بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

# بررسی اثر تقارن ساختاری و مغناطیدگی بر تولید هارمونیک دوم در لایه‌های نازک گارنت

زهرا سادات عزیزی[۱] ، محمد مهدی طهرانچی[۱و۲] ، سیده مهری حمیدی[۱]
[۱]پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
[۲]دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

**چکیده – در این مقاله، جمله‌های غیرخطی مربوط به تقارن بلوری و القای مغناطیسی، برای لایه‌های نازک مغناطیسی گارنت، در اثر تولید هارمونیک دوم (*SHG*) در میدان صفر و با حضور میدان (*MSHG*) بررسی شده اند. ارتباط قطبش غیرخطی و شدت *SHG* با این جملات غیر خطی به صورت تئوری در دیدگاه پدیده شناسی توصیف شده است. اثر تقارن بلوری با ناهمسانگردی چرخشی شدت *SHG* حاصل از نمونه در نتایج تحقیق شد. نتایج تجربی، مطابق با محاسبات تئوری وجود تقارن *3m* را اثبات می‌کند. اثر القای میدان مغناطیسی نیز با تغییر اندازه و جهت میدان اعمالی روی نمونه بررسی شد. از تفاضل شدت *SHG* در دو سوی مخالف میدان اعمالی، مقدار *MSHG* بدست می‌آید.**

کلید واژه- القای مغناطیسی، تقارن نقطه‌ای، تولید هارمونیک دوم، گارنت، هندسه عبوری.

# Effect of crystalline symmetry and external magnetic field on the magnetization induced second harmonic generation in garnet thin film

Zahra Sadat Azizi[1], Mohammad Mehdi Tehranchi[1, 2], Seydeh Mehri Hamidi[1]
[1]Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran
[2]Departman of physics, Shahid Beheshti University, Tehran

Abstract- We demonstrates the presence of nonlinear magnetization-induced terms in magnetically ordered crystals in the second-harmonic generation (SHG) effect. The nonlinear terms have been evidenced experimentally in magnetic garnet film and explained theoretically in the frame of a developed phenomenological model. The rotational anisotropy of the SHG intensity as a function of the azimuthal angle of the film at normal incidence in transmission geometry has been investigated. The effect of the magnetic field induced by changing the strength and direction of the applied magnetic field were analyzed. By residuum of SHG intensity on opposite sides of the applied magnetic field, the MSHG achieved.

Keywords: Garnet, Magnetic induced, Point symmetry, Second harmonic generation, Transmission geometry.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30 ]



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

## ۱- مقدمه

در دو دهه‌ی اخیر، اثرات غیر خطی در برهمکنش پالس-های پر انرژی لیزر با مواد، مورد توجه قرار گرفته اند [۱]. مطالعه اولیه ساختار بلورین، ضرایب پذیرفتاری غیرخطی و بررسی کاربردی خواص سطوح و مرزهای مواد با محک این اثرات محقق می‌شود. از جمله اثرات غیرخطی، تولید هارمونیک دوم[1] (SHG) و تولید هارمونیک دوم القای مغناطیسی[2] (MSHG) است. اثر MSHG، در مطالعه و تصویر برداری از حوزه‌های مغناطیسی و دیواره‌های مغناطیسی به ترتیب در مواد آنتی فرو و فرو مغناطیس استفاده می‌شود. این اثرها در بلورهایی که تقارن مرکزی ندارند مجاز هستند.

پدیده MSHG در مواد گوناگونی بررسی شده است. مطالعه فیلم نازک گارنت، با ساختار بلورین و دامنه پاسخ بالا، نمونه‌ای مناسب برای مطالعه MSHG است. خواص مغناطیسی گارنت بر روی زیرلایه گادلینیوم- گالیوم-گارنت[3] (GGG) شناخته شده است [۲]. از طرفی، به دلیل عدم تطبیق ثواب شبکه بین گارنت و این زیرلایه، تقارن بلوری آن کاهش می‌یابد. کاهش تقارن، در حین رشد لایه گارنت اثر MSHG که در تقارن مکعبی ممنوع است، را در حجم فیلم مجاز می‌نماید. در دیدگاه پدیده شناسی، این اثر برحسب توان دوم میدان الکتریکی (جمله میدان بلوری) و رابطه خطی با مغناطش در بردار قطبش ظاهر می‌شود. بنابر تداخل بین این جمله‌ها، در شدت هارمونیک دوم $I_{2\omega} \propto |\mathbf{P}_{2\omega}|^2$ جمله های خطی و مربعی برحسب $\mathbf{M}$ ظاهر می‌شوند.

