بررسی تغییرات الگوی ماره و محاسبه ضریب شکست غیرخطی محلول آزو دای

شمیم پیروزفر، سمیه سلمانی*

آزمایشگاه فوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

چکیده –در این مقاله،تغییرات الگوی ماره با قرار دادن نمونه غیرخطی*Disperse Orange 25* مورد مطالعه قرار گرفت.با تحلیل دقیق تابع توزیع شدت فریزهای ماره ، چرخش الگوی ماره به اندازه ۰،۰۰۱۷ رادیان نسبت به حالت خطی توسط نرم افزار متلب تحلیل گردید.همچنین با این روش ضریب شکست غیرخطی نمونه را برای غلظت یک میلی مولار از مرتبه $10^{-11}\frac{cm^2}{W}$ بدست آوردیم.

کلید واژه-انحراف سنج ماره،توری پراش عبوری،ضریب شکست غیرخطی، محلول Disperse Orange 25

Analyzing moiré pattern for calculating nonlinear refractive index in an Azo dye

Shamim Pirouzfar, Somayeh Salmani*

Photonics lab, Department of Physics, Kharazmi University, Tehran, Iran

Abstract- In this paper, the change of moiré pattern by a nonlinear sample (Disperse Orange 25) has been studied. By analyzing the intensity distribution graph of moiré pattern, in MATLAB software, a microscopic rotation of 0.0017radian was measured respect to linear regime. Furthermore we have calculated the nonlinear refractive index of $10^{-11}\frac{\mathrm{cm}^2}{\mathrm{W}}$order for 1mM concentration of sample by this method.

Keywords: Moiré deflectometer, diffraction gratings, Disperse Orange 25, nonlinear refractive index

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

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

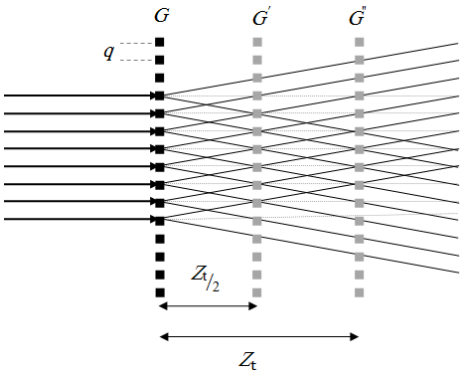
۱- مقدمه

در میان مواد با خاصیت اپتیک غیرخطی، ترکیب های آلی بخاطر امکان پیوستن به مولکول های آلی دیگر، تهیه آسان، انعطاف پذیری مکانیکی و قیمت پایین توجه زیادی را به خود جلب کرده اند[۱]. همچنین مواد آلی کاربرد های فوتونیکی زیادی در سوئیچ های اپتیکی و مدولاتور های اپتیکی دارند[۳-۲]. اخیراً آزو دای ها که به عنوان مواد رنگ افزا دسته بندی شده اند،به دلیل رفتار (opto-optical) خود بسیار شناخته شده اند، همچنین به دلیل ترکیب ساده، ضریب برانگیختگی مولی بالا و ثبات رطوبت کاربردهای زیادی دارد[٤]. در مواد آزو دای بخاطر ایزومر های سیس-ترانس در مولکول های دای، خواص اپتیکی غیرخطی زیادی بوجود می آید که ممکن است بصورت تغییرات ضریب شکست مشاهده شود. همپارش ساختار مولکول های آزو دای را تغییر می دهد بطوری که خواص ماکروسکوپی خطی و غیر خطی آن به راحتی تغییر می کند[۵]. DO25، یک آزو دای با ساختار شیمیایی پایدار و گشتاور دو قطبی زیاد است، بنابراین پاسخ غیرخطی بارزی در این ماده دیده می شود[۶].در این مقاله با استفاده از تکنیک انحراف سنجی ماره مقدار ضریب شکست غیرخطی ماده DO25 محلول در دی کلرومتان را بدست آوردیم.

