

خواص اپتیکی بلور مایع نماتیک آلاییده با رنگینه آزو دیسپرس قرمز ۲ و بررسی تأثیر جهت گیری اولیه ملکول‌ها بر روی آن‌ها

اسماعیل ساعی و رایرانی زاد^۱
زهرا دهقانی^۲
معصومه عرب^۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۳

تاریخ تصویب: ۹۵/۶/۳

چکیده

در این تحقیق، خواص اپتیکی غیرخطی بلور مایع نماتیک آلاییده با رنگینه آزو دیسپرس قرمز ۲ مورد بررسی قرار گرفته است. مقدار و علامت ضریب شکست و ضریب جذب غیرخطی بلور مایع نماتیک آلاییده با رنگینه آزو دیسپرس قرمز ۲ با روش جاروب Z اندازه گیری شده است. در این مقاله، اندازه گیری‌ها توسط لیزر پیوسته نئودیم یگ با طول موج ۵۳۲nm انجام شده است. تأثیر جهت گیری اولیه ملکول‌ها بر روی خواص غیرخطی

^۱ دانشیار فیزیک، دانشگاه تربیت مدرس؛ SAIEVARE@modares.ac.ir

^۲ استادیار فیزیک، دانشگاه نیشابور

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد فیزیک، دانشگاه تربیت مدرس

بررسی شده است. ضریب شکست غیرخطی برای نمونه با جهت گیری موازی از مرتبه $10^{-6} \text{ cm}^2/\text{W}$ و ضریب جذب غیرخطی آن از مرتبه $10^{-1} \text{ cm}/\text{W}$ به دست می‌آید. ضریب شکست غیرخطی برای نمونه با جهت گیری عمودی از مرتبه $10^{-9} \text{ cm}^2/\text{W}$ و ضریب جذب غیرخطی آن از مرتبه $10^{-5} \text{ cm}/\text{W}$ به دست می‌آید. علامت هر دوی این ضرایب برای نمونه با جهت گیری موازی منفی و برای نمونه با جهت گیری عمودی مثبت است. نتایج نشان می‌دهند که ضرایب اپتیکی برای نمونه با جهت گیری موازی بزرگتر از ضرایب مربوط به نمونه با جهت گیری عمودی است.

واژه‌های کلیدی: بلور مایع نماتیک؛ رنگینه آزو؛ روش جاروب Z؛ جهت گیری عمودی؛ جهت گیری موازی

۱. مقدمه

بلور مایع حالتی از ماده است که خواص بین جامد ناهمسانگرد و مایع همسانگرد را دارد. به عنوان مثال یک بلور مایع می‌تواند مانند مایعات جاری شود، ولی بعضی خواص جامدات را نیز دارا باشد [۱]. مولکول‌ها در فاز بلور مایع درجه‌ای از نظم راستایی را دارند و در یک راستا سمت گیری می‌کنند.

بعضی بلورهای مایع علاوه بر نظم راستایی، تا حدودی نظم مکانی هم دارند. این مواد به علت شکل گیری خاص مولکول‌ها دارای خواص ناهمسانگردی هستند. به طور کلی بلورهای مایع به سه دسته عمده ترموتروپیک، لیوتروپیک و پلیمریک تقسیم بندی می‌شوند. بلورهای مایع ترموتروپیک از نظر ساختار به سه دسته اساسی تقسیم می‌شوند که بلور مایع نماتیک، سمتیک و کلستریک نام دارند. یکی از متداول ترین فازهای بلور مایع، فاز نماتیک است که در آن مولکول‌ها نظم مکانی ندارند، اما دارای نظم راستایی هستند. همه آن‌ها به یک سمت جهت گیری می‌کنند و این خصوصیات باعث می‌شود مولکول‌ها مانند مایعات جاری شوند و به طور نامنظم توزیع شوند. از میان انواع بلورهای مایع، نماتیک‌ها

بهترین نمونه برای نشان دادن خواص اپتیکی می باشند. هم چنین کمترین نظم راستایی و بیشترین تقارن را دارا می باشند. این نظم راستایی منحصرأ در راستای محور بلند وجود دارد که تمام رفتار جمعی مولکولی آنها توسط بردار \vec{A} مولکولی توصیف می شود. این راستای بردار، جهت نما نامیده می شود [۲ و ۳]. با توجه به بردار جهت نما دو نوع جهت گیری مرسوم برای بلور مایع نماتیک وجود دارد: جهت گیری عمودی و موازی که در این تحقیق تأثیر جهت گیری اولیه ملکولها بر روی خواص اپتیکی بررسی شده است.

