



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



تعیین خواص اپتیکی غیرخطی نانوکامپوزیت پلی یورتان سلول بسته - آلومینا به روش Z اسکن

مرضیه نادافان، رسول ملک فر* و زهرا دهقانی

*گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی ۱۷۵-۱۴۱۱۵

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه نیشابور

چکیده - در این تحقیق نانوکامپوزیت پلی یورتان سلول بسته و نانوذرات آلومینا با سه درصد وزنی مختلف از نانوذرات سیلیکا فراهم شده است. با استفاده از روش Z اسکن، ضرایب اپتیکی غیرخطی نمونه ها از جمله ضریب شکست غیرخطی و ضریب جذب غیرخطی بدست آمد که ضریب شکست غیرخطی آنها، n_2 ، منفی و از مرتبه $10^{-8} (cm^2/W)$ و ضریب جذب غیر خطی، β ، از مرتبه $10^{-5} (cm/W)$ بدست آمد.

کلید واژه - اپتیک غیرخطی، آلومینا، پلی یورتان، روش Z، نانوذرات.

Characterization of Nonlinear Optical Properties of Polyurethane Close Cell/Alumina Nanocomposites by Z-Scan Method

Marzieh Nadafan, Rasoul Malekfar* and Zahra Dehghani

Department of Physics, Tarbiat Modares University, P.O. Box 14115-175, Tehran, I.R. Iran

Department of Physics, University of Neyshabur, I.R. Iran

Abstract- In this research PUCC/ Al_2O_3 nanocomposites containing 1, 1.5 and 2 wt% Al_2O_3 have been prepared. Nonlinear optical coefficients of samples such as nonlinear refractive index and nonlinear absorption coefficient were obtained by Z scan technique. These features were calculated in the order of $10^{-8} (cm^2/W)$ and $10^{-5} (cm/W)$, respectively.

Keywords: Nonlinear optics, Alumina, Polyurethane, Z scan, Nanoparticles.

۱- مقدمه

پاسخ ضعیف غیرخطی مواد معدنی یافت شده، منجر به گرایش محققین در دهه های اخیر برای یافتن مواد غیرخطی جدید شده است [۱-۳]. تلاش های محققین در زمینه اپتیک غیرخطی و گرایش به سمت مواد آلی با سرعت ادامه یافت تا اینکه در دهه ۱۹۸۰ مواد آلی به عنوان ماده ویژه در زمینه اپتیک غیرخطی معرفی شدند که به دنبال آن ترکیبات آلی-معدنی بدلیل دارابودن خواص منحصربه فرد مورد توجه ویژه قرار گرفت تا بتوان از آنها در کاربردهایی از جمله محدود کننده های اپتیکی، ادوات اپتوفوتونیک و فوتوالکترونیک استفاده کرد [۲-۴]. ترکیبات معدنی-آلی بدلیل داشتن مزیت های پلیمرهای آلی (قابلیت انعطاف پذیری، چکش خواری و ...) و ویژگی های کارآمد مواد معدنی (پایداری دمایی بالا، سختی بالا، ضریب شکست بالا و ...) بسیار مورد توجه محققین و صنعت می باشد [۵]. در سال های اخیر، این مواد بویژه در ادوات اپتیکی و اپتوالکترونیک، منتشر کننده های نوری، هماهنگ های دوم، مبدل فرکانسی، موجبرها و ... بکار می روند [۵].

در میان روش های موجود برای بررسی اثرات اپتیک غیرخطی مواد، روش Z-scan روشی بسیار ساده و در عین حال حساس برای اندازه گیری ضریب جذب و ضریب شکست غیرخطی است.

دکتر شیخ بهایی و همکارانشان در سال ۱۹۸۹ این روش را معرفی کردند. این روش خیلی سریع مورد توجه پژوهشگران قرار گرفت و دلیل پذیرفته شدن آن سادگی روش و تفسیر داده های آن است. در این تحقیق سعی شده تا از این روش برای تعیین ضرایب مذکور در نانوکامپوزیت های پلی یورتان سلول بسته آلومینا استفاده شود.

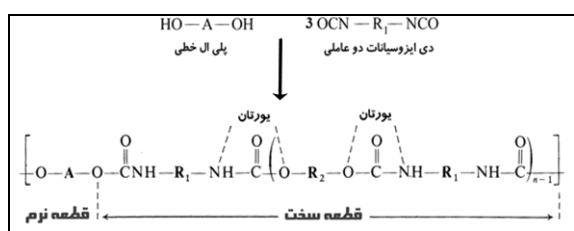
۲- فرایندهای تجربی

۲-۱- مواد

نانوذرات آلومینا با اندازه ۱۵-۲۰ نانومتر خریداری شده از شرکت US Research Nanomaterial آمریکا، دی فیل متان دی ایزوسیانات با چگالی $1/23 \text{ g/cm}^3$ ، پلی اتر پلی ال با چگالی $1/1 \text{ g/cm}^3$ و عامل پف کنندگی (HCF-C) که از شرکت اکسون پناه تهیه شده است.