تئوری

هرگاه یک توری توسط تابش عمودی یک دسته پرتو لیزر روشن شود، توزیع شدت هایی با ساختار مشابه با توری اولیه در صفحاتی موازی با آن در فواصل ثابت و معینی تشکیل می شوند که به آن ها خود-تصویر می گویند.این اثر پدیده تالبوت نام دارد و با نظریه پراش فرنل قابل توجیح است[۷]. طبق شکل(۱) به Z_t فاصله تالبوت می گویند.در این مقاله ما با قرار دادن یک توری فیزیکی مشابه با توری اولیه در یکی از صفحات تالبوت شاهد ایجاد فریز های ماره بوده ایم.برای بدست آوردن فاصله ی صفحات تالبوت ابتدا از رابطه ی پراش از توری برای تابش های عمودی($\vartheta_i=0$) استفاده می کنیم:

$$q \sin\theta_m = m\lambda \quad (۱)$$



شکل ۱: پراش باریکه عمود برتوری با گام q و همپوشانی مرتبه های اول برای G',G'' تشکیل خود-تصویرهای

که در آن qگام توری و ϑ_m زاویه پراش مرتبه m است.برای $q > \lambda$زاویه پراش کوچک خواهد بود.

$$\theta_{m=1} = \lambda/q \quad (۲)$$

مقدار جابجایی عرضی جایی که مرتب های مختلف پراش باهم همپوشانی می کنند(در فاصله z از توری) از امتداد مستقیم پرتو لیزر برابر است با :

$$\Delta = Z_t \tan(\theta) \approx Z_t \lambda/q \quad (۳)$$

هرگاه این مقدار جابجایی مضرب صحیحی (n) از گام توری باشد،توری نوری(خود تصویر) مشابه با توری اولیه ایجاد می شود،بنابراین فاصله تالبوت از رابطه زیر بدست می آید[۸]:

$$Z_t = n q^2/\lambda \quad (۴)$$

محاسبه ضریب شکست نمونه

پرتو لیزر تابیده شده به نمونه به دلیل تغییرات ضریب شکست نمونه ناشی از وابستگی ضریب شکست آن به شدت تابش، دچار انحراف شده که منجر به تغییرات خودتصویر توری می شود، در نتیجه چرخشی ناچیز را در نوار های ماره ایجاد می کند[۹].وابستگی ضریب شکست به شدت پرتو لیزر را می توان در رابطه ی زیر دید:

$$n(r, z) = n_0 + n_2 I(r, z) = n_0 + \Delta n(r, z) \quad (۵)$$

که n_0 ضریب شکست خطی و $I(r, z)$ شدت پرتو لیزر درون نمونه و$\Delta n(r, z)$ تغییرات ضریب شکست القا شده توسط نور است.شدت تابش با فرض گاوسی بودن پرتو منتشر شده

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

در راستای z بصورت زیر می باشد:

$$I(r,z) = I_0 \frac{\omega_0^2}{\omega^2(z)}\left[1 - \frac{2r^2}{\omega^2(z)}\right] \quad (۶)$$

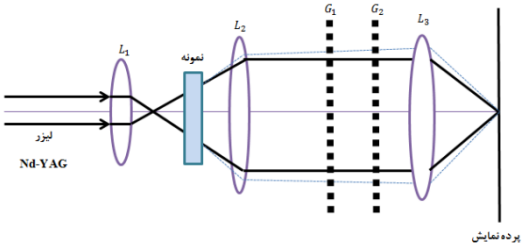
که $I_0 = 2p_{in}/\pi\omega_0^2$ و $\omega(z)$ پهنای باریکه لیزر و ω_0 کمره ی باریکه وr فاصله شعاعی از محور اپتیکی می باشد. تغییرات ضریب شکست یک پرتو گاوسی را می توان بصورت زیر نوشت:

$$\Delta n(r,z) = n_2 I_0 \frac{\omega_0^2}{\omega^2(z)} - \frac{2n_2 I_0 \omega_0^2}{\omega^4(z)} r^2 \quad (۷)$$

با تقریب نمونه غیرخطی با ضخامت نازک (d) به یک عدسی کروی نازک با یک طول کانونی موثر f_{eff}، وابستگی طول کانونی موثر القا شده به توان لیزر فرودی و شدت پرتو در نمونه با رابطه زیر بیان می شود:

$$f_{eff} = \frac{\pi\omega^4(z)}{8dn_2p_{in}} = f_{eff}(0)\left[1 + \frac{z^2}{z_0^2}\right]^2 \quad (۸)$$

که $f_{eff}(0)$ طول کانونی موثر القا شده در کانون می باشد و p_{in} توان ورودی به نمونه می باشد[۱۰].