بر اساس مطالعاتی که انجام شده بلور مایع در میدانهای الکتریکی کوچک هم خواص غیرخطی بزرگی از خود نشان می دهند. اپتیک غیرخطی مطالعه پدیدههایی است که در اثر تغییر و اصلاح ویژگیهای نوری مواد در حضور نور رخ می دهند [۴]. بعضی فرآیندهای فیزیکی که ضریب شکست غیرخطی ایجاد می کنند قطبش الکتریکی، بازجهت گیری مولکولی، اثر فوتوشکست و اثر گرمایی می باشند که مقادیر آنها متفاوت می باشد. در نور لیزر CW همه فرآیندهای بالا می توانند رخ دهند. در بلور مایع نماتیک، بازجهت گیری مولکولی مربوط به تغییر ضریب شکست می باشد [۵].

در سال ۱۹۹۰، جانوسی کشف کرد که غیرخطیت اپتیکی در حضور یک مقدار ناخالصی بهبود می یابد. دو فرضیه در این اثر توصیف می شود. (۱) جذب نور باعث تولید مولکولهای ناخالص با جمعیت ناهمسانگرد برانگیخته می شود. (۲) مولکولهای ناخالص در حالت پایه و برانگیخته برهمکنش بین مولکولی متفاوتی با بلور مایع میزبان دارند و این باعث می شود که یک گشتاور غیرصفر از طرف ناخالصی به وجود آید [۶].

آزو شامل موادی هستند که به طور گسترده در کلیدزنی نوری و ادوات الکترونی مورد استفاده قرار می گیرد. در میان مزوفازهای بلورهای مایع، بلور مایع نماتیک دارای ناهمسانگردی نوری بالا و غیرخطیت بالا می باشد.

اگر چه بلورهای مایع ذاتاً موادی با خاصیت غیرخطی بالا هستند، با وجود این، پاسخ جهت گیری مجدد مولکولی آنها، با افزودن مقدار کمی از یک رنگینه با ضریب بزرگی تقویت می شود که نتیجه این واقعیت است که در این حالت، علاوه بر اثر گشتاور نوری، فرآیند جهت گیری مجدد بردار جهت نما با مشارکت یک گشتاور دیگر به نام گشتاور

رنگینه-القایی انجام می‌گیرد. این گشتاور رنگینه-القایی اغلب، خیلی بزرگ‌تر از گشتاور نوری معمولی است.

مولکول‌های نماتیک توانایی جهت دادن مولکول‌های رنگینه موازی با محور خودشان را دارند. بنابراین یکی از مهم‌ترین کاربردهای بلور مایع نماتیک آلاییده با رنگینه برای نمایشگرهای بلور مایع دورنگ‌نما در برهمکنش میهمان-میزبان مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین اضافه کردن رنگینه به بلور مایع نماتیک میزبان اثرهای مختلفی در خواص میزبان می‌گذارد. به طور مثال غیرخطی اپتیکی از ترکیبات نماتیک می‌تواند با حضور مقدار کمی ناخالصی رنگینه بهبود یابد.

۲. نظریه

بلورهای مایع به شدت غیرخطی هستند و تغییرات ضریب شکست در آن‌ها بسیار زیاد است. رابطه بین تغییرات ضریب شکست δn و شدت اپتیکی به صورت $\delta n = n_2 I$ خواهد بود.

