

# اندازه گیری گذارهای کوانتومی بلورمگنتو فوتونی یک بعدی با ساختار (TiO2 /SiO2)<sup>6</sup> /Bi :YIG/ (TiO2 /SiO2)<sup>6</sup> به روش دورنگی دایروی مغناطیسی

مسعود حیدری <sup>۱</sup>، سیده مهری حمیدی <sup>۱</sup> و محمدمهدی طهرانچی<sup>۲۹۱</sup>

<sup>۱</sup> پژوهشکده لیزر پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. ۲ گروه فیزیک ،دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

چکیده– از اندازه گیری طیفسنجی دورنگی دایروی مغناطیسی در مواد زیستی و جامدات مغناطیسی استفاده شده است. قابلیت MCD در تحقیق و مشخصه یابی حالتهای برانگیخته الکترونی به اندازه یاست که برای دیگر روشهای طیفسنجی غیر قابل دسترس می باشد. بر این اساس در این تحقیق، به مطالعه ی گذارهای بلور مگنتو فوتونی یک بعدی،  $^{6}(TiO_{2}/SiO_{2})^{6}/Bi : YIG/(TiO_{2}/SiO_{2})^{6}$  دسترس می باشد. بر این اساس در این تحقیق، به مطالعه ی گذارهای بلور مگنتو فوتونی یک بعدی،  $^{6}(TiO_{2}/SiO_{2})^{6}/Bi : YIG/(TiO_{2}/SiO_{2})^{6}$  دسترس می باشد. بر این اساس در این تحقیق، به مطالعه ی گذارهای بلور مگنتو فوتونی یک بعدی،  $^{6}(TiO_{2}/SiO_{2})^{6}/Bi : YIG/(TiO_{2}/SiO_{2})^{6}$  در بازه ی بعدی،  $^{6}(TiO_{2}/SiO_{2})^{6}/Bi : YIG/(TiO_{2}/SiO_{2})^{6}/Bi$  در بازه می بعدی بعدی،  $^{6}(TiO_{2}/SiO_{2})^{6}/Bi : YIG/(TiO_{2}/SiO_{2})^{6}/Bi$  در بازه می باشد. بر این اساس در این تحقیق، به مطالعه ی گذارهای بلور مگنتو فوتونی یک بعدی بعدی،  $^{7}(TiO_{2}/SiO_{2})^{6}/Bi : YIG/(TiO_{2}/SiO_{2})^{6}/Bi$  در بازه ی بعدی بعدی بعدی بعدی به بازه در به بازه در بازه ی بعدی بعدی بعدی بازه در بازه که منجر به به بت گذارهای ( $^{7}(TiO_{2}/SiO_{2})^{6}/Bi$  و ( $^{7}(FiO_{2}/SiO_{2})^{6}/Bi$  ناشی از گذارهای میدان بلوری در طول موجهای گذارهای ( $^{7}(FiO_{2}/SiO_{2})^{6}/Bi$  و ( $^{6}(FiO_{2})^{6}/Bi$  ناشی از گذارهای میدان بلوری در طول موجهای گذارهای ( $^{7}(FiO_{2}/SiO_{2})^{6}/Bi$  و ( $^{7}(FiO_{2}/SiO_{2})^{6}/Bi$  در همه میدان بلوری در طول موجهای گذارهای ( $^{7}(FiO_{2}/SiO_{2})^{6}/Bi$  و ( $^{7}(FiO_{2}/SiO_{2})^{6}/Bi$  در همه است.

**کلید واژه**: طیف سنجی، دورنگی دایروی مغناطیسی، گذار میدان بلوری، بلور مگنتوفوتونی.

## Quantum Transitions Measuring of One-Dimensional Magnetic Photonic Crystal with Structure (TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>)<sup>6</sup>/Bi : YIG/(TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>)<sup>6</sup> By Magnetic Circular Dichroism Method

Masoud Heidari<sup>1</sup>, Seyedeh Mehri Hamidi<sup>1</sup> and Mohammad Mehdi Tehranchi<sup>1, 2</sup> <sup>1</sup>Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. <sup>2</sup>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  ${}^6A_{Ig}({}^6S) \rightarrow {}^4T_{2g}({}^4G)$  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.

