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

# بررسی تاثیر لایه نشانی گرافین بر روی حساسیت ضریب شکستی حسگر توری براگ با تناوب بلند

معصومه پاک[۲]، حامد نیکبخت[۱]، ابراهیم بحرودی[۱] و حمید لطیفی[۱]

[۱]پژوهشکده لیزر و پلاسما ، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

[۲]دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

**چکیده – امروزه اندازه گیری ضریب شکست در حجم های کوچک و با دقت بالا کاربردهای وسیعی پیدا کرده است. حسگرهای فیبر نوری از جمله ابزارهایی هستند که به این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مقاله از لایه نشانی گرافین برای افزایش حساسیت حسگر توری براگ با تناوب بلند استفاده شده است. در قدم اول حسگر ساخته شده و پس از آن اندازه گیری ضریب شکست در دو حالت بدون لایه نشانی گرافین و با لایه نشانی گرافین انجام گرفته است. با بررسی نتایج آزمایشات، تاثیر حضور گرافین بر حساسیت حسگر بررسی شده است. افزایش حساسیت تا بیش از ۵ برابر مشاهده شد.**

کلید واژه- حسگر ضریب شکست، فیبرنوری، گرافین، توری براگ با تناوب بلند

# Investigation of the effects of Graphene coating on the refractive index sensitivity of Long-Period fiber grating sensor

Masume Pak[2], Hamed Nikbakht[1], Ebrahim Behroodi[1], Hamid Latifi[1]

[1]Laser & Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

[2]Department of Physics, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract- Nowadays Measurements of refractive index in a small volume with high precision has found lots of applications. Optical fiber sensors, are one family of devices that are used for this purpose. In this paper, Graphene was used to increase the sensitivity of long period grating sensors. In the first step the sensor was fabricated, then refractive index measurement with bare and graphene coated sensors was done. By study these results of tests the effect of graphene on the sensitivity was investigated. More than 5 times increase in the sensitivity was observed.

Keywords: Refractive index sensor, Optical fiber, Graphene, Long-Period fiber grating

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-18 ]



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

## ۱- مقدمه

امروزه ساخت و بهینه سازی حسگرهای ضریب شکست به دلیل قابلیت استفاده در آزمایشات زیستی و شیمیایی، آشکارسازهای گاز و بررسی آلاینده ها مورد توجه قرار گرفته اند. حسگرهای مختلفی برای این منظور به کار می روند که از جمله آنها حسگرهای فیبر نوری هستند. حسگرهای فیبرنوری براساس اندازه گیری تغییرات یک یا چند مشخصه از نور عبوری از قبیل شدت، فاز، طول موج و هم چنین قطبش ناشی از تغییرات پارامترهای فیزیکی محیط عمل می کنند. افزایش حساسیت در این حسگرها موضوعی است که محققان در این زمینه را به خود مشغول کرده است. روش های مختلفی برای افزایش حساسیت مطرح است که یکی از این روش‌ها لایه نشانی مواد و یا نانوذرات مختلف روی سطح حسگر می‌باشد. توری براگ با تناوب بلند[۱] از جمله حسگرهای فیبرنوری است که به صورت گسترده برای اندازه گیری ضریب شکست مورد استفاده قرار می گیرد[۱].

در سالهای اخیر گرافین به علت داشتن خواص فوق العاده در رسانندگی الکتریکی و رسانندگی گرمایی، چگالی بالا، تحرک پذیری حامل‌های بار و خواص مکانیکی جالب به عنوان یک ماده منحصر به فرد مطرح شده است[۲]. گرافین ساختار دو بعدی و تک لایه با شبکه لانه زنبوری از اتم‌های کربن می‌باشد. در این ساختار هر اتم کربن با ۳ اتم کربن دیگر پیوند کووالانسی با طول پیوندی در حدود ۰٫۱۴۲ نانومتر دارد [۳]. به علت چهار ظرفیتی بودن اتم کربن، گرافین یک پیوند آزاد دارد که مکان مناسبی برای قرار گرفتن گروه های عاملی است. این موضوع سبب شده تا این ماده گزینه مناسبی برای ساخت حسگر شیمیایی باشد [۴]. اخیرا از این ماده برای افزایش حساسیت ضریب شکستی در مرز دو دی الکتریک استفاده شده و قابلیت استفاده از آن در این کاربرد مشخص شده است [۵].