گشتاور القایی رنگینه از برهمکنش بین مولکولی رنگینه و بلور مایع میزبان سرچشمه می‌گیرد. اثر مشهود رنگینه قابل حل، افزایش جذب بلور مایع به ویژه در ناحیه معین است. مولکول‌های رنگینه به دنبال جذب فوتونی دچار تغییرات فیزیکی یا تغییرات درجهت‌گیری می‌شوند. در بلورهای مایع آلاییده با رنگینه، گشتاور کل وارد شده به مولکول‌های بلور مایع، با مجموع گشتاور وارد شده از طرف میدان الکتریکی نور (Γ_{op}) و از طرف مولکول رنگینه (Γ_{dye}) برابر است.

$$\Gamma^{opt} = \langle \mathbf{p} \times \mathbf{E} \rangle = \epsilon_0 (n_c^2 - n_0^2) (\bar{\mathbf{n}} \times \bar{\mathbf{E}}) (\bar{\mathbf{n}} \cdot \bar{\mathbf{E}}) \quad (1)$$

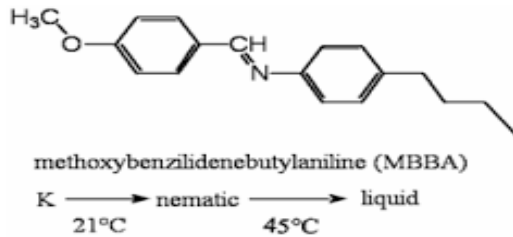
$$\Gamma^{dye} = \epsilon_0 \zeta (\bar{\mathbf{n}} \times \bar{\mathbf{E}}) (\bar{\mathbf{n}} \cdot \bar{\mathbf{E}}) \quad (2)$$

$$\Gamma^{tot} = \epsilon_0 \left[\zeta + (n_c^2 - n_0^2) \right] (\bar{\mathbf{n}} \times \bar{\mathbf{E}}) (\bar{\mathbf{n}} \cdot \bar{\mathbf{E}}) \quad (3)$$

۲-۱. آماده‌سازی نمونه

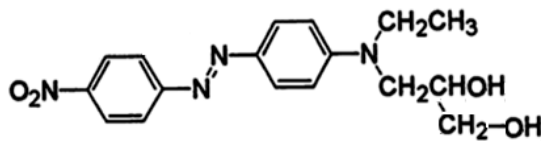
در این آزمایش، سیستم میهمان-میزبان بلور مایع نماتیک آلاییده به رنگینه آزو با یک درصد وزنی رنگینه می‌باشد. بلور مایع استفاده شده، پارامتوکسی بنز آلیدین-پارا نرمال

بوتیل آنیلین (نام اختصاصی MBBA) می باشد که ساختار آن در شکل زیر آمده است و دارای دو حلقه بنزن و یک دُم هیدروکربن می باشد. دمای گذار آن و بازه دمایی که در آن دارای فاز بلور مایع است مشخص گردیده است.



شکل ۱: ساختار بلور مایع نماتیک MBBA

رنگینه آزو مورد استفاده در این مطالعه، رنگینه آزو دیسپرس قرمز ۲ می باشد که ساختار آن در شکل زیر آمده است.



شکل ۲: ساختار رنگینه آزو دیسپرس قرمز ۲

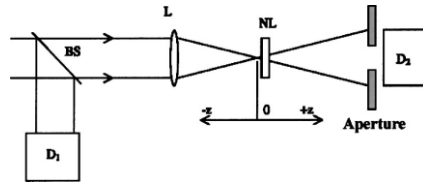
سلول بلور مایع از دو صفحه شیشه به اندازه 1×2 سانتی متر با ضخامت ۱ میلی متر تشکیل شده است که بلور مایع آلاییده به رنگینه داخل این سلول قرار می گیرد. برای جهت گیری عمودی از لیسیتین و برای جهت گیری موازی از PVA به عنوان لایه جهت دهی استفاده می شود [۷]. از خاصیت موینگی برای پر کردن سلولها استفاده می شود. جهت گیری عمودی به این معنی است که مولکولهای بلور مایع در راستای عمود بر صفحات سلول قرار می گیرند (چون بلور مایع با رنگینه آلاییده شده و مولکولهای رنگینه در راستای مولکولهای بلور مایع قرار گرفته اند مولکولهای رنگینه هم در راستای عمود بر صفحات سلول قرار می گیرند) و در جهت گیری موازی مولکولها موازی سطح سلول هستند.

