

اندازه‌گیری ضریب شکست غیر خطی دی‌اسید مزو-تترافنیل‌پورفیرین با تری-فلوئورواستیک اسید با دو روش تداخل سنجی و روش ماره در پیکربندی سه توری در آرایش پمپ-کاوه

فرشته سخا^۱، آیدا قنبلانی مجرد^۲، محمد یگانه^۱، سعید زکوی^۲ و سیفاله رسولی^۳

- ۱- دانشکده فیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان
- ۲- دانشکده شیمی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان
- ۳- مرکز پژوهشی اپتیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان

چکیده- در این تحقیق با استفاده از دو روش تداخل سنجی دو توری و تکنیک ماره در پیکربندی سه توری، ضریب شکست غیر خطی دی‌اسید مزو-تترافنیل‌پورفیرین با تری‌فلوئورواستیک اسید در حالت محلول محاسبه شد. به منظور بررسی اثر غلظت نمونه، آزمایش‌ها برای سه غلظت مختلف در حضور عدسی گرمایی القاء شده با ثابت نگه داشتن سایر عوامل چون شدت باریکه‌ی لیزر پمپ انجام شد. برای اطمینان یافتن از صحت نتایج از دو روش برای ثبت و تحلیل داده‌ها استفاده شده است؛ روش اول روش تداخل سنجی دو توری و تحلیل فوریه است که از دقت بالایی برخوردار است و روش دوم، تکنیک ماره با پیکربندی سه توری و تحلیل جابه‌جایی فاز فضایی با چهار گام است. نتایج به دست آمده از دو روش هم‌خوانی خوبی باهم داشتند.

کلیدواژه- ضریب شکست غیر خطی، عدسی گرمایی، تداخل سنجی دو توری، آرایش پمپ- پروب، جابه‌جایی فضایی فاز، تکنیک ماره.

Nonlinear refractive index measuring of the dication of meso-tetraphenylporphyrin with trifluoroacetic acid using double gratings interferometer and triple gratings moiré technique in pump-probe configuration

Fereshteh Sakha¹, Aida Ghanbelani Mojarrad², Mohammad Yeganeh¹, Saeed Zakavi² and Saifollah Rasouli^{1,3}

- 1- Department of Physics, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran,
- 2- Department of Chemistry, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran,
- 3- Optics Research Center, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran.

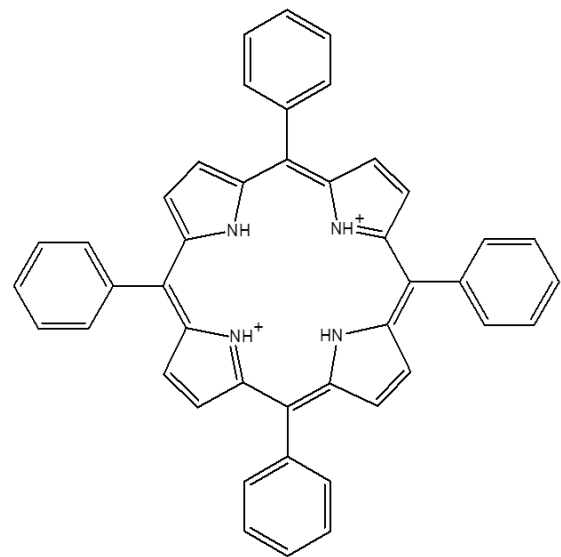
Abstract- In this study, nonlinear refractive index of the dication of meso-tetraphenylporphyrin with trifluoroacetic acid was measured in solution using double gratings interferometer and triple gratings moiré techniques. Different concentrations of the diacid were used in the presence of a thermal lens induced in the fluid to investigate the effect of concentration on the nonlinear refractive index of the diacid by fixing other parameters such as the laser beam intensity. For ensuring the accuracy of the results, two methods were used for data recording and analysis; the first method is double gratings interferometer and Fourier transform analysis with high accuracy and the second method is triple gratings moiré technique and four-section spatial phase shifting. The results of both methods were in good agreement with each other.

Keywords: nonlinear refractive index, thermal lens, double gratings interferometer, pump-probe configuration, spatial phase shifting.