در این مقاله به بررسی اثر حضور گرافین بر عملکرد توری براگ با تناوب بلند پرداخته شده است. این کار مستلزم اندازه گیری ضریب شکست در دو حالت، بدون لایه نشانی گرافین و با لایه نشانی گرافین و سپس مقایسه نتایج به دست آمده در این دو حالت است.

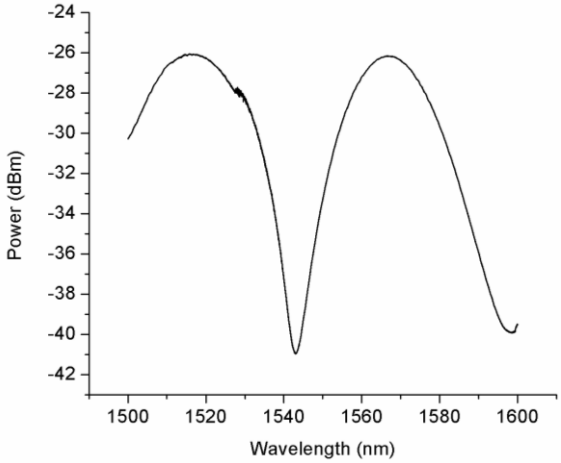
## ۲- تئوری

توان اپتیکی در طول فیبر نوری توسط مدهای مغزی منتقل می شود و در توری براگ با تناوب بلند این توان بین مدهای مغزی و غلاف جفت می شود. فرایند جفت شدگی به صورت رابطه‌ی زیرتعریف می شود [۶]:

$$\lambda \equiv (n_{eff}^{co} - n_{eff}^{p})\Lambda \qquad (۱)$$

که در آن $\Lambda$، $n_{eff}^{co}$ و $n_{eff}^{p}$ به ترتیب تناوب توری و ضریب شکست موثر هریک از مدهای مغزی و p امین مد غلاف است.

نور در فیبر در مد پایه منتشر می شود و پس از جفت شدگی مد پایه با مدهای مختلف غلاف، نور در طول توری دوباره به درون مغزی کوپل می شود و این فرایند تا انتهای توری ادامه دارد. در اثر این فرایند یک سری باند اتلاف یا تشدید در مد های هدایت شده به وجود می آید [۷].




شکل ۱- طیف عبوری از حسگر توری براگ با تناوب بلند

طول موج تشدید بستگی شدیدی به فشار، دما و ضریب شکست محیط اطراف دارد. در آشکارسازی ضریب شکست میزان بازتاب از مرز غلاف و محیط پیرامون کمیت تعیین کننده ای در تعیین طول موج تشدید است. اگر میزان تغییرات ضریب بازتاب فرنل در اثر تغییرات ضریب شکست محیط اطراف افزایش داده شود، انتظار می‌رود حساسیت طیف عبوری به ضریب شکست افزایش

[۱] Long Period fiber Grating (LPG)



[ Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-18 ]

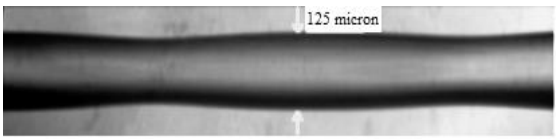
یابد.

## ۳- روش تجربی

برای بررسی عملکرد حسگر، محلول هایی با ضرایب شکست مختلف در تماس با حسگر قرار داده شد. تغییرات ضریب شکست با بررسی تغییرات طیف قابل اندازگیری است. آزمایشات در دو مرحله بدون لایه نشانی گرافین و با لایه نشانی گرافین انجام شده و نتایج با یکدیگر مقایسه می‌شوند و تاثیر لایه نشانی گرافین در عملکرد حسگر بررسی می‌شود.

### ۳-۱- ساخت حسگر:

برای ساخت حسگر از روش گرما - کشش با استفاده از لیزر $CO_2$ استفاده شده است. در این روش ابتدا تعداد پالس وارد شده یه فیبر، کشش و میزان جابجایی تعیین شده و پس از برخورد هر پالس، فیبر توسط یک جابجاگر خطی با دقت ۱۰۰ نانومتر کشیده می شود. این کار به شکل نقطه به نقطه تکرار می شود. در تمامی مراحل ساخت حسگر طیف عبوری از فیبر توسط یک طیف سنج[۲] مشاهده می شود، تا با مشاهده طیف دلخواه فرایند متوقف شود.