۲-۲ روش جاروب Z

تکنیک جاروب Z یکی از دقیق‌ترین روش‌ها، برای محاسبه ضریب جذب غیرخطی و ضریب شکست غیرخطی می‌باشند که توسط شیخ بهایی و همکارانش ارائه شد که شامل دو چیدمان دريچه باز و بسته می‌باشد [۸-۱۰] که به اختصار در زیر توضیح داده می‌شود.

۱-۲-۲ روش جاروب Z با دريچه بسته

روش جاروب Z با دريچه بسته روشی است که برای اندازه‌گیری ضریب شکست غیرخطی استفاده می‌شود که در آن نمونه در مسیر لیزری ($\pm Z$) جاروب می‌شود. پرتو توسط عدسی کانونی شده و شدت عبوری میدان نور توسط یک آشکارساز که در جلوی آن نمونه قرار می‌گیرد اندازه‌گیری می‌شود. یک پرتو گاوسی TEM_0 با شعاع کمره W_0 و انتشار در جهت $+z$ در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۳: چیدمان روش جاروب Z

ضریب شکست در حالت کلی به صورت زیر است:

$$n = n_0 + n_2 I \quad (5)$$

خروجی این نوع جاروب Z برای نمونه نازک، نمودار دره-قله برای غیرخطیت مثبت و نمودار قله-دره برای غیرخطیت منفی می‌باشد. $\Delta T_{pv} = T_p - T_v$ گذار بین قله و دره را به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

T_p و T_v به ترتیب قله و دره عبور هستند. برای تعیین ضریب شکست غیرخطی روابط زیر را به کار می‌بریم:

$$\Delta T_{p-v} = 0.406(1-s)^{0.25} \Delta \varphi_0 \quad (6)$$

$$\Delta \varphi_0(t) = k \cdot \Delta n_0(t) L_{eff} \quad (7)$$

که در آن $L_{eff} = \frac{1-e^{-\alpha L}}{\alpha}$ است و ضریب جذب خطی از رابطه $\alpha = -\frac{1}{L} \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)$ به دست می آید. P_0 توان لیزر بدون وجود نمونه، P توان خروجی لیزر با وجود نمونه می باشد [۱۱]. $I_0 = \frac{2P_{in}}{\pi\omega_0^2}$ که P_{in} توان لیزر، ω_0 طول کمره باریکه لیزر می باشد که از روش جاروب لبه به دست می آید و $s = 1 - \exp(-2r_0^2 / \omega_0^2)$.

۲-۲-۲. روش جاروب با دریچه باز

ضریب جذب غیر خطی β به صورت زیر تعریف می شود.

$$\alpha = \alpha_0 + \beta I \quad (۸)$$

با انجام جاروب Z با دریچه باز، ضریب جذب غیر خطی β به دست می آید. در این روش دریچه را برداشته و یک عدسی دیگر نزدیک آشکارساز قرار داده، برای به دست آوردن ضریب جذب غیر خطی از روابط زیر استفاده می شود:

$$T(z) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{[-q_0(z, 0)]^m}{(m+1)^{3/2}} \quad (۹)$$

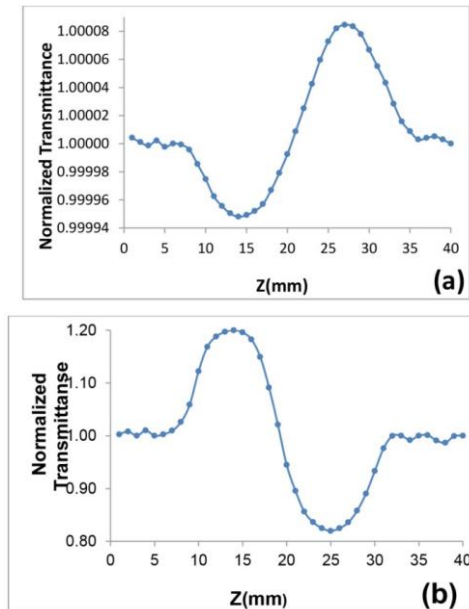
که در آن $q_0(z, t) = \frac{\beta I_0 L_{eff}}{\left(1 + \frac{z^2}{z_0^2}\right)}$ و $z_0 = k \omega_0^2 / 2$ طول ریلی نامیده می شود [۱۲].

