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 افزایش حساسیت ضریب فرنل به ضریب شکست با لایه نشانی گرافین در مرز دو دی الکتریک

حامد نیکبخت، معصومه پاک و حمید لطیفی

پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، اوین، تهران، ایران

**چکیده –تغییر حساسیت ضرایب فرنل در مرز دو دی الکتریک به ضریب شکست می تواند در بهبود عملکرد حسگرهای ضریب شکست نقش بسزایی ایفا کند. در این مقاله ضرایب فرنل برای مرز دو محیط در حضور لایه گرافین در مرز محاسبه شده است. با استفاده از مشتق ضریب بازتاب فرنل نسبت به ضریب شکست محیط دوم، تاثیر مثبت لایه نشانی گرافین بر حساسیت ضریب شکستی ضریب بازتاب فرنل نشان داده شده است.**

کلید واژه- حسگر ضریب شکست، گرافین، ضرایب فرنل

# Investigation of sensitivity enhancement of Fresnel coefficients with Graphene coating in dielectric boundary

Hamed Nikbakht, Masome Pak, and Hamid Latifi

Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Evin, Tehran, Iran.

Abstract- changing sensitivity of Fresnel coefficient to refractive index in boundary of two dielectric can enhance refractive index functionality. In this paper Fresnel coefficient for boundary of two dielectric in presence of Graphene layer is calculated. Positive effect of Graphene coating on refractive index sensitivity of Fresnel reflection coefficient is demonstration utilizing reflection coefficient derivative relative to second medium refractive index.

Keywords: Refractive index sensor, Graphene, Fresnel coefficient

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01 ]



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

## ۱- مقدمه

گرافین ماده ای است با پایه کربنی که انتظار می رود انقلابی بزرگ در عرصه تکنولوژی ایجاد کند و در هرچه باهوش تر ، سریعتر و دقیق تر شدن دنیای آینده نقش داشته باشد. گرافین ساختار دو بعدی و تک لایه با شبکه لانه زنبوری کربنی می‌باشد. در این ساختار هر اتم کربن با ۳ اتم کربن دیگر پیوند کووالانسی به طول ۰،۱۴۲ نانومتر دارد. گرافین به دلیل داشتن خواص فوق العاده در رسانندگی، رسانندگی گرمایی، چگالی بالا، تحرک پذیری حامل های بار، رسانندگی اپتیکی و خواص مکانیکی به ماده‌ای منحصر به فرد تبدیل شده است[۱,۲].

این ویژگی ها گرافین را به عنوان گزینه‌ی بسیار مناسبی برای طراحی نسل بعدی قطعه های الکترونیکی و نوری هم چون ترانزیستورهای بالستیک، ساطع کننده های میدان، عناصر مدارهای مجتمع، الکترودهای رسانای شفاف و حسگرها مطرح کرده است. همچنین، رسانندگی الکتریکی و گذردهی نوری بالای گرافین، آن را به عنوان ماده ای مناسب برای الکترودهای رسانای شفاف، که مورد استفاده در صفحه‌های لمسی و نمایشگرهای بلوری مایع و سلول‌های فوتوالکتریک و به علاوه دیودهای آلی ساطع کننده نور (OLED) معرفی می‌کند[۳,۴]

دو بعدی بودن گرافین سبب شده تا قرارگیری این ماده بر روی سطح به صورت قرارگرفتن در مرز دو محیط دی الکتریک باشد. وقتی نور به مرز دو محیط برخورد می کند بخشی از نور بازتاب و بخشی عبور خواهد کرد که ضرایب فرنل تعریف شده ای برای بازتاب و عبور از هر مرز وجود دارد. این ضرایب به ضریب شکست محیط دو طرف مرز وابسته هستند. به عبارت دیگر تغییرات در ضریب شکست هر محیط ضرایب فرنل را تغییر می دهد. وابستگی ضریب بازتاب به ضریب شکست موجب وابستگی حساسیت ضریب شکست به حساسیت ضریب بازتاب شده است. پس هر چه حساسیت ضریب بازتاب بیشتر باشد، با استفاده از آن می توان به حسگرهای دقیق تری دست یافت.

## ۲- تئوری

برای بررسی میزان حساسیت ضریب بازتاب ابتدا باید ضرایب بازتاب و عبور فرنل محاسبه شود. این ضرایب برای مرز دو محیط در دو حالت بدون لایه نشانی گرافین و با لایه نشانی گرافین محاسبه شده است.