شکل ۲ : طرحواره ای اپتیکی برای اندازه گیری ضریب شکست غیرخطی با استفاده از تکنیک ماره

زاویه انحراف پرتو لیزر پس از برخورد به نمونه غیرخطی را می توان با استفاده از ماتریس تبدیل T_{ij} نوشت بطوریکه پارامتر های پرتو ورودی $r_0=\omega_{01}, \varphi_0=0$ و پارامتر های پرتوی خروجی بعد از عدسی دوم L_2 (در شکل۲) چنین است:

$$r = T_{11}\omega_{01} \quad , \quad \phi = T_{21}\omega_{01} \quad (۹)$$

ماتریس تبدیل برای فضای آزاد و عدسی ها به شکل زیر است:

$$\begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{-1}{f_2} & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & f_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{-1}{f_{eff}(z)} & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & f_1 + z \\ 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{-1}{f_1} & 1 \end{bmatrix} \quad (۱۰)$$

با استفاده از روابط بالا زاویه ی انحراف پرتو لیزر بصورت زیر بدست می آید:

$$\varphi(z) = \frac{z^2}{f_2[f_2 z - f_2 f_{eff}(z) - z^2]}\, r \quad (۱۱)$$

انحراف پرتو توسط نمونه باعث تغییر نوار های ماره می شود که این تغییرات با رابطه زیر بیان می شود:

$$\Delta\xi = \frac{z_t}{\theta}\phi(z) \quad (۱۲)$$

که θ زاویه ی بین خطوط دو توری است.چرخش نوار های ماره حول کانون خواهد بود، زاویه چرخش نوار ها$\alpha(z)$ از رابطه ی زیر بدست می آید:

$$\tan\alpha(z) = \frac{z_t}{\theta f_2}\frac{z^2}{f_2 - f_2 f_{eff}(z) - z^2} \quad (۱۳)$$

اگر نمونه را در طول پراش قرار دهیم کمترین زاویه چرخشی(α_{min}) که می توان اندازه گرفت نشان دهنده ی میزان حساسیت این روش می باشد.

$$\alpha_{min} = \frac{z_t}{\theta f_2}\frac{z_0^2}{f_2 f_{eff,max}} \quad (۱۴)$$

که$f_{eff,max}$ طولانی ترین فاصله کانونی القا شده موثر مرتبط با پایین ترین ضریب شکست غیرخطی آشکار شده است.با جایگذاری معادله (۸) در معادله (۱۴) کمترین مقدار ضریب شکست بصورت زیر بدست می آید:

$$n_{min} = \frac{\theta f_2^2}{2z_t}\frac{\pi\omega_0^4}{2dp_{in}z_0^2}\alpha_{min} \quad (۱۵)$$

که در آن z_0 مکان باریکه ی لیزر با پهنای $\sqrt{2}\omega_0$ است.

۴-کارهای تجربی

در این مقاله از DO25 که یک ماده آلی از خانواده آزو دای ها می باشد استفاده کردیم.غلظت محلول نمونه ۱ میلی مولار می باشد و آن را در سلولی به ضخامت یک میلی متر ریختیم و همانند شکل(۲)بین دو عدسی همگرا با فاصله های کانونیf_1, f_2 به ترتیب۰,۵ و ۲۰ سانتی متر قرار دادیم که از این دو عدسی برای افزایش پهنای باریکه لیزر Nd:YAG با طول موج ۵۳۲ نانومتر استفاده کردیم. گام

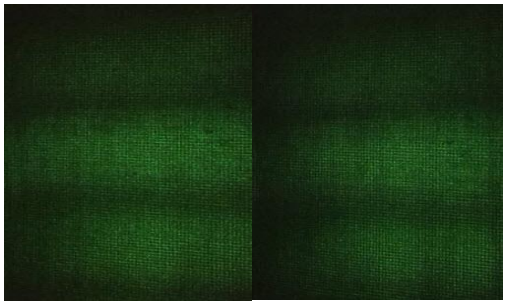
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

های دو توری G_2, G_1 یکسان و برابر ۱/۱۰۰ اینچ می باشد.فاصله ی دو توری را به ازای n=۲(دومین خود تصویر) با رابطه (۴) مقدار ۲۴,۲ سانتی متر بدست آوردیم.دوتوری نسبت به هم $\theta = 3^0$ چرخش دارند.

۵-تحلیل داده ها

از طرح ماره تشکیل شده در دو حالت بدون نمونه و با نمونه DO25 عکس برداری کردیم(شکل۳).نمودار های شکل (۴) با استفاده از آنالیز میزان توزیع شدت در تصاویر شکل(۳) در متلب ترسیم شده اند.