در این مقاله، با رویکرد تجربی وجود و نقش این جمله ها در MSHG بررسی می‌شود. برای این منظور از دو چیدمان، که در اولی اثر تغییر زاویه سمتی و در دیگری تغییر میدان اعمالی به لایه نازک، به ترتیب در تولید SHG و MSHG مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

## ۲- مبانی نظری تولید هماهنگ دوم

هارمونیک دوم توسط قطبش غیرخطی درجه دو $\mathbf{P}_{2\omega}^{(2)}$ در فرکانسی دو برابر پرتوی اصلی $\mathbf{E}_\omega$ تولید می‌شود که در تقریب دوقطبی

$$\mathbf{P}_{2\omega}^{(2)} = \chi^{(2)} : \mathbf{E}_\omega \mathbf{E}_\omega, \qquad (۱)$$

است [۲]. در رابطه (۱)، $\chi^{(2)}$ تانسور پذیرفتاری مرتبه دوم است. در مواد مغناطیسی این تانسور تابعی از بردار مغناطش می‌شود. در دیدگاه پدیده شناسی، می‌توان این تانسور را بر حسب سری توانی $\mathbf{M}$ به صورت

$$\chi^{(2)} = \chi^{(2,0)} + \chi^{(2,1)}.\mathbf{M} + \ldots \qquad (۲)$$

بسط داد. در رابطه‌ی فوق $\chi^{(2,0)}$ و $\chi^{(2,1)}$ به ترتیب بخش بلورین غیر مغناطیسی و مغناطیسی پذیرفتاری را توصیف می‌کنند. خواص تقارنی و درایه‌های غیر صفر تانسورهای $\chi^{(2,0)}$ و $\chi^{(2,1)}$ مستقیما توسط گروه تقارنی بلوری تعیین می‌شوند.

تقارن نمونه لایه نازک گارنت، با گروه تقارن نقطه‌ای 3m ($C_{3v}$) مشخص می‌شود که متناظر با سمت گیری لایه در راستای (۱۱۱) است. در این تقارن، دو عملگر باید در نظر گرفته شوند: بازتابش آینه ای از صفحه شامل y و z و چرخش ۱۲۰ درجه حول محور [۱۱۱]. بردارهای $\mathbf{E}$ و $\mathbf{P}_{2\omega}$ تحت عملگر بازتاب آینه‌ای به صورت بردارهای قطبی و $\mathbf{M}$ مانند بردار محوری تبدیل می‌شوند. به این علت، تعداد عناصر مستقل تانسور پذیرفتاری کاهش می-یابند. در هندسه‌ی عبوری و به ازای میدان مغناطیسی عرضی طبق محاسبات قبلی، عناصر موجود در دو تانسور در دست است[۲]. در هندسه‌ی عرضی، اثر چرخش فارادی خطی وجود ندارد بنابراین شدت هماهنگ دوم برای لایه با جهت گیری (۱۱۱) را می‌توان به این صورت

$$I_{PP}(2\omega,\phi) = E_P^4(\chi_{xxx}^{(2,0)} \cos^2 3\phi + \chi_{yyy}^{(2,0)} M^2 + 2\chi_{xyx}^{(2,0)} M \cos 3\phi) \qquad (۳)$$

نوشت. در رابطه‌ی (۳) نوع وابستگی شدت هارمونیک دوم به زاویه سمتی و مغناطش عرضی در نمونه نشان داده شده است.

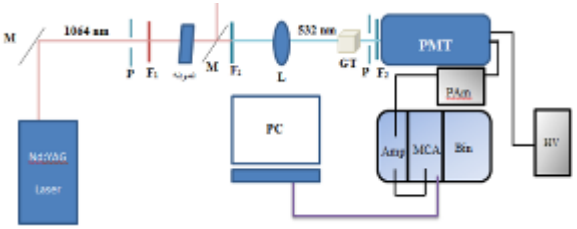
[1] Second harmonic generation
[2] Magnetic induced second harmonic generation
[3] gadolinium-gallium-garnet



[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30 ]

## ۳- روش آزمایش

شمای کلی چیدمان تجربی به کار رفته در آزمایش ها، در (شکل ۱) آمده است.