۲-۲- سنتز نانوکامپوزیت ها

برای تهیه نانوکامپوزیت های حاوی درصد های مختلف آلومینا مقادیر مناسب توزین و به جزء پلی ال تحت همزدن شدید الکتریکی به مدت ۲۰ ثانیه با ۳۰۰۰ دور بر دقیقه اضافه می شود تا محلولی همگن بدست آید. سپس جزء ایزوسیانات را به این محلول با دور ۲۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۴ الی ۵ ثانیه افزوده می شود. بعد از ۱۲ ثانیه واکنش کامل می گردد. نسبت پلی ال به ایزوسیانات یک به یک است. سپس محلولی با غلظت ۰/۱ مولار توسط N و N دی متیل فرمامید و نمونه های مورد نظر تهیه می گردد. شکل ۱ سنتز پلی یورتان سلول بسته خالص را نشان می دهد.



شکل ۱: سنتز پلی یورتان

۳- نتایج و بحث

روش Z اسکن شامل دو چیدمان تجربی درجه بسته (closed aperture) و درجه باز (open aperture) می باشد که به ترتیب قادرند ضریب شکست غیرخطی n_2 و ضریب جذب غیرخطی β را تعیین کنند. برای چیدمان درجه بسته طیف عبوری بهنجار شده توسط رابطه زیر بدست می آید.

$$\Delta T_{p-v} = 0.406(1-S)^{0.25} \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) n_2 I_0 L_{eff} \quad (1)$$

که ΔT_{p-v} فاصله بین دره و قله نمودار عبوری بهنجار شده، S پارامتر خطی درجه L_{eff} طول موثر نمونه، $I_0 = 2P_{in} / (\pi \omega_0^2)$ شدت برخوردی نور در نقطه کانونی، ω_0 کمر پرتوی لیزر درون نمونه و P_{in} توان ورودی لیزر است. چیدمان آزمایشگاهی روش Z اسکن در مراجع آمده است [۴].

در این آزمایش لیزر Nd:YAG با طول موج پیوسته و فرکانس هماهنگ دوم ۵۳۲ نانومتر استفاده شده است. نمونه در راستای محور Z در مجاورت کانون با فاصله کانونی ۵ سانتی متر حرکت می کند (جهت +z جهت

$$q_0(z, t) = \frac{\beta I_0 L_{eff}}{1 + \frac{z^2}{z_0^2}} \quad (5)$$

که در آن $z_0 = k\omega_0^2/2$ طول پراش پرتو و $k = 2\pi/\lambda$ بردار موج است. منحنی گذار نرمالیزه دریچه باز نسبت به نقطه کانون یا ($z=0$) متقارن می باشد (شکل ۳). مقادیر جذب غیرخطی نمونه ها در جدول ۱ آورده شده است. نتایج نشان می دهد با افزایش درصد وزنی نانوذرات آلومینا از ۰,۰wt% تا ۱,۰wt% درون پلی یورتان، ضریب شکست غیرخطی افزایش می یابد ولی با افزایش مقدار درصد وزنی از ۱,۰wt% تا ۲,۰wt% این آثار دچار کاهش می شود. ضریب جذب غیرخطی نمونه ها از مرتبه 10^{-5} (cm/W) می باشد.

جدول ۱: تعیین مشخصات اپتیک غیرخطی نانوکامپوزیت های PUCc/Al₂O₃

Sample	ΔT	$\alpha (cm^{-1})$	$n_2 \times 10^{-8} (cm^2/W)$	$\beta \times 10^{-5} (cm/W)$
۰%Al ₂ O ₃	۰,۰۱۹	۰,۶۶۵۷	۰,۱۷۵۶	۸,۲۷
۱%Al ₂ O ₃	۰,۱۰۸	۰,۲۳۵۲	۰,۹۸۴۰	۱۳۸,۵
۱,۵%Al ₂ O ₃	۰,۱۰۸	۰,۱۸۹۰	۰,۹۸۲۴	۱۳۳,۵
۲%Al ₂ O ₃	۰,۰۴۰	۰,۲۶۰۶	۰,۳۶۴۹	۱۰۰