۳. نتایج

نور لیزر مورد استفاده در این آزمایش دارای طول موج $\lambda = 532 \text{ nm}$ می باشد. کمره پرتو در کانون عدسی $\omega_0 = 34 \mu\text{m}$ و فاصله کانونی عدسی محدب مورد استفاده $f = 5 \text{ cm}$ است. توان فرودی لیزر $P_0 = 10 \text{ mW}$ و ضخامت سلولها $L = 23 \mu\text{m}$ می باشد.

۳-۱ اندازه گیری ضریب شکست غیر خطی

برای اندازه گیری ضریب شکست غیر خطی از چیدمان جاروب Z با دریچه بسته استفاده می شود. شکل ۴ منحنی های مربوط به چیدمان جاروب Z با دریچه بسته برای دو نوع جهت گیری اولیه ملکولها (عمودی و موازی) را نشان می دهد.

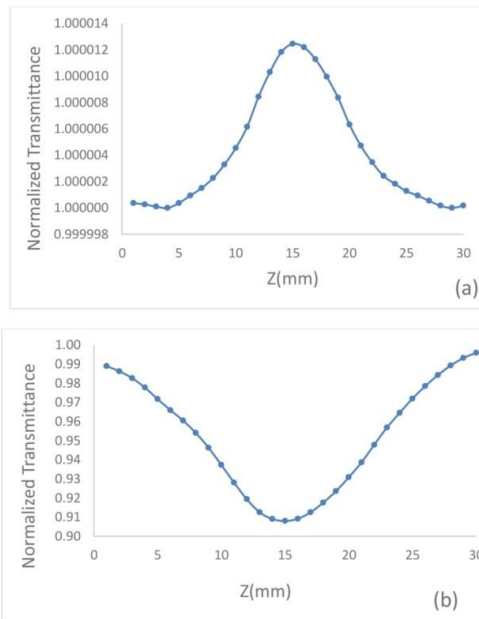


شکل ۴: منحنی بهنجارش شده چیدمان دريچه بسته خالص برای نمونه بلور مایع آلانیده به رنگینه الف) برای جهت گیری عمودی و ب) برای جهت گیری موازی.

همان‌طور که از نمودارهای بالا پیداست ضریب شکست غیرخطی برای نمونه با جهت گیری عمودی مثبت است، چون ابتدا دره و سپس قله ایجاد شده است. در این جا چون ضریب شکست غیرخطی مثبت است پدیده خود کانونی رخ می‌دهد. ولی در نمونه با جهت گیری موازی رفتار منحنی برعکس و ضریب شکست غیرخطی منفی است و پدیده خودواگرایی اتفاق می‌افتد. نتایج محاسبات مربوط به دو منحنی بالا در جدول شماره ۱ آمده است. ضریب جذب خطی از چیدمان محدودکنندگی اپتیکی به دست می‌آید که نتایج آن برای هر دو نوع جهت گیری اولیه ملکول‌ها، در جدول ۱ خلاصه شده است.

اندازه گیری ضریب جذب غیرخطی

برای اندازه گیری ضریب جذب غیرخطی از چیدمان جاروب Z با دريچه باز استفاده می‌شود که نتایج آن در شکل ۵ برای هر دو نوع جهت گیری اولیه ملکول‌ها (عمودی و موازی) نشان داده شده است.



شکل ۵: منحنی چیدمانِ روشِ جاروبِ Z با دریچهٔ باز برای بلور آلاییده به رنگینه (الف) برای جهت گیری عمودی و (ب) برای جهت گیری موازی.