۱–مقدمه

طیفسنجی دورنگی دایروی مغناطیسی' بر پایهی اندازه گیری اختلاف جذب میان نورهای قطبیدهی دایروی راستگرد (RCP)و چپگرد (LCP)می باشد، که توسط یک میدان مغناطیسی قوی موازی با جهت انتشار نور، در نمونه القاء می شود. شدت آن به طور خطی بستگی به انرژی جداشدگی زیمان دارد که این جداشدگی، متناسب با مغناطش ماده می باشد [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 فاصلهی ۱۰میلیمتر میدان ۱۵۰میلی تسلا را ایجاد میکند. نمونه دارای لایهی نقص تسلا را ایجاد میکند. نمونه دارای لایهی نقص 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.

درنهایتبلورمگنتوفوتونی باضخامت۲/۵میکرومتر باساختار

 ${}^{6}$  (TiO<sub>2</sub> /SiO<sub>2</sub>)  ${}^{6}$  /Bi : YIG/ (TiO<sub>2</sub> /SiO<sub>2</sub>) 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 Lab View میشود. که با برنامهی سیر، نور دایروی شدن از یک مدولاتور که با برنامهی مسیر، نور دایروی پس از عبور داده میشود. در ادامهی مسیر، نور دایروی پس از عبور از نمونه، توسط یک عدسی با فاصله کانونی ۱۰سانتی متر کانونی و با فیبر جمع میشود و در نهایت با طیفسنج ثبت میشود. برای محاسبهی دورنگی دایروی مغناطیسی در بازهی ۵۰۰ تا ۲۰۰ نانومتردر شود که 1 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 O<sub>12</sub> [A<sub>2</sub>] [A<sub>2</sub>] هستند که در

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Magnetic circular dichroism (MCD)



شکل(۳)- محاسبهی میدان بلوری ساختار YIG برای مکانهای چهار وجهی(چپ) و هشت وجهی (راست)-نمودار تانابهسوگانو [۸۰].

۲/۴ الکترونولت به ترتیب متناظر با گذارهای T/4 و  $A_{I}({}^{6}S) \rightarrow T_{2}({}^{4}G)$  و  $A_{I}({}^{6}S) \rightarrow T_{I}({}^{4}G)$  از یون  $Fe^{*3}$  در مکان چهاروجهی است[۱۰]. طیف عبوری بلور مگنتوفوتونی برحسب طول موج 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 ۵۹۸، ۵۰۶، ۴۹۸ و ۵۹۶ نانومتر در داخل نوار ممنوعهی فوتونی بین ۴۶۴ و ۵۸۶ نانومتر مشاهده می شود [۱۱]. این جایگزیده شدن نور داخل بلور آن A، C و D کاتیونهایی هستند که قادرند مکانهای شبكه را با مختصات اكسيژن متفاوت اشغال كنند[۵].  $Fe^{+3}$  ساختار گارنت آهن ایتریوم  $(Y_3Fe_5O_{12})$  از دو یون 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 قرار گیری چهار لیگاند در اطراف یک عنصر واسطه، میدان بلور چهاروجهی و به همین منوال قرار گیری شش لیگاند، هشتوجهی و هشت لیگاند دوازدهوجهی گفته می شود. در ساختار YIG آلاییده شده با بیسموت (Bi:YIG)، بیسموت منجر به ایجاد گذار مگنتوایتیکی جدید نمی شود، بلکه تقویت ضریب جذب گذارهای یونهای گارنت غیرآلاییده شده را به همراه دارد. بنابراین طیف جذب اپتیکی از بلور ۲۱G ناشی می شود [۶, ۷]. منشاء جذب در YIG توسط کلگستون<sup>7</sup>، ويكرشيم <sup>7</sup>و لفور<sup>†</sup> بحث شده است. واضح است كه دو نوع گذار وجود دارد که در لبهی جذب ظاهر می شوند. 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 يون فلز مركزي با يك پيك درحوالي ٢/٩ الكترونولت ، که شامل جذبهای خیلی قویتر است[۸]. به هرحال بنظر می رسد که سهم اصلی لبه جذب برای لایه های YIG از اولین باند گسسته در حوالی پیک ۱/۳ الکترونولت است که بعلت گذارهای میدان بلوری آهن (*Fe*<sup>+3</sup>) در مختصات هشتوجهی ایجاد میشود. نتایج این پیش بینی با تئوری ميدان بلوري كه نمودار تانابهسوگانو<sup>6</sup> را بيان ميكند، 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<sup>+3</sup> 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 ( $Fe^{_{+3}}$  در مکان ،  $^{6}A_{_{Ig}}({}^{^{6}}S) \rightarrow ^{4}T_{_{2g}}({}^{^{4}}G)$  با گذار ( هشتوجهی است[۹]. همچنین باند درانرژی ۲ و

