



بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹



کد مقاله : ۱-۲۵۲۴-۱۰-A

بررسی خواص اپتیکی گرافن محلول در آب با غلظت‌های مختلف سنتز شده به روش لایه برداری الکتروشیمیایی

میرجواد حسینی شفیعی^{۱*}، محمد جمالی^۱، سید محمد حسین خلخالی^۱، سلمان مهاجر مازندرانی^۱

^۱دانشگاه خوارزمی، دانشکده فیزیک، آزمایشگاه ماده چگال، آزمایشگاه فوتونیک

Std_javadhosseini@khu.ac.ir, m_khalkhali@khu.ac.ir, mohajer@khu.ac.ir, mohamadj76@yahoo.com

چکیده- در این پژوهش ضرایب اپتیکی گرافن در غلظت‌های مختلف با تکنیک جاروب محوری اندازه گیری شده است. ابتدا گرافن بوسیله روش لایه برداری الکتروشیمیایی تولید شده و سپس غلظت‌های مشخصی از آن در آب آماده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با افزایش غلظت گرافن ضریب جذب خطی افزایش و ضریب شکست غیرخطی کاهش می‌یابد. این مقادیر به ترتیب از مرتبه $10^{+1}(m^{-1})$ و $10^{-7}(\frac{cm^2}{w})$ است.

کلید واژه- گرافن، لایه برداری الکتروشیمیایی، روش جاروب محوری Z

Investigation of optical properties of water soluble graphene with different concentrations synthesized by electrochemical exfoliation method

M.JavadHosseiniShafi^{1,2}, Mohammad Jamali^{1,3}, SeyedMohammadhosseinKhalkhali^{1,2}, Salman MohajerMazandarani^{1,3}

¹Kharazmi University, Physics Department, ²Condensed Matter Laboratory, ³Photonics Laboratory

Std_javadhosseini@khu.ac.ir, m_khalkhali@khu.ac.ir, mohajer@khu.ac.ir, mohamadj76@yahoo.com

Abstract- In this research, the optical coefficients of graphene at different concentrations have been measured by the Z-scan technique. First, graphene is produced by electrochemical exfoliation method and then certain concentrations of graphene are prepared in water. The results show that with increasing graphene concentration, the linear absorption coefficient increase and the nonlinear refractive index decrease. These values are of the order $10^{+1}(m^{-1})$ and $10^{-7}(\frac{cm^2}{w})$, respectively.

Keywords: graphene, electrochemical exfoliation, Z-scan technique

مقدمه

می‌تواند اطلاعات زیادی از ویژگی‌های نور و فرآیندهای دینامیکی را فراهم کنند تا بتوان ویژگی‌های ساختاری مواد را بهتر درک کرد [5]. یکی از این تکنیک‌ها جاروب محوری است. با استفاده از تکنیک جاروب محوری که اولین بار توسط شیخ بهایی ابداع شد، اندازه‌گیری ویژگی‌های غیرخطی مواد از طریق روش روزنه بسته مورد بررسی قرار می‌گیرد [6].

در این پژوهش خاصیت اپتیکی گرافن با غلظت‌های مختلف در حلال آب، با استفاده از چیدمان خطی برای اندازه‌گیری ضریب جذب خطی و چیدمان جاروب محوری برای اندازه‌گیری ضریب شکست غیرخطی و ارتباط آن با پذیرفتاری الکتریکی و در نتیجه هدایت الکتریکی گرافن گزارش شده است.

تئوری

برای اندازه‌گیری جذب خطی با استفاده از قانون بیر-لامبرت رابطه بین شدت نور ورودی و جذب شده در ماده بیان می‌شود.