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

۱- مقدمه

پورفیرین‌ها و متالوپورفیرین‌ها دسته‌ای از کروموفورهای طبیعی بوده که دارای انواعی از نقش‌های مهم در سیستم‌های بیولوژیکی می‌باشند. ساختار به شدت آروماتیک اسکلت پورفین منجر به خصوصیات منحصر به فرد الکترونی و اپتیکی در این دسته از ترکیبات می‌شود [۱ و ۲]. بررسی عملکرد نوری غیرخطی پورفیرین‌ها و نیز گونه‌های شبه-پورفیرینی و کمپلکس‌های فلزی مربوطه، به جهت کاربرد وسیعشان در ساخت ابزارهای نوری از قبیل سویچ‌ها، محدودکننده‌ها و حافظه‌های نوری، توجه زیادی را به خود معطوف نموده است [۳ و ۴]. در این گزارش، رفتار نوری غیرخطی گونه‌ی دی‌اسیدمزو-تترافنیل‌پورفیرین با فرمول شیمیایی $H_4TPP(CF_3COO)_2$ که ساختار مولکولی آن در شکل ۱ نشان داده شده است در حلال دی‌کلرواتان بررسی می‌شود.



شکل ۱: ساختار مولکولی گونه‌ی دی‌اسید پورفیرین

۲- مبانی نظری

هنگامی که باریکه‌ی لیزر پمپ با طول‌موج مشخصی به نمونه‌ی مورد نظر می‌تابد، نمونه قسمتی از انرژی مورد نظر را جذب کرده و گرم می‌شود و ضریب‌شکست محیط را تغییر می‌دهد. از آنجایی که باریکه‌ی لیزر پمپ دارای توزیع شدت گوسی است، تغییرات ضریب‌شکست نیز به‌صورت شعاعی خواهد بود. وابستگی شعاعی تغییرات ضریب‌شکست در نزدیک محور باریکه با رابطه‌ی زیر داده

می‌شود:

$$\begin{cases} n(\rho) = n_0 + \Delta n(\rho), \\ \Delta n(\rho) = n_2 I(\rho) = n_2 \frac{2P}{\pi w^2} \exp\left(-\frac{2\rho^2}{w^2}\right), \end{cases} \quad (1)$$

در این رابطه P توان کل باریکه‌ی پمپ و w شعاع آن در محل نمونه، ρ مختصه‌ی شعاعی، n_0 ضریب‌شکست خطی، n_2 ضریب‌شکست غیر خطی، $I(\rho)$ توزیع شدت باریکه‌ی لیزر پمپ و $\Delta n(\rho)$ تغییرات فضایی ضریب‌شکست القایی به‌واسطه‌ی تشکیل عدسی گرمایی است. حال می‌توانیم فاز الحاقی را به‌شکل زیر بنویسیم:

$$\begin{cases} \varphi(\rho) = n_0 k l + \Delta\varphi(\rho), \\ \Delta\varphi(\rho) = n_2 k l I(\rho), \end{cases} \quad (2)$$

در اینجا l ضخامت نمونه و k ثابت انتشار باریکه‌ی لیزر پروب است. بنابراین، برای محاسبه‌ی ضریب‌شکست غیرخطی، تغییرات ضریب‌شکست از روی تغییرات فاز حساب می‌شود. به‌واسطه‌ی اینکه باریکه‌ی پمپ دارای نمایه‌ی گاوسی است، تغییرات فاز و ضریب‌شکست نیز نمایه‌ی گاوسی خواهند داشت. طبق رابطه‌ی (۲)، با برآزش یک تابع گوسی بر نمودار تغییرات ضریب‌شکست، ضریب‌شکست غیر خطی به‌دست خواهد آمد.