شکل ۱: شمای کلی از چیدمان تجربی (M: آینه با بازتابندگی بالای ۱۰۶۴ نانو متر، L: لنز، P: حفره دریچه، F1: فیلتر میان گذر ۱۰۶۴نانومتر، F2: فیلتر میان گذر ۵۳۲ نانومتر، GT: منشور گلن-تیلور، PMT: آشکار ساز، HV: منبع ولتاژ بالا، PAm: پیش تقویت کننده، Amp: تقویت کننده، MCA: تحلیلگر چند کاناله، PC: رایانه).

نمونه لایه نازک گارنت در چیدمان اول و دوم به ترتیب در نگهدارنده چرخان (چرخش حول محور z) و بین کویل های مغناطیسی قرار دارد. در هردو چیدمان، آزمایش در دمای اتاق ( $T = 295K$ ) و در هندسه‌ی عبوری و تابش عمودی (شکل ۱) قرار می‌گیرد. باریکه لیزر با طول موج ۱۰۶۴ نانومتر، انرژی ۳۰میلی ژول بر واحد پالس، عرض پالس ۴-۶ نانو ثانیه، فرکانس تکرار ۱۰ هرتز با قطبیدگی P پس از بازتاب از یک آینه در راستای محور z دستگاه مختصات آزمایشگاه منتشر می‌شود. پس از آن از حفره‌ی با قطر ۱ سانتی متر و فیلتر ۱۰۶۴ نانومتری عبور کرده و به صورت عمودی به سطح نمونه می‌رسد. پس از نمونه، به کمک آینه بازتابنده ۱۰۶۴ نانومتری در زاویه ۴۵ درجه و دو عدد فیلتر ۵۳۲ نانومتری، طول موج اصلی ۱۰۶۴نانومتری از مسیر دریچه PMT حذف می‌شود. پرتوی هارمونیک دوم، ۵۳۲ نانومتری (رنگ سبز در شکل ۱) پس از عبور از لنز و آنالیزور (منشور گلن- تیلور) با قطبیدگی P وارد پنجره اشکارساز می‌شود. در نهایت، داده‌های هماهنگ دوم توسط سیستم پردازش داده‌ها بدست آمده و به صورت دیجیتالی ذخیره می‌شوند.

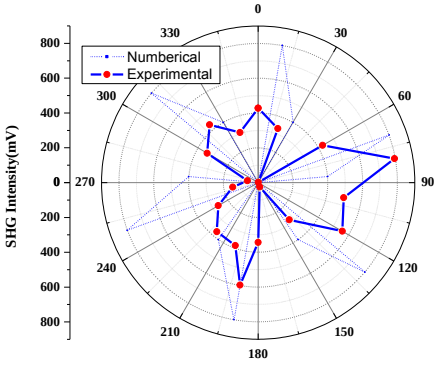
در چیدمان اول، به منظور بررسی ناهمسانگردی بلوری، گارنت را حول محور z می‌چرخانیم و در زوایای سمتی مختلف $\phi$ آزمایش انجام می‌شود. در چیدمان دوم، نمونه گارنت را در میدان مغناطیسی عرضی (محور y) قرار داده و با تغییر شدت جریان سیم پیچ، اثر جابه‌جایی میدان اعمالی به نمونه بر تولید هارمونیک دوم بررسی می‌شود.

## ۴- نتایج و بحث

### ۴-۱- چیدمان مربوط به ناهمسانگردی بلورین

در بررسی نتایج تجربی بدست آمده در حالت غیرمغناطیسی چیدمان اول، بستگی زاویه‌ای تولید هارمونیک دوم در لایه نازک گارنت با تقارن (۱۱۱) تحقیق می‌شود. در شکل ۲ نمودار حاصل از چرخش ۰تا ۳۶۰ درجه‌ای زاویه‌ی سمتی نمونه لایه نازک، در حالتی که داده ورودی و خروجی قطبش P دارند، در کنار نتیجه حاصل از تئوری (رابطه (۳)) ارائه شده است.

باتوجه به رابطه شدت SHG، شدت هماهنگ دوم دارای تناوب ۶۰ درجه ای برای نمونه مورد نظر است، که وجود آن در داده‌های تجربی شاهدی بر (۱۱۱) بودن جهت-گیری لایه‌ی نازک است.




شکل ۲. نمودار وابستگی شدت SHG در میدان **H** صفر به زاویه سمتی نمونه گارنت در ترکیب قطبش ورودی و خروجی P. نمودار نقطه چین حاصل از پیش بینی تئوری این نتایج است.

توافق نسبتا خوبی بین داده‌های تجربی و محاسبات تئوری وجود دارد. همچنین این نتایج با گزارش گروه‌های دیگر [۴] بر روی گارنت‌ای مشابه همسان است.