در موادی که ضریب جذب خطی آن ها حدود $1 cm^{-1}$ باشد و ضریب شکست غیرخطی از مرتبه $10^{-5} - 10^{-7} cm^2/W$ باشد و البته نمونه بصورت محلول تحت لیزر پیوسته قرار گیرد می توان ادعا کرد که منشاء آثار غیرخطی برای ضریب شکست آثار حرارتی می باشد [۶]. از آنجا که نمونه ها به مدت بسیار محدودی در مقابل منبع لیزری قرار می گیرند، تغییرات دمایی بسیار ناچیز و فقط منجر به تغییرات ضریب شکست نمونه ها می گردد. با افزوده شدن نانوذرات آلومینا از ۱,۰wt% تا ۲,۰wt% و ایجاد پیوند Al-O و Al-O-C در نمونه ها منجر به افزایش طول زنجیره ی اصلی پلیمری می شود. افزایش طول زنجیره در مواد پلیمری موجب کاهش آثار غیرخطی می گردد. این امر ارتباط تنگاتنگی با چرخش آرام تر مولکول های زنجیره ی بلند پلیمری هنگام مواجه شدن با منبع نور لیزری دارد [۶].

انتشار نور لیزر است [۴]. شدت عبوری توسط یک فوتودیود آشکار سازی می شود. نمونه مورد نظر همان محلول ۰/۱ مولار در یک سل با ضخامت ۱ میلیمتر ریخته می شود.

طول موثر نمونه L_{eff} از رابطه زیر بدست می آید:

$$L_{eff} = (1 - e^{-\alpha L}) / \alpha \quad (2)$$

که α جذب خطی نمونه در توان های پایین لیزری می باشد و عبارتند از:

$$\alpha = -\frac{1}{L} \ln \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (3)$$

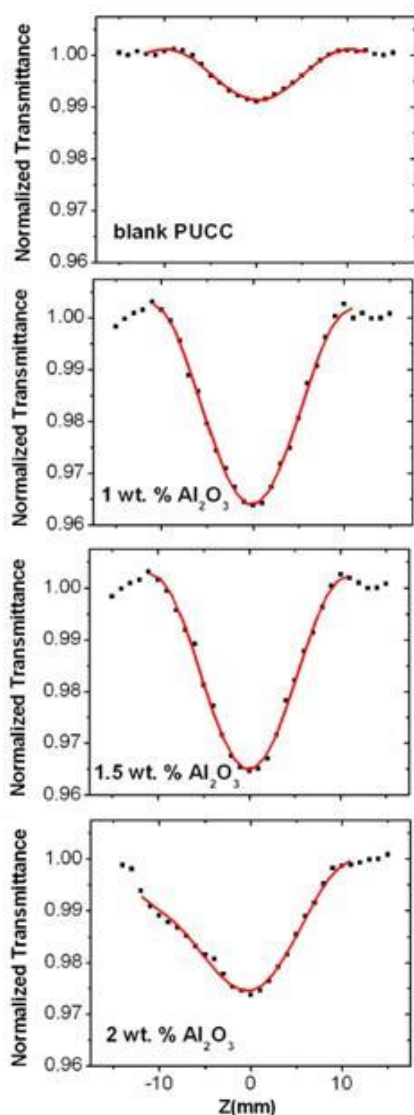
که P و P_0 توان خروجی لیزر در حالت با نمونه و بدون نمونه می باشد. توان اولیه لیزر در حالت بدون نمونه برابر ۵۵ میلی وات است. در این آزمایش شدت پرتوی لیزری $I_0 (W/cm^2)$ و ω_0 برابر ۲۴۹۳/۷ و ۳۷ میکرومتر می باشد و دریچه در فاصله ۱۲۰ سانتیمتری صفحه کانونی قرار گرفته است. شکل ۲ منحنی بهنجار شده دریچه بسته نمونه های مورد نظر را نشان می دهد. از آنجا که یک دره بعد از قله در این منحنی ها بدست آمده می توان استنتاج کرد که علامت ضریب شکست غیرخطی نانوکامپوزیت های PUCc/Al₂O₃ منفی می باشد که اثر خودکانونگی (SELF-FOCUSING) را دربردارند. با استفاده از رابطه ۱ مقدار ضریب شکست غیرخطی نمونه ها بدست می آید که در جدول ۱ آورده شده است. نتایج نشان می دهد با افزایش درصد وزنی نانوذرات آلومینا از ۰,۰wt% تا ۱,۰wt% درون پلی یورتان، ضریب شکست غیرخطی افزایش می یابد ولی با افزایش مقدار درصد وزنی از ۱,۰wt% تا ۲,۰wt% این آثار دچار کاهش می شود. ضریب شکست غیرخطی نمونه ها از مرتبه 10^{-5} (cm^2/W) می باشد.