شکل ۲- یک نمونه از حسگر توری براگ با تناوب بلند

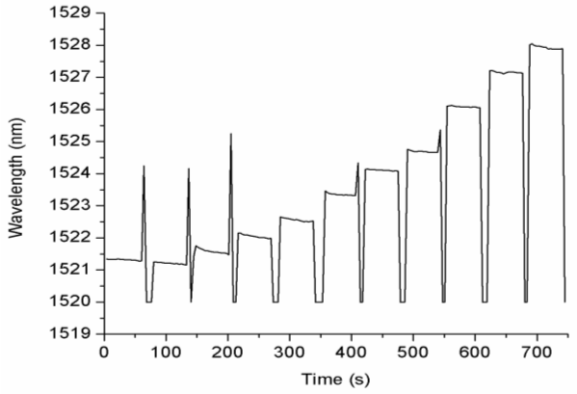
### ۳-۲- لایه نشانی گرافین:

در آزمایشات از پوسته‌های گرافین[۳] با ضخامت کمتر از ۲۰ نانومتر استفاده شده است. برای تهیه محلول گرافین از اتانول به عنوان حلال استفاده شده به طوری که به ازای هر ۰.۱ میلی گرم پوسته گرافین، ۱ میلی لیتر اتانول اضافه شده و محلول به مدت ۱۵ دقیقه در معرض امواج فراصوت[۴] قرار می‌گیرد تا محلول همگن و یکنواختی ایجاد شود. بعد از تهیه محلول از روش لایه نشانی غوطه وری[۵] برای لایه نشانی گرافین استفاده می شود.

### ۳-۳- آزمایش ضریب شکست:

برای به دست آوردن حساسیت حسگر، عملکرد آن در مواجه با ضریب شکست‌های متفاوت بررسی می‌شود. برای ساخت محلول با ضریب شکست‌های مختلف از غلظت-های متفاوت محلول آب-نمک بین ٪۰.۱ تا ٪۲۶ وزنی (وزن کل/ وزن نمک) استفاده شده است.

نور پهن باند با طول موج مرکزی ۱۵۰۰ نانومتر به درون حسگر فرستاده می‌شود و طیف عبوری از آن هر یک ثانیه یک بار ذخیره می‌شود. هر غلظت به مدت یک دقیقه در تماس با حسگر است. طول موج کمینه در کل داده‌ها دنبال می شود تا رفتار آن مورد بررسی قرار گیرد. هر آزمایش سه بار تکرار می‌شود تا تکرار پذیری حسگر مورد بررسی قرار گیرد.




شکل ۳- تغییرات یک طول موج کمینه در طول آزمایش

در شکل (۳) رفتار کمینه طول موج در زمان آزمایش مشاهده می‌شود. در این نمودار هر بخشی که به شکل یک خط صاف است نشان دهنده یک غلظت مشخص است. وقتی هر محلول برادشته می شود هوا اطراف حسگر را احاطه کرده و ضریب شکست به طور ناگهانی تغییر کرده که در نمودار بالا تغییرات ناگهانی نشان دهنده همین مسئله است. باتوجه به نتایج به دست آمده از تکرار آزمایش های یک حسگر می توان نمودار ضریب شکست-طول موج را برای حسگرهای مختلف رسم کرد.

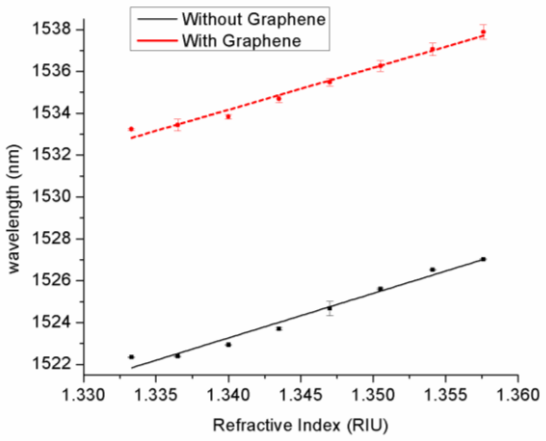
---

[۲] Bragg meter
[۳] Graphene flakes
[۴] Ultrasonic
[۵] Dip Coating

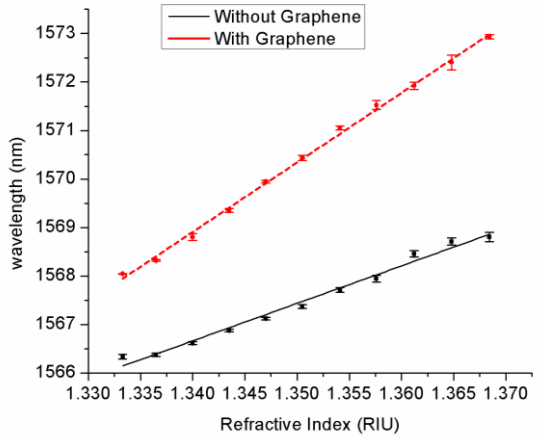


[ Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-18 ]