با توجه به شیب نمودارهای شکل ۳ مقدار $\frac{I_0}{I}$ را برای هر کدام به دست می‌آید و از روی لگاریتم آن مقدار ضریب جذب α را برای غلظت‌های مختلف گرافن محاسبه می‌شود. در حالت غیرخطی با استفاده از روابط تغییر فاز و شدت عبوری نرمال شده، ضریب شکست غیرخطی نمونه در حالت روزنه بسته از رابطه ۲ به دست می‌آید [7]:

$$n_2 = \frac{2\pi L_{eff} \alpha I_0}{\lambda^2 \Delta n} \quad (1)$$

گرافن یکی از دیگر شکل‌های کربن است که اتم‌های کربن بصورت دوبعدی با ضخامتی به اندازه یک اتم کربن با هیبریداسیون sp^2 کنار هم قرار گرفته‌اند. هر اتم کربن به سه اتم کربن همسایه توسط پیوند σ که یک پیوند کووالانسی قوی است، متصل شده است و یک ساختار شش‌گوشی ایجاد کرده- اند [2]. در سال ۲۰۰۴ یک مطالعه‌ی متفاوت و ساده توسط نووسلوف و همکارانش برای اولین بار منجر به ساخت گرافن شد. یک صفحه‌ی منفرد از گرافیت سه بعدی با استفاده از روشی به نام ورقه ورقه شدن میکرومکانیکی به دست آمد [3]. لایه برداری الکتروشیمیایی گرافن در سال ۲۰۰۶ به دست آمد [4].

یک رویکرد بسیار امیدوار کننده برای تولید گرافن در مقیاس بزرگ می باشد. یکی از ویژگی‌های گرافن، تحرک الکترونی بالای آن است. گرافن رساناترین ماده در دمای اتاق با رسانایی $10^6 S/m$ است و این ناشی از تحرک الکترونی آن به اندازه $2 \times 10^5 cm^2/V.s$ می باشد [4].

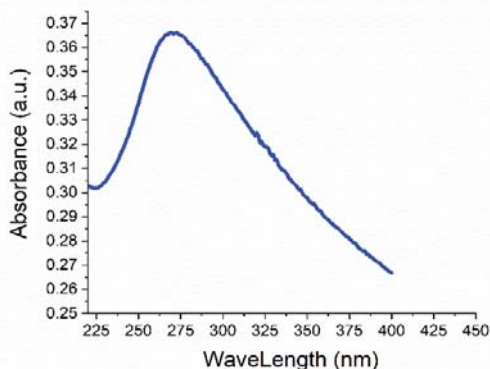
در این رابطه، S شدت نور عبوری از روزنه به شدت کل نور رسیده به صفحه روزنه و L_{eff} طول موثر است که از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$I_0 = \frac{2P_0}{\pi W_0^2} \quad (4)$$

به

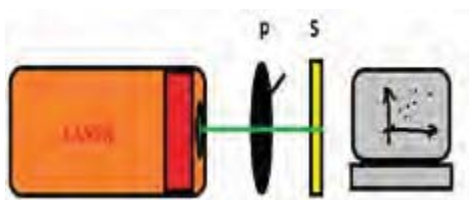
آثار غیرخطی نور به دلیل اعمال نور شدید باعث ایجاد قطبش غیرخطی در مواد می‌شود. قطبش غیرخطی پارامترهای میکروسکوپی را تغییر داده و می‌تواند طیف گسترده‌ای از پدیده‌های نوری را ایجاد نماید. از پدیده‌های نوری غیرخطی مانند جذب غیرخطی، ضریب شکست غیرخطی، پراکندگی غیرخطی و پدیده‌های تبدیل فرکانس نوری می‌توان برای بررسی ویژگی‌های غیرخطی مواد استفاده شود. آثار اپتیکی غیرخطی از برهمکنش‌های میدان نوری با الکترون‌ها و فونون‌ها ناشی می‌شود. به طور خاص، میدان الکتریکی با الکترون‌های پوسته بیرونی اتم‌های کربن تشدید می‌شود و ابر الکترونی را با توجه به هسته جا به جا می‌کند و موجب پیدایش یک دوقطبی خالص لحظه‌ای می‌شود که رابطه مستقیم با میدان ورودی دارد [1]. بنابراین می‌توان از این آثار برای مطالعه خواص فونونی مواد دوبعدی مانند گرافن استفاده نمود.

نمودار شکل ۲ طیف مرئی-فرابنفش نمونه را نشان می‌دهد که در ناحیه طول موجی 270 nm دارای طیف جذبی است که تایید کننده وجود گرافن می باشد [9].



