی است. همچنین از بلور مگنتو فوتونی اندازه‌گیری فارادی طیفی صورت گرفت که تاییدی بر صحت گذارها و طیف سنجی *MCD* است.

۴-نتیجه‌گیری

مطالعـه‌ی گذارهـای بلـور مگنتـوفوتونی یک بعـــدی $(TiO_2/SiO_2)^6/Bi:YIG/(TiO_2/SiO_2)^6$ در بازه‌ی ۵۰۰ تا ۷۰۰ نانومتری به روش دورنگی دایـروی مغناطیسی ، منجر به ثبـت گـذارهای $^6A_1(^6S)\rightarrow{}^4T_2(^4G)$، $^6A_{1g}(^6S)\rightarrow{}^4T_{2g}(^4G)$ و $^6A_1(^6S)\rightarrow T_1(^4G)$ ناشـی از گذارهای میدان بلوری در طول موجهای ۵۱۰ ، ۵۵۰ ، ۵۸۰ ، ۶۱۰ و ۶۸۰ نانومتری شده است.

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.

٤. 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.-

٥. Gilleo, M. and S. Geller, *Magnetic and Crystallographic Properties of Substituted Yttrium-Iron Garnet, 3Y_ {2} O_ {3}· xM_ {2} O_ {3}·(5-x) Fe_ {2} O_ {3}.* Physical Review, 1958. **110**(1): p. 73.

٦. 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. Gavriliuk, A.G.e., et al., *Irreversible electronic transition with possible metallization in Y3Fe5O12 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.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-17]