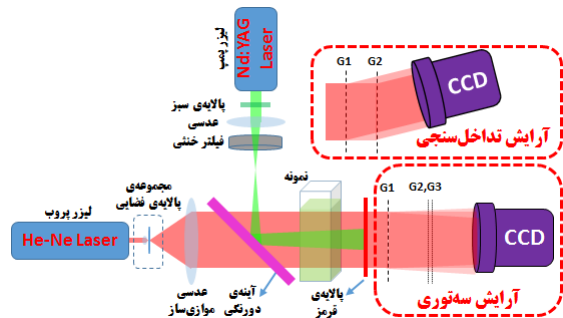
در این کار ما برای به‌دست آوردن فاز از دو روش مختلف استفاده می‌کنیم. در روش اول از تکنیک ماره و الگوریتم جابه‌جایی فاز چهار مرحله‌ای استفاده می‌شود [۵]. در این روش فاز از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$\varphi = \tan^{-1} \left[\left(\frac{-I_0 - I_2 + I_3 + I_5}{I_0 - I_2 - I_3 + I_5} \right) \tan \xi \right] \quad (3)$$

در این رابطه ξ مقدار جابه‌جایی فاز بین طرح‌های مختلف فریزهای ماره است و I ها توزیع شدت مربوط به هر کدام از آنها است.

در روش دوم از تداخل سنجی و تحلیل فوریه که توسط رسولی و همکارانش ارائه شده و از دقت بالایی برخوردار است استفاده می‌کنیم [۶]. در هر دو روش، مقادیر توزیع فاز دو بار حساب می‌شود: یک بار قبل از روشن شدن باریکه‌ی لیزر پمپ و یک بار پس از روشن شدن آن.

خطوط توری G1 نسبت به خطوط توری های G2 و G3 با زاویه تقریبی ۹۰ درجه قرار گرفته است. هر سه توری مشابه هستند و گام یکسانی دارند. توری های G2 و G3 که زاویه بسیار کوچکی نسبت به هم دارند و در فاصله نیم تالیوت از هم قرار گرفته اند، وظیفه تولید الگوهای ماره را بر عهده دارند. نقش توری G1، تکثیر طرح های تداخلی تولید شده به وسیله توری های G2 و G3 است. بدین ترتیب، ما یک آرایه ۳×۳ از طرح های تداخلی خواهیم داشت که در شکل ۳ آورده ایم. چهار عدد از این طرح ها که در گوشه ها قرار گرفته اند، اختلاف فازی به اندازه $\pi/2$ نسبت به یکدیگر دارند [۷]. بنابراین با استفاده از الگوریتم جابه جایی فاز چهار مرحله ای، طبق رابطه (۳) می توانیم فاز مربوط به جبهه موج عبوری از نمونه را به دست آوریم.



شکل ۱: چینش آزمایشگاهی برای اندازه گیری توزیع فاز به دو روش تداخل سنجی و آرایش سه توری؛ G نماد توری هاست.

۴- نتایج تجربی

در این کار ماده دی اسید مزو-تترافنیل پورفیرین را معرفی، و ضریب شکست غیر خطی آن را برای چهار غلظت مختلف 10^{-3} ، 5×10^{-4} ، 10^{-4} و 5×10^{-5} مولار به دست آوردیم. در آزمایش تداخل سنجی، شعاع و توان باریکه لیزر پمپ در محل نمونه با استفاده از دستگاه BeamMaster ساخت Coherent مدل BM-7 اندازه گیری کردیم که به ترتیب ۵۰۷ میکرومتر و ۵/۳ میلی وات به دست آمد. در آزمایش سه توری، شعاع و توان باریکه لیزر پمپ در محل نمونه، به ترتیب ۶۰۲ میکرومتر و ۵/۱ میلی وات بود. این تفاوت به خاطر ناپایداری های جزئی ناشی از لیزر پمپ بود.

سپس با کم کردن این دو توزیع فاز از یکدیگر، توزیع فاز مربوط به عدسی گرمایی به دست می آید.

