



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷



بررسی خواص نوری غیرخطی اکسید گرافن یافته آلائیده شده با مس با استفاده از روش جاروب-Z

محمدرضا کریمی^۱، سلمان مهاجر مازندرانی^۱، محمد حسین مجلس آرا^۱

^۱ آزمایشگاه فوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه خوارزمی، کرج

^۲ پژوهشکده علوم کاربردی، دانشگاه خوارزمی، کرج

چکیده - در این مقاله، ضریب شکست غیر خطی اکسید گرافن کاهش یافته آلائیده شده با مس (Cu/rGO) با استفاده از روش جاروب-Z در سه غلظت متفاوت اندازه گیری شده است. آزمایشها با استفاده از لیزر نئودیم-یاگ با طول موج ۵۳۲ نانومتر انجام شده است. با افزایش غلظت نانوذرات، ضریب جذب غیر خطی نیز افزایش یافت. برای تهیه اکسید گرافن از روش اصلاح شده هامرز استفاده شده است.

کلید واژه- روش روبش-Z، ضریب شکست غیرخطی، گرافن اکسید کاهش یافته، نانوکامپوزیت.

Nonlinear Optical Investigation of Cu/rGO Using Z-Scan Technique

Mohammad Reza Karimi¹, Salman Mohajer Mazandarani^{1,2}, M.H Majles Ara^{1,2}

¹ Photonic lab, Department of physics, Kharazmi University, Tehran, Iran

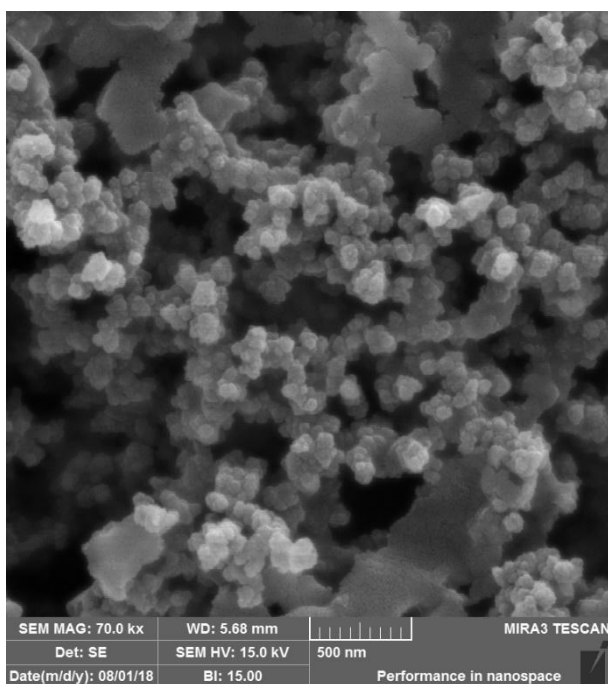
² Applied Sciences Research Center, Kharazmi University, Karaj, Iran

Abstract- A simple optical method to measure the nonlinear refractive index of reduced Graphene Oxide doped Cu (Cu/rGO) is released in this research. Samples prepared in three different concentrations. In a simple optical setup by using simple optical relation samples refraction calculated in 532 nm wavelength that supported by Nd:YAG laser. Results show that the nonlinear refraction of samples in this wavelength increases due to increasing of concentration.

Keywords: Cu/rGO, Nanocomposite, Nonlinear refraction index, Z-Scan technique

مقدمه

شود تا به رنگ زرد روشن درآید. تا اینجا محلول گرافن اکسید را بدست آورده ایم. در این مرحله برای اضافه کردن ناخالصی مس بدین ترتیب عمل می‌کنیم. ۲۰ میلی‌لیتر محلول ۲٪ حجمی $CuSO_4$ آماده کرده و در حالی که محلول به شدت در حال هم‌خوردن است ۱۰ میلی‌لیتر گرافن اکسید را به آرامی به آن اضافه می‌شود. در آخر ۲۰ میلی‌لیتر هیدرازین هیدرات و ۶۰ میلی‌لیتر آمونیاک به مخلوط اضافه می‌شود. مخلوط برای مدت ۳ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد به هم زده می‌شود تا واکنش کامل شود [۶]. در شکل (۱) تصویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) نانوذرات مس نشان داده شده است. با توجه به شکل اندازه نانوذرات ۴۰ نانومتر تخمین زده شده است.



شکل ۱: تصویر SEM نانوذرات مس بر روی صفحات گرافن.