همان‌طور که از نمودارهای بالا پیداست با توجه به این که در منحنی مربوط به نمونه با جهت گیری عمودی قله وجود دارد ضریب جذب غیرخطی برای نمونه با جهت گیری عمودی مثبت است و پدیده جذب اشباع پذیر رخ می‌دهد. برای نمونه با جهت گیری موازی ضریب جذب غیرخطی منفی است و پدیده جذب دو فوتونی اتفاق می‌افتد. نتایج محاسبات مربوط به دو منحنی بالا در جدول شماره ۱ آمده است.

جدول ۱: پارامترهای اپتیکی به دست آمده از روش جاروب Z برای هر دو نوع جهت گیری ملکول‌ها

Alignment	ΔT_{p-v}	$L_{eff}(\mu m)$	$n_2(cm^2/W)$	$\alpha(cm^{-1})$	$\beta(cm/W)$
Homeotropic	1.366×10^{-4}	18.24	3.1×10^{-9}	210	3.7×10^{-5}
homogeneous	3.802×10^{-1}	17.49	9×10^{-6}	250	3×10^{-1}

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهند ضرایب اپتیکی غیرخطی برای نمونه با جهت گیری موازی بسیار بزرگ‌تر از نتایج مربوط به نمونه با جهت گیری عمودی است که این نتایج با توجه به منفی بودن دوشکستی اپتیکی برای بلور مایع نماتیک MBBA قابل قبول است.

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله سلول‌های بلور مایع نماتیکی آلاییده به رنگینه با درصد وزنی $w=1\%$ در دو نوع جهت‌گیری موازی و عمودی تهیه شده است. سپس تأثیر جهت‌گیری اولیه ملکول‌ها بر روی خواص اپتیکی غیرخطی به روش جاروب Z بررسی شده است. نتایج تجربی نشان می‌دهند که ضرایب اپتیکی غیرخطی برای نمونه با جهت‌گیری موازی بسیار بزرگ‌تر از ضرایب مربوط به جهت‌گیری عمودی است.

۵. مراجع

- [1] S.J. Mathews; "Liquid crystal devices for optical communications and sensing applications"; Dublin Institute of Technology. 2011.
- [2] X. Yao; "Studies on lyotropic chromonic liquid crystals in nematic and biphasic regions" 2013.
- [3] Z. Dehghani, E. Saievar Iranizad; "The effect of initial alignment on the optical properties of Fe₃O₄ nanoparticles doped in nematic liquid crystals"; Physical B: Condensed Matter, Volume 434(2014) 165-170.
- [4] R. W. Boyd; "Nonlinear optics"; Academic press, 2003.
- [5] E. Saievar-Iranizad, Z. Dehghani, M. Nadafan; "Nonlinear optical properties of nematic liquid crystal doped with different compositional percentage of synthesis of Fe₃O₄ nanoparticles"; Journal of Molecular Liquids Volume 190 (2014) 6-9.
- [6] I. Janossy, T. Kosa; "Influence of anthraquinone dyes on optical reorientation of nematic liquid crystals"; Optics letters Volume 17, Issue 17, (1992) 1183-1185.
- [7] M. Sheik-Bahae, et al; "Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam, Quantum Electronics"; IEEE Journal of 26.4 (1990) 760-769.
- [8] P. Neethling; "Determining non-linear optical properties using the Z-scan technique"; Diss. Stellenbosch: University of Stellenbosch, 2005.
- [9] W. P. Zang, et al; "Accurate determination of nonlinear refraction and nonlinear absorption by a single Z-scan method"; JOSA B 21.2(2004) 349-356.

[10] M. H. Majles Ara, et al.;” Non-linear optical properties of silver nanoparticles prepared by hydrogen reduction method”; Optics Communications, 283, No. 8(2010) 1650-1653.

[11] S. Nazerdeylami, E. Saievar-Iranizad, Z. Dehghani, M. Molaei;” Synthesis and photoluminescent and nonlinear optical properties of manganese doped ZnS nanoparticles”; Physica B: Condensed Matter, Volume 406, (2011) 108-111.

[12] M. H. Majles Ara, Z. Dehghani, R. Sahraei, A. Daneshfar, Z. Javadi, F. Divsar;” Diffraction patterns and nonlinear optical properties of gold nanoparticles”; Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, Volume 113(2012) 366-372.