شکل ۲. طیف جذبی مرئی-فرابنفش گرافن

برای اندازه‌گیری جذب خطی از چیدمان شکل ۳ استفاده می‌شود. باید توجه داشت که برای رساندن پراکندگی به حداقل مقدار ممکن باید آشکارساز در کمترین فاصله‌ی ممکن تا نمونه قرار بگیرد. همان طور که در شکل ۴ نشان داده شده است با افزایش توان ورودی، توان خروجی بصورت خطی افزایش می‌یابد و با توجه به شیب نمودار، میزان جذب خطی نمونه از قانون بیر-لامبرت اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۳. چیدمان اپتیکی برای اندازه‌گیری ضریب جذب خطی

برای اندازه‌گیری ضریب شکست غیرخطی در غلظت‌های گوناگون، برای گرافن از منبع نور لیزر Nd:YAG (طول موج 532 nm و بیشینه توان 50 mW) استفاده می‌شود. فاصله نقطه کانونی تا روزنه 80 cm است. همچنین از یک لنز همگرا با فاصله کانونی 8 cm استفاده شده و نور در راستای محور اپتیکی به نمونه تابیده می‌شود. در تکنیک جاروب محوری با استفاده از روزنه بسته، قطر دهانه روزنه 5 mm است.

دست می‌آید که در آن P_0 توان ورودی و W_0 شعاع کمره پرتو ($40\text{ }\mu\text{m}$) است.

مواد و روش‌ها

لایه برداری الکتروشیمیایی (آندی) توسط دو الکتروود شامل یک قطعه ورق گرافیت با خلوص بالا به ابعاد $6 \times 3\text{ cm}$ به عنوان الکتروود کارکننده و یک میله گرافیتی به عنوان الکتروود شمارنده که بصورت موازی به فاصله 2 cm از هم قرار گرفته‌اند، انجام شد. هر دو الکتروود در یک محلول الکتروولیت آبی 150 ml ترکیبی از Na_2SO_4 به میزان 0.1 M بعنوان الکتروولیت اصلی و KCl با غلظت 0.05 M ، به عنوان افزودنی به منظور جلوگیری از اکسید شدن گرافن در حین لایه برداری، غوطه‌ور شدند. برای ایجاد لایه لایه‌شدگی گرافیت، با استفاده از منبع تغذیه DC، ولتاژ $+10\text{ V}$ به الکتروود ورق گرافیت اعمال شد. در طی فرآیند الکتروولیز، لایه‌های بیرونی الکتروود گرافیت متورم شده و از الکتروود جدا می‌شوند. پس از آن، این قطعات با مقادیر زیادی آب دیونیزه شستشو داده شده و در فشار پایین خشک شدند. ماده حاصل در آب دیونیزه ریخته و در دستگاه التراسونیک حمامی به مدت سه ساعت همگن سازی شد و در نهایت به مدت 20 دقیقه با نرخ 4000 دور در دقیقه برای بدست آوردن محلول کلونیدی از صفحات گرافنی، سانتریفیوژ شد [8].



شکل ۴. ۱. محلول گرافن در آب با غلظت 45 mg/ml

غلظت گرافن ($\frac{mg}{ml}$)		
0.25	-1.6623	0.99425
0.35	-1.6510	1.10292
0.45	-1.1145	۱.۱۲۲۷۰

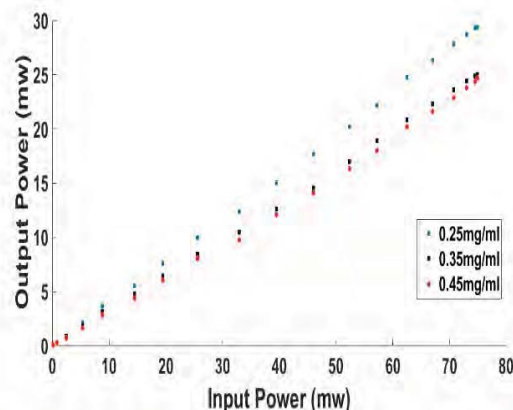
جدول ۱. مقادیر کمیت‌های اپتیکی اندازه‌گیری شده