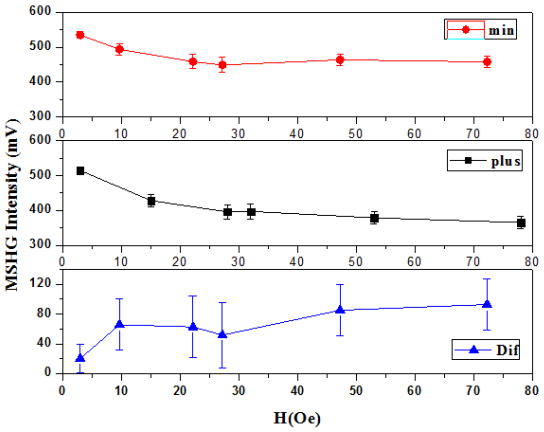
### ۴-۲- اندازه گیری MSHG

در چیدمان دوم، تحت یک زاویه سمتی مشخص، به بررسی تاثیر میدان مغناطیسی در شدت و تولید هارمونیک دوم پرداخته شد. شکل ۳ نمودار حاصل از SHG برحسب تغییر میدان مغناطیسی بر روی نمونه آورده شده است. برای بدست آوردن این اثر خالص، شدت SHG را به ازای مقادیر گسسته‌ای از میدان مغناطیسی در



[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30 ]

دو جهت مختلف در راستای عرضی ثبت سپس تفاضل مقادیر بدست آمده، به عنوان شدت حاصل از ترم مغناطیسی (MSHG) با درنظر گرفتن خطای ثبت داده محاسبه شده است.




شکل ۳: نمودار تغییرات شدت SHG در میدان مغناطیسی منفی (نمودار قرمز)، میدان مغناطیسی مثبت (نمودار مشکی) و تفاضل این مقادیر به ازای میدان مغناطیسی (نمودار آبی) در هندسه عبوری و به ازای قطبش فرودی و عبوری P.

همانطور که مشاهده می‌شود تاثیر میدان مغناطیسی و عبارات متناظر با آن در رابطه شدت (مطابق با رابطه (۳)) به دلیل کوچکی ضرایب غیر قطری تانسور پذیرفتاری، درصد کوچکی از SHG کل را تشکیل می‌دهند. در شکل ۳، تفاضل شدت‌ها مطابق با ملاحظات تئوری با مغناطش رابطه خطی دارد و در اینجا، نتایج تجربی با افزایش میزان میدان مغناطیسی اعمالی MSHG افزایش می‌یابد.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، با دو رویکرد تجربی مختلف، شدت SHG و MSHG در نمونه های بدون مرکز تقارن گارنت بررسی شدند. نشان داده شد، شدت SHG خروجی در نمونه مغناطیسی لایه نازک گارنت با آرایش بلوری و جهت گیری صفحه (۱۱۱)، نسبت به دوران زاویه سمتی (مطابق با پیش بینی محاسبات تئوری)، تناوب ۶۰ درجه ای دارد. با ارایه چیدمان و تحلیل داده مناسب، ثبت و جداسازی اثر ضعیف القای مغناطیسی در شدت SHG میسر گردید. از ثبت MSHG در تحلیل خواص مغناطیسی مواد استفاده می‌شود.

## سپاسگزاری

از حمایت و راهنمایی‌های جناب دکتر رضا مسعودی و همکاران ایشان در آزمایشگاه سپاسگذاری می‌کنیم.

## مراجع

[۱]

[1] Fiebig M., Pavlov V. V., Pisarev R. V. , *Fundamentals of Carrier Transport* **J. Opt. Soc. Am. B** 22, (2005) 96.

[2] Dolgova T. V., Fedyanin A. A., Aktsipetrov O. A., Nishimura K., Uchida H., *Nonlinear magneto-optical Kerr effect in garnet magnetophotonic crystals*, **J. Appl. Phys.** 95, (2004)7330-7332.

[۳] بحرینی مریم.، حمیدی سیده مهری.، طهرانچی محمد مهدی، *تولید هماهنگ‌های دوم از لایه‌ی مگنتو اپتیکی بیسموت گارنت*، پانزدهمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران، ۱۳۸۷.

[4] Bonda A., Uba S., Uba L., *Nonlinear magnetization-induced terms in garnet film polarization in the second-harmonic generation effect: Theory and experiment*, **Phys. Rev. B** 87, (2013) 024426.



[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-10-30 ]