۳- شرح آزمایش

شکل ۱، طرحی از چیدمان آزمایش را نشان می دهد. از لیزر Nd:YAG با توان ۵۰ میلی وات برای ایجاد تغییرات ضریب شکست در نمونه استفاده می شود (باریکه ی پمپ). به دلیل اینکه طول موج ۵۳۲ نانومتر این لیزر در منطقه ی جذبی نمونه قرار می گیرد، از یک فیلتر سبز برای حذف طول موج ۱۰۶۴ این لیزر استفاده می کنیم. برای افزایش قطر باریکه ی پمپ در محل نمونه، از یک عدسی همگرا با فاصله ی کانونی ۳۰ سانتی متر استفاده می کنیم. همچنین یک پالایه ی شدت را برای تغییر شدت باریکه ی پمپ در مسیر آن قرار می دهیم. باریکه ی پمپ پس از بازتاب از آینه از میان نمونه عبور کرده و به وسیله فیلتر قرمز، جذب می شود. باریکه ی لیزر هلیوم-نئون به عنوان باریکه ی پروب با توان ۳ میلی وات و طول موج ۶۳۲/۸ نانومتر پس از عبور از پالایه ی فضایی، پهن و به وسیله ی یک عدسی با فاصله ی کانونی ۳۰ سانتی متر موازی می شود. این باریکه پس از آن از یک آینه ی دورنگی که نسبت به راستای انتشار باریکه با زاویه ی ۴۵ درجه قرار گرفته است عبور کرده و به سل شفاف حاوی نمونه به ضخامت ۲ میلی متر می رسد. باریکه ی پروب پس از عبور از نمونه، در چیدمان تداخل سنجی دو توری، به توری G1 با فرکانس فضایی ۱۰۰ خط بر میلی متر رسیده و پراشیده می شود. مرتبه های صفر، ۱ و ۱- پراش از توری اول به توری G2 که مشابه توری اول بوده و در فاصله ی ۴ سانتیمتری از آن قرار گرفته و زاویه ی کوچکی نسبت به آن دارد رسیده و هرکدام دوباره پراشیده می شوند. در نهایت تداخلی که بین باریکه ای که متعلق به مرتبه ی منهای یک پراش توری اول و صفر توری دوم و باریکه ی دیگر، یعنی مرتبه ی صفر پراش از توری اول و منهای یک پراش از توری دوم است را بررسی می کنیم. نمونه ای از فریزها را در شکل ۲ آورده ایم.

در روش دوم نیز همان آرایش پمپ- پروب وجود دارد، با این تفاوت که به جای توری های پراشی صد خط بر میلی متر، از سه توری پانزده خط بر میلی متر استفاده می کنیم که در همان شکل ۱ نشان داده شده است.

الگوهای ثبت شده توسط روش تداخل سنجی و سه توری، به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نمایش داده شده است. همچنین در شکل ۴ نمودار تغییرات فضایی ضریب شکست در غلظت‌های مختلف با استفاده از دو روش یاد شده رسم شده است.

جدول ۱: ضرایب شکست غیرخطی به دست آمده در غلظت‌های مختلف با دو روش مختلف اندازه‌گیری

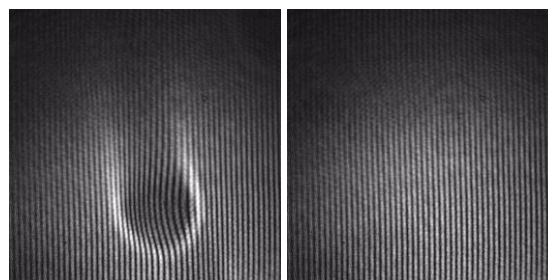
غلظت (مولار)		1×10^{-2}	5×10^{-2}	1×10^{-1}	5×10^{-1}
n ₂ (cm ² /W)	تداخل سنجی	$4/86 \times 10^{-4}$	$3/96 \times 10^{-4}$	$1/33 \times 10^{-4}$	$7/04 \times 10^{-5}$
	سه توری	$5/52 \times 10^{-4}$	$4/16 \times 10^{-4}$	$1/01 \times 10^{-4}$	$5/95 \times 10^{-5}$

۵- نتیجه‌گیری

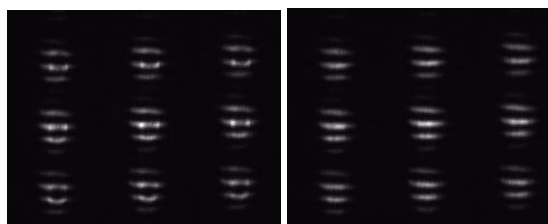
در این کار تجربی، ما یک ماده‌ی جدیدی با ضریب غیرخطی بالای گرمایی را معرفی، و این کمیت را برای غلظت‌های مختلف از محلول این ماده با دو روش مختلف تداخل سنجی دو توری با تحلیل فوریه و نیز تکنیک ماره پیکر بندی سه توری اندازه‌گیری کردیم. همان‌طور که نتایج نشان داد، رفتار غیر خطی در این نمونه مشاهده شد و مقادیر به دست آمده از هر دو روش، تطابق نسبتاً خوبی با هم داشتند.