نتیجه گیری

در این پژوهش نشان داده شده است که گرافن با غلظت‌های مختلف دارای خاصیت غیرخطی می‌باشند. افزایش غلظت موجب ازدیاد مراکز جذب نور در داخل محلول شده و در نتیجه مقدار ضریب جذب خطی افزایش پیدا کرده است. اما از طرف دیگر ضریب شکست غیرخطی با افزایش غلظت گرافن کاهش یافته است. ضریب جذب خطی از مرتبه $10^{-1}(m^{-1})$ و ضریب شکست غیرخطی منفی و از مرتبه $10^{-7}(\frac{cm^2}{w})$ است.

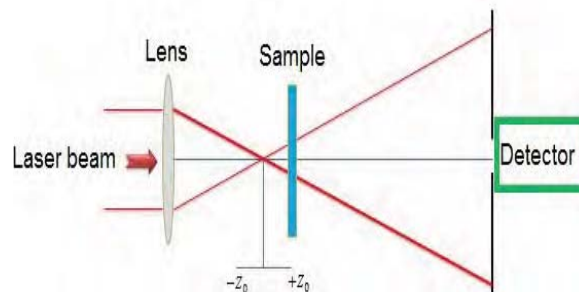
مرجع‌ها

- [1] P. P. Banerjee, *Nonlinear optics: theory, numerical modeling, and applications*. CRC Press, 2003.
- [2] G. Yang, L. Li, W. B. Lee, and M. C. Ng, "Structure of graphene and its disorders: a review," *Sci. Technol. Adv. Mater.*, vol. 19, no. 1, pp. 613–648, 2018, doi: 10.1080/14686996.2018.1494493.
- [3] K. S. Novoselov *et al.*, "Electronic properties of graphene," *Phys. status solidi*, vol. 244, no. 11, pp. 4106–4111, 2007.
- [4] Z. Zhen and H. Zhu, "Structure and properties of graphene," in *Graphene*, Elsevier, 2018, pp. 1–12.
- [5] B. E. A. Saleh and M. C. Teich, *Fundamentals of photonics*. John Wiley & sons, 2019.
- [6] M. Sheik-Bahae, A. A. Said, T.-H. Wei, D. J. Hagan, and E. W. Van Stryland, "Sensitive measurement of optical nonlinearities using a single beam," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 26, no. 4, pp. 760–769, 1990.
- [7] R. Boyd, *Contemporary nonlinear optics*. Academic Press, 2012.
- [8] J. M. Munuera, J. I. Paredes, et al., *Appl. Mater. Today*, vol. 11, pp. 246–254, 2018.
- [9] Q. Lai, S. Zhu, X. Luo, M. Zou, and S. Huang, "Ultraviolet-visible spectroscopy of graphene oxides," *Aip Adv.*, vol. 2, no. 3, p. 32146, 2012.

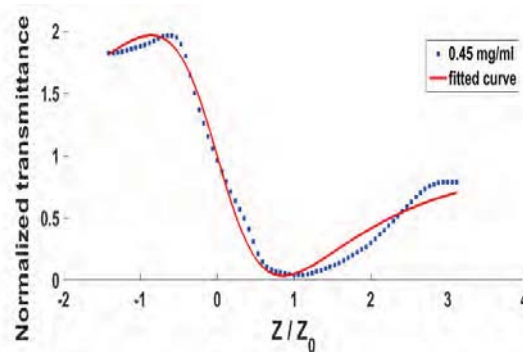


شکل ۴. نمودار خطی توان خروجی برحسب توان ورودی گرافن

با توجه به نمودارهای شکل 6 به دلیل ایجاد قله در ابتدای نمودار، علامت ضریب شکست غیرخطی همواره منفی است و با در نظر گرفتن ضریب جذب خطی برای هر غلظت، مقادیر n_2 متفاوت‌اند که در جدول ۱ مشاهده می‌شود.



شکل ۵. چیدمان جاروب محوری



شکل ۶. نمودار شدت نرمال شده عبوری نشان‌دهنده رفتار غیرخطی گرافن