با استفاده از چیدمان دریچه باز ضریب جذب غیرخطی، β ، بدست می آید. برای فرآیندهای شامل جذب القایی $\beta > 0$ و فرآیندهای گذار القایی یا اشباع جذب القایی $\beta < 0$ می باشد. مقدار β با برازش کردن نمودارهای دریچه باز با روابط زیر بدست می آید.

$$T_{norm}(z) = \frac{\ln(1 + q_0(z, t))}{q_0(z, t)} \quad (4)$$

۴- نتیجه گیری

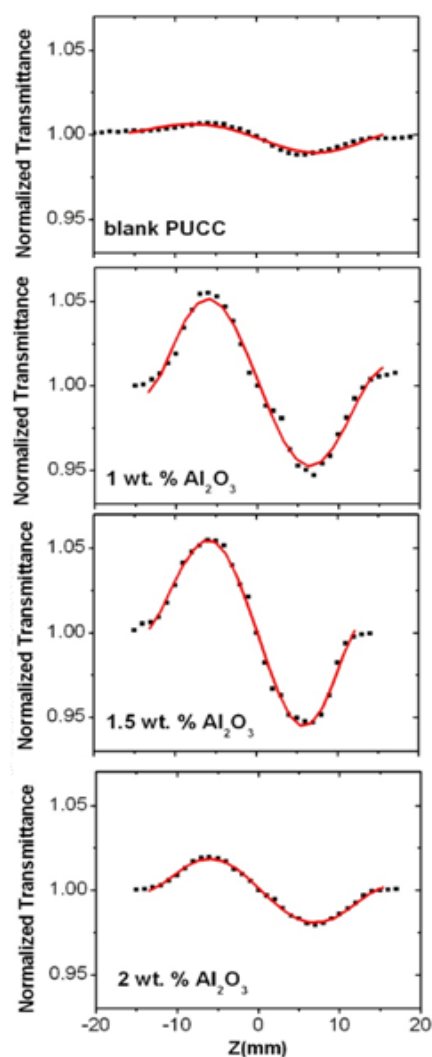
نانوکامپوزیت پلی یورتان سلول بسته-آلومینا با روش مخلوط کردن فراهم گردید. تمام نمونه ها تحت آزمایش Z اسکن قرار گرفتند و ضرایب اپتیکی غیرخطی آنها از جمله ضریب شکست غیرخطی و ضریب جذب غیرخطی نمونه ها بدست آمد که به ترتیب از مرتبه 10^{-8} تا (cm^2/W) و 10^{-6} بودند. نتایج نشان می دهد با افزایش درصد وزنی نانوذرات آلومینا از ۰.۰wt% تا ۱.۰wt% درون پلی یورتان، آثار غیرخطی افزایش می یابد ولی با افزایش مقدار درصد وزنی از ۱.۰wt% تا ۲.۰wt% این آثار دچار کاهش می شود.



شکل ۳: منحنی های تجربی Z اسکن درجه باز نانوکامپوزیت های پلی یورتان بسته و درصد های وزنی مختلف آلومینا

مراجع

- [۱] Boyd R.W., *Nonlinear Optics*, ۳th edition, p. ۲۲۰, Academic Press, ۲۰۰۳.
- [۲] Zyss J. (Ed.), *Molecular Nonlinear Optics: Materials, Physics and Devices*; Academic Press, ۱۹۹۴.
- [۳] Saleh B.E.A., Teich M.C., *Fundamentals of Photonics*; Wiley, ۱۹۹۱.
- [۴] Wang J., Fan Y.X., Chen J., Gu B., Wang H.T., *Nonlinear properties of polyurethane-urea/multi-wall carbon nanotube composite films*, *Opt. Laser Technol.* ۴۲ (۲۰۱۰) ۹۵۶-۹۵۹.
- [۵] Kariduraganavar M.Y., Tambe S.M., Tasaganva R.G., Kittur A.A., Kulkarni S.S., Inamdar S.R., *Studies on nonlinear optical polyurethanes containing heterocyclic chromophores*, *J. Mol. Struct.* ۹۸۷ (۲۰۱۱) ۱۵۸-۱۶۵.
- [۶] Van Stryland, E.W., Sheik-Bahae, M., *Characterization of nonlinear optical absorption and refraction*, *Prog. Crystal Growth Charac. Mater.* ۲۷ (۱۹۹۳) ۲۷۹-۳۱۱.



شکل ۲: منحنی های تجربی Z اسکن درجه بسته نانوکامپوزیت های پلی یورتان بسته و درصد های وزنی مختل