مراجع

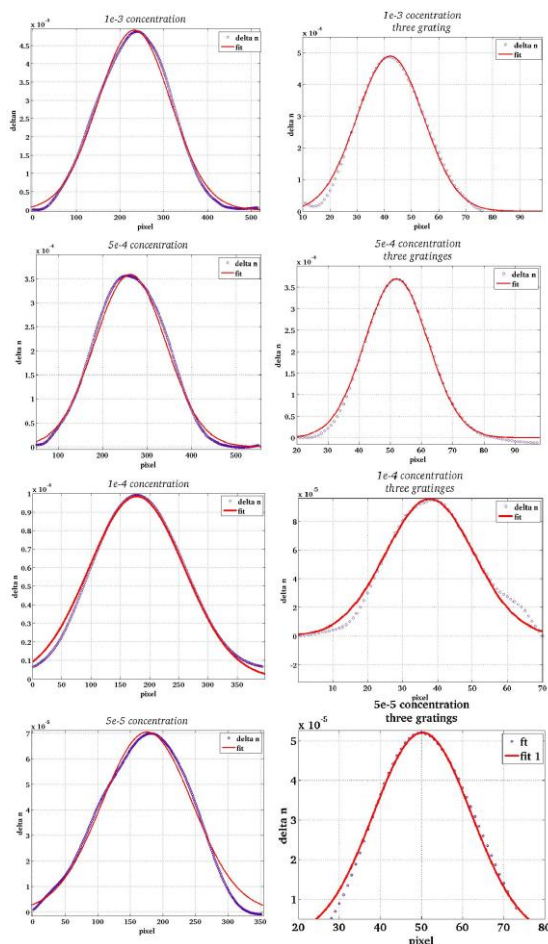
- [1] Nalwa, Hari Singh, and Seizo Miyata, *Nonlinear optics of organic molecules and polymers*, CRC press, 1996.
- [2] Prasad, Paras N., and David J. Williams, *Introduction to nonlinear optical effects in molecules and polymers*, New York etc.: Wiley, 1991.
- [3] A. Krivokapic, H. L. Anderson, G. Bourhill, R. Ives, S. Clark and K. J. McEwan. "Meso-Tetra-Alkynyl Porphyrins for Optical Limiting-A Survey of Group III and IV Metal Complexes", *Adv. Mater.*, Vol. 13, No. 9, pp. 652-656, 2001.
- [4] Barbosa Neto, N. M., L. De Boni, C. R. Mendonça, L. Misoguti, S. L. Queiroz, L. R. Dinelli, A. A. Batista, and S. C. Zílio, "Nonlinear absorption dynamics in tetrapyrrolyl metalloporphyrins", *J. Phys. Chem. B*, Vol. 109, No. 36, pp. 17340-45, 2005.
- [5] Song, Yang, Yunyun Chen, Jia Wang, Nan Sun, and Anzhi He. "Four-step spatial phase-shifting shearing interferometry from moiré configuration by triple gratings", *Optics letters* Vol. 37, No. 11, pp. 1922-24, 2012.
- [6] Saifollah Rasouli, and Mahnaz Ghorbani. "Nonlinear refractive index measuring using a double-grating interferometer in pump-probe configuration and Fourier transform analysis", *J. Opt.*, Vol. 14, No. 3, pp. 035203, 2012.



شکل ۲: نمونه‌ای از فریزهای تداخلی؛ راست: در غیاب پرتو پمپ و چپ: در حضور پرتو پمپ.



شکل ۳: نمونه‌ای از فریزهای ماره‌ی تکثیر شده؛ راست: در غیاب پرتو پمپ و چپ: در حضور پرتو پمپ.



شکل ۴: نمودارهای تغییرات فضایی ضریب شکست به‌ازای غلظت‌های مختلف؛ نمودارهای سمت راست مربوط به روش سه توری و سمت چپ مربوط به تداخل سنجی است.