- <sup>2</sup> Clogston
- <sup>3</sup> Wickersheim
- <sup>4</sup> Lefever
- <sup>5</sup> Tanabe sugano

۵- منابع

- . Mason, W.R., Magnetic Circular Dichroism Spectroscopy. 2007: Wiley. com.
- .Y Stephens, P., *Magnetic circular dichroism*. Annual Review of Physical Chemistry, 1974. **25**(1): p. 201-232.
- ." 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. 1085 \ \ \ \ . -
- Gilleo, M. and S. Geller, Magnetic and Crystallographic Properties of Substituted Yttrium-Iron Garnet, 3Y\_{2} O\_{3} xM\_{2} {2} O\_{3} (5-x) Fe\_{2} O\_{3}. Physical Review, 1958. 110(1): p. 73.
- 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.
- .<sup>∨</sup> Zenkov, A. and A. Moskvin, *Bismuthinduced increase of the magneto-optical effects in iron garnets: a theoretical analysis.* Journal of Physics: Condensed Matter, 2002. **14**(28): p. 6957.
- .<sup>A</sup> 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.
- .<sup>9</sup> 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.
- . 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.
- 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.

مگنتو فوتونی از طریق افزایش شدت به تقویت گذارهای MCD کمک میکند. منحنی تغییرات دورنگی دایروی مغناطیسی، فارادی طیفی اندازه گیری 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 ، ۵۵۰ ، ۵۸۰ ، ۵۸۰ ، ۵۸۰ ، ۹ ، ۶۱۰ و ۶۸۰ نانومتر از خود پیک نشان می دهد. پیکهای ۵۱۰ و ۵۵۰ نانومتری ناشی از گذار ( $^{6}S) \rightarrow^{4} T_{2}({}^{4}G)$ ؛ و پیکهای ۵۸۰ و ۶۱۰ متناظر با گذار ( $^{6}S) \rightarrow^{4} T_{1}({}^{6}S) \rightarrow^{6}$  است که در محیط چهار وجهی رخ میدهد؛ و طول موج ۶۸۰ ناشی ازانتقال وجهی رخ میدهد؛ و طول موج ۶۸۰ ناشی ازانتقال همچنین از بلور مگنتو فوتونی اندازه گیری فارادی طیفی صورت گرفت که تاییدی بر صحت گذارها و طیف سنجی MCD است.

#### ۴–نتیجهگیری

مطالعـهی گذارهـای بلـور مگنتـوفوتونی یک بعـدی  $(TiO_2/SiO_2)^6 / Bi : YIG/ (TiO_2/SiO_2)^6$ تا ۲۰۰ نانومتری به روش دورنگی دایـروی مغناطیسی  $^6A_1({}^6S) \rightarrow {}^4T_2({}^4G)$  منجر به ثبـت گـذارهای  $({}^6S) \rightarrow {}^4T_2({}^4G)$   $^6A_1({}^6S) \rightarrow {}^4T_2({}^4G)$  و  $^6A_{1g}({}^6S) \rightarrow {}^4T_{2g}({}^4G)$   $^6A_1({}^6S) \rightarrow {}^4T_2({}^6G)$  و  $^6A_{1g}({}^6S) \rightarrow {}^4T_{2g}({}^4G)$  $^6A_1({}^6S) \rightarrow {}^6A_1({}^6S) \rightarrow {}^6A_1({}^6S) \rightarrow {}^6A_1({}^6S)$