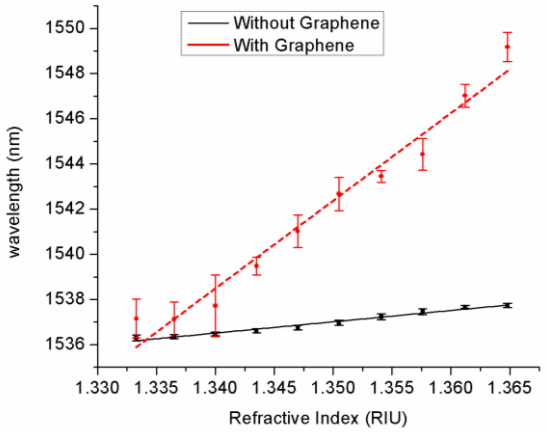
شکل‌های (۴) تا (۶) نمودار ضریب شکست- طول موج مربوط به حسگرها با لایه نشانی و بدون لایه نشانی گرافین را نشان می‌دهند. در جدول ۱ نیز مقایسه حساسیت حسگرها در حالت با گرافین و بدون گرافین آمده است.




شکل ۴- نمودار ضریب شکست طول موج حسگر شماره ۱




شکل ۵- نمودار ضریب شکست-طول موج حسگر شماره ۲




شکل ۶- نمودار ضریب شکست-طول موج حسگر شماره ۳

جدول ۱- حساسیت حسگرهای ساخته شده با لایه نشانی و بدون لایه نشانی گرافین

| شماره حسگر | حساسیت بدون گرافین(nm/RIU) | حساسیت با گرافین (nm/RIU) | میزان افزایش حساسیت |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۲۱۳.۱۵۷±۰.۰۰۳ | ۲۴۹.۱۰۴±۰.۰۲۰ | ۱.۱۶ |
| ۲ | ۷۶.۵۲۱±۰.۰۰۳ | ۱۴۷.۲۱۲±۰.۰۰۵ | ۱.۹۲ |
| ۳ | ۵۱.۸۹۹±۰.۰۰۳ | ۲۷۸.۸۸۰±۰.۰۲۹ | ۵.۳۷ |

## ۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله تاثیر حضور گرافین بر حساسیت ضریب شکستی حسگر گرافین مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا حسگرتوری براگ با تناوب بلند با روش کشش- گرما ساخته شده و سپس با مقایسه نتایج به دست آمده از آزمایشات در دو حالت بدون لایه نشانی و با لایه نشانی گرافین مشاهده شد که حضور گرافین می تواند حساسیت حسگر توری براگ با تناوب بلند را تا ۵ برابر افزایش دهد.

## مراجع


[1] *Grattan, K.T.V. and T. Sun, Fiber optic sensor technology: an overview. Sensors and Actuators A: Physical, 2000.* ***82****(1–3): p. 40-61.*

[2] *Nair, R.R., et al., Fine Structure Constant Defines Visual Transparency of Graphene. Science, 2008.* ***320****(5881): p. 1308-1308*

[3] *Novoselov, K.S., et al., Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene. Nature, 2005.* ***438****(7065): p. 197-200.*

[4] *Lu, Y., et al., DNA-decorated graphene chemical sensors. Applied Physics Letters, 2010.* ***97****(8): p.*

[5] *Xing, F., et al., Sensitive Real-Time Monitoring of Refractive Indexes Using a Novel Graphene-Based Optical Sensor. Sci. Rep., 2012. 2.*

[6] Vengsarkar, A.M., et al., *Long-period fiber-grating-based gain equalizers.* Optics Letters, 1996. **21**(5): p. 336-338.

[7] Vengsarkar, A.M., et al., *Long-period fiber gratings as band-rejection filters.* Lightwave Technology, Journal of, 1996. **14**(1): p. 58-65




[ Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-18 ]