چیدمان جاروب - Z با دریچه بسته

روش جاروب-Z روشی ساده و حساس برای مشخص کردن ضریب شکست غیر خطی است [۵]. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، در این روش پرتو لیزر در

از سال ۲۰۰۶ تاکنون، خواص متعددی از گرافن ناب (Pristine Graphene) آشکار شده است. خواص گرافن شامل تحرک بالای بار (تحرک الکترون‌ها و حفره‌ها حدود $23000 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$) به همراه جذب نور مرئی حداکثر تا ۳/۲٪، هدایت حرارتی عالی (3000 W/mK)، استحکام بالا (130 GPa) و مساحت سطح ویژه‌ی زیاد به لحاظ تئوری ($2600 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$) می‌باشد [۳ و ۱ و ۲]. گرافن خواص نوری غیرخطی خوبی از خود نشان می‌دهد. برای مثال در لیزرهای فوق سریع به‌عنوان جاذب‌های اشباع‌پذیر به کار برده می‌شود [۴]. شیخ بهایی و همکارانش در سال ۱۹۸۹ روش جاروب-Z که روشی بسیار ساده و در عین حال حساس برای اندازه‌گیری ضریب جذب و ضریب شکست غیرخطی است را معرفی کردند [۵]. از اینرو این روش به دلیل سادگی در چیدمان و تفسیر داده‌ها، بسیار سریع مورد توجه پژوهشگران قرار گرفت. در این مقاله از این روش برای تعیین ضرایب جذب خطی و ضریب شکست غیرخطی برای نمونه Cu/rGO استفاده شده است.

سنتز Cu/rGO

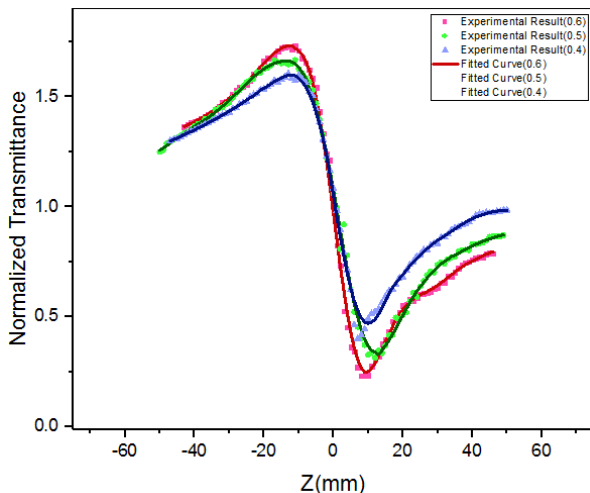
ابتدا گرافن اکسید طبق روش هامرز سنتز می‌شود [۷ و ۶]. بدین ترتیب ۴ گرم پودر گرافن و ۴ گرم $NaNO_3$ به ۲۰۰ میلی‌لیتر H_2SO_4 غلیظ در دمای صفر درجه سانتیگراد اضافه می‌شود. باید توجه داشت که این کار به آرامی و در حالی که اسید در حال هم‌خوردن است در یک ظرف ۱۰۰۰ میلی‌لیتری صورت می‌پذیرد. سپس ۳۰ گرم $KMnO_4$ به آرامی به مخلوط در حال هم‌خوردن اضافه می‌شود؛ آنگاه ۹۰ دقیقه طول می‌کشد تا واکنش کامل شود. در این مرحله مخلوط تا دمای اتاق سرد می‌شود و بعد به آرامی آب دوبار یونیزه صفر درجه سانتیگراد، به آن اضافه می‌شود. در نهایت H_2O_2 ۳۰٪ به محلول اضافه می‌-

برای قرار دادن نمونه در مسیر پرتو لیزر از کووت کوارتزی به ضخامت داخلی ۱ میلی‌متر استفاده شده‌است. برای بدست آوردن طول موثر از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.

$$L_{eff} = \frac{(1 - e^{-\alpha L})}{\alpha} \quad (۴)$$

نتایج آزمایش

پس از انجام محاسبات و همچنین اندازه گیری های تجربی در شکل ۳ نمودار تراگسیلندگی بهنجار شده برای نمونه ها با سه غلظت متفاوت رسم شده‌است.



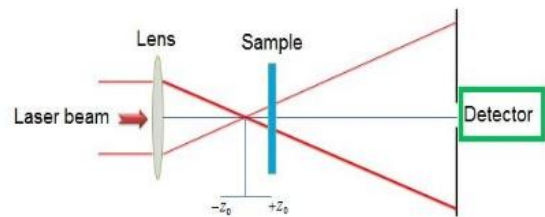
شکل ۳: نمودار تراگسیلندگی بهنجار شده برای سه غلظت ۰/۶، ۰/۵ و ۰/۴ (میلی گرم بر میلی لیتر) از Cu/rGO.

همچنین جذب خطی نمونه ها محاسبه شده است. که در جدول (۱) مقادیر α ، L_{eff} و ΔT_{pv} برای نمونه ها گزارش گردیده‌است.

جدول ۱: مقادیر α ، L_{eff} و ΔT_{pv} برای غلظت های مختلف Cu/rGO.