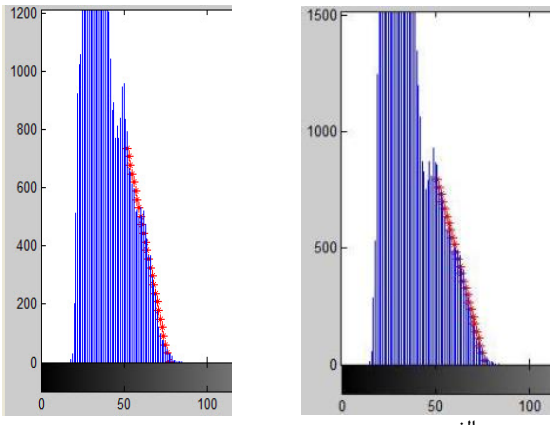
الف ب

شکل ۳ : طرح فریز های ماره عکس برداری شده در حالات (الف) بدون نمونه و (ب) با نمونه

با مقایسه شیب های نمودارها در دوحالت بدون نمونه و با نمونه متوجه تغییرات و چرخش فریز های ماره شدیم.برای مقایسه بهتر تغییرات شیب این دو خط، آن ها را در یک صفحه رسم نمودیم و اختلاف زاویه آن ها را با alpha نشان دادیم(شکل۵).

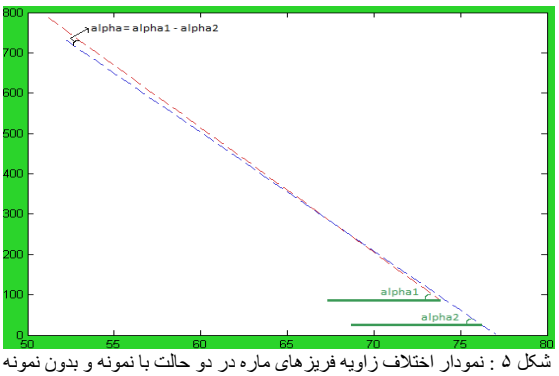
۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از روش انحراف سنجی ماره و تحلیل فریز های ماره توسط نرم افزار متلب در دو حالت با نمونه و بدون نمونه متوجه چرخش فریز های ماره به اندازه ی ۰,۰۰۱۷ رادیان شدیم. همچنین با این روش، مقدار ضریب شکست غیرخطی آزو دای DO25 ناشی از همپارش سیس-ترانس را مقدار $8.085 \times 10^{-11}\ cm^2/w$ محاسبه کردیم که از همان مرتبه مقداری به دست آمده به روش های دیگر می باشد[۱۱].



ب الف

شکل ۴: نمودار های شدت یک فریز مشخص از الگوی ماره و خطوط مماس بر سمت راست آن در حالات (الف) بدون نمونه و (ب) با نمونه



شکل ۵ : نمودار اختلاف زاویه فریز های ماره در دو حالت با نمونه و بدون نمونه

مراجع

[1] Pier Luigi Beltrame, Ernestina DubiniPaglia, AntonellaCastelli, Gian Franco Tantardini, Alberto Seves, Bruno Marcandalli, Thermal cis-trans iso-merization of azo dyes in poly(methyl methacrylate) matrix: a kineticstudy, J.Appl. Pol.Sci.49,2235-2239,1993.

[2] Lu Wen-Qiang, Chen Gui-Ying, Hao Zhao-Feng, Xu Jing-Jun, TianJian-Guo, Zhang Chun-Ping, Enhancement of modulation depth of an all-optical switch using an azo dye-ethyl red film, Chin.Phys. B 19 (8) ,084208,2010.

[3] R.W. Boyd, Nonlinear Optics, Academic Press, New York, 2007.

[4] S. Salmani, E. Safari, M.H. MajlesAra, M.S. Zakerhamidi, Optical bistability of azo dye-doped PMMA polymer, Opt. Mater. 35 ,1619-1622,2013.

[5] FatiKarcı, FikretKarcı, The synthesis and solvatochromic properties of somenovel heterocyclic disazo dyes derived frombarbituric acid, Dyes Pigments 77 ,451-456,2008.

[6] A. JawadAlmosawe, H.L. Saadon,Nonlinear optical limiting properties of new structures of organic nonlinear optical materialsfor photonics applications.Chin. Opt. Lett. 11 (4) 041902,2013.

[7] Talbot, H. LXXVI. Facts relating to optical science. No. IV. Philos. Mag. 9, 401-407, 1836.

[۸] سمیه سلمانی، بررسی خواص غیرخطی نانو ذرات رسانا و نیم رسانا، دانشگاه شهید مدنی، تبریز، ۱۳۸۵

[9]Keren, E. and O. Kafri, Diffraction effects in moiré deflectometry. J. Opt. Soc.Am.A2,111-120,1985.

[10] K. Jamshidi-Ghaleh, N. Masour, Erratum to" Nonlinear refraction measurements of materials using moiré deflectometr".Commun.234, 419, 2004.

[11] S. Salmani, M. H. Majlesara, The optical length effect, diffraction pattern and thermal lensing of Disperse Orange 25, Optics & Laser Technology 82 34–37, 2016.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]