غلظت Cu/rGO (mg/ml)	$\alpha (mm^{-1})$	L_{eff}	ΔT_{pv}
۰/۶	۴/۱۸	۰/۰۸۲	۱/۵۰
۰/۵	۳/۶۴	۰/۰۸۴	۱/۳۴
۰/۴	۳/۳۳	۰/۰۸۵	۱/۱۸

یک چیدمان خطی توسط یک عدسی با فاصله کانونی مشخص (در اینجا ۸ سانتی متر) متمرکز می‌شود. یک روزنه در نزدیکی آشکارساز قرار گرفته و توان عبوری را محدود می‌کند. نمونه توسط یک جابجاگر با گام‌های مساوی و کوچک اطراف کانون جابجا شده و با جابجایی نمونه شدت عبوری برای هر گام و برحسب موقعیت نمونه نسبت به کانون ثبت می‌گردد.



شکل ۲: چیدمان روبش Z- با دریچه بسته.

در این مقاله از لیزر پیوسته نتودیم-یاگ با طول موج ۵۳۲ نانومتر استفاده شده‌است. نمودار تراگسیلندگی بهنجار شده بر حسب Z برای حالت دریچه بسته نشان داده شده- است. معادله (۱) و (۲) رابطه بین شیفیت فاز و اختلاف گذردهی بهنجار شده بین قله و دره را نشان می‌دهد [۵].

$$\Delta\phi_0 = \frac{2\pi}{\lambda} n_2 I_0 L_{eff} \quad (۱)$$

$$\Delta T_{pv} = 0.406(1 - S)^{0.25} |\Delta\phi| \quad (۲)$$

که در آن λ طول موج لیزر، I_0 شدت روی محور در کانون عدسی، L_{eff} طول موثر نمونه، S گذردهی خطی روزنه و ΔT_{pv} اختلاف گذردهی بین قله و دره می‌باشد. نکته قابل توجه در این روش قابلیت تعیین علامت ضریب شکست غیر خطی است. همچنین ضریب جذب خطی از طریق قانون بیر-لامبرت بدست می‌آید.

$$\log \frac{I}{I_0} = \alpha L \quad (۳)$$

مرجع ها

- [1] Partoens, B., & Peeters, F. M. (2006). From graphene to graphite: Electronic structure around the K point. *Physical Review B*, 74(7), 075404.
- [2] Nair, R. R., Blake, P., Grigorenko, A. N., Novoselov, K. S., Booth, T. J., Stauber, T., ... & Geim, A. K. (2008). Fine structure constant defines visual transparency of graphene. *Science*, 320(5881), 1308-1308
- [3] Bolotin, K. I., Sikes, K. J., Jiang, Z., Klima, M., Fudenberg, G., Hone, J., ... & Stormer, H. L. (2008). Ultrahigh electron mobility in suspended graphene. *Solid State Communications*, 146(9-10), 351-355
- [4] Bao, Q., Zhang, H., Wang, Y., Ni, Z., Yan, Y., Shen, Z. X., ... & Tang, D. Y. (2009). Atomic-layer graphene as a saturable absorber for ultrafast pulsed lasers. *Advanced Functional Materials*, 19(19), 3077-3083.
- [5] M. Sheik-Bahae, A.A. Said, T.-H. Wei, D.J. Hagan, E.W. Van Stryland, sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam, *Quantum Electronics*, IEEE journal of, 26 (1990) 760-769
- [6] Z.F. Jia, T.D. Chen, J. Wang, J.J. Ni, H.Y. Li, X. ShaoSynthesis, characterization and tribological properties of Cu/reduced graphene oxide composites *Tribol Int*, 88 (2015), pp. 17-24
- [7] Hummers WS, Offeman RE. Preparation of graphitic oxide. *J Am Chem Soc* 1958;80:1339.

با استفاده از مقادیر داده شده در جدول (۱) و معادله‌های (۱) و (۲) ضریب شکست غیرخطی برای نمونه‌ها محاسبه شده و همانطور که در جدول (۲) نشان داده شده‌است، بازه تغییرات ضریب شکست غیرخطی برای سه غلظت از $10^{-7} \text{ cm}^2/\text{W}$ تا $6/0.3$ می‌باشد.

جدول ۲: نمونه‌ها با غلظت متفاوت و ضریب شکست غیر خطی آن‌ها.

غلظت Cu/rGO (mg/ml)	$10^{-7} \times$ ضریب شکست غیر خطی (cm^2/W)
۰/۶	۷/۹۹
۰/۵	۶/۹۶
۰/۴	۶/۰۳

نتیجه گیری

اگرچه این روش برای اندازه گیری ضرایب غیرخطی دقت بسیار بالایی ندارد، اما دو نکته حائز اهمیت است؛ اول اینکه علامت ضریب شکست غیر خطی برای این نمونه‌ها منفی می‌باشد و دوم اینکه تغییر غلظت نمونه‌ها متناسب با تغییر مقادیر ضریب شکست غیر خطی می‌باشد. ملاحظه می‌شود که با افزایش نانوذرات Cu/rGO در محلول، مقادیر ضریب شکست غیرخطی افزایش می‌یابد. که این امر به دلیل افزایش تعداد نانوذرات در سطح مقطع برخورد با پرتو لیزر می‌باشد.