در حالتی که گرافین روی مرز وجود ندارد ضرایب فرنل برای دو قطبش TE و TM به شکل زیر است[۸]:

$$r_s = \frac{n_1 Cos\theta_i - n_2 Cos\theta_t}{n_1 Cos\theta_i + n_2 Cos\theta_t} \quad (۱)$$

$$t_s = \frac{2n_1 Cos\theta_i}{n_1 Cos\theta_i + n_2 Cos\theta_t} \quad (۲)$$

$$r_p = \frac{n_2 Cos\theta_i - n_1 Cos\theta_t}{n_2 Cos\theta_i + n_1 Cos\theta_t} \quad (۳)$$

$$t_p = \frac{2n_1 Cos\theta_i}{n_2 Cos\theta_i + n_1 Cos\theta_t} \quad (۴)$$

که در آن $\theta_t, \theta_i, n_2, n_1$ به ترتیب از راست ضریب شکست محیط اول، ضریب شکست محیط دوم، زاویه نور فرودی، زاویه نور عبوری می باشد. در حالت دوم روابط فرنل با فرض در نظر گرفتن گرافین به شکل یک جریان سطحی بر روی مرز محاسبه می شود. دوبعدی بودن گرافین و رسانندگی بالای آن علت این امر می باشد. شکل های (۱) و (۲) این جریان سطحی را نشان می دهند.

برای به دست آوردن ضرایب فرنل در حضور گرافین از مدلی استفاده شده که هدایت نرمالیزه است و نیازی به ضریب شکست گرافین نیست. هدایت نرمالیزه عبارتست از

$$G = mz_0\sigma_0 \quad (۵)$$

$$z_0\sigma_0 = \pi\alpha \quad (۶)$$

با توجه به رابطه (۵) و (۶) داریم:

$$G = m\pi\alpha \qquad , \qquad \alpha = \frac{1}{137} \quad (۷)$$

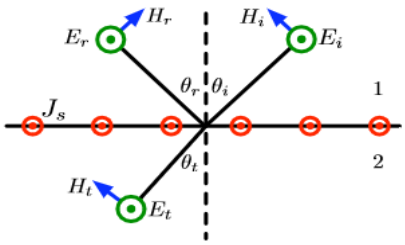
شرایط مرزی برای میدان های الکترومغناطیسی عبارتست از:

$$n\times(E_2 - E_1) = 0 \quad (۸)$$

$$n\times(H_2 - H_1) = J_s \quad (۹)$$



[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01 ]




شکل۱ – میدان های الکتریکی و مغناطیسی درقطبشS

$$E_i + E_r = E_t \qquad (۱۰)$$

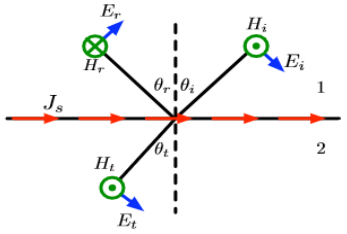
$$H_i Cos\theta_i - H_r Cos\theta_r = H_t Cos\theta_t + J_s \qquad (۱۱)$$

$$J_s = m\pi\alpha \qquad (۱۲)$$

در نتیجه ضرایب بازتاب و عبور فرنل در قطبش S عبارتند از:

$$r_s = \frac{n_1 Cos\theta_i - n_2 Cos\theta_t - m\pi\alpha}{n_1 Cos\theta_i + n_2 Cos\theta_t + m\pi\alpha} \qquad (۱۳)$$

$$t_s = \frac{2n_1 Cos\theta_i}{n_1 Cos\theta_i + n_2 Cos\theta_t + m\pi\alpha} \qquad (۱۴)$$




شکل۲ – میدان های الکتریکی و مغناطیسی درقطبشP

$$H_i - H_r = H_t + J_s \qquad (۱۵)$$

$$E_i Cos\theta_i + E_r Cos\theta_r = E_t Cos\theta_t \qquad (۱۶)$$

$$J_s = m\pi\alpha Cos\theta_t \qquad (۱۷)$$

در نتیجه ضرایب بازتاب و عبور فرنل در قطبش P عبارتند از:

$$r_p = \frac{n_1 Cos\theta_t - n_2 Cos\theta_i - m\pi\alpha Cos\theta_t Cos\theta_i}{n_1 Cos\theta_t + n_2 Cos\theta_i + m\pi\alpha Cos\theta_t Cos\theta_i} \qquad (۱۸)$$

$$t_p = \frac{2n_1 Cos\theta_i}{n_1 Cos\theta_t + n_2 Cos\theta_i + m\pi\alpha Cos\theta_t Cos\theta_i} \qquad (۱۹)$$

که در آن $E_t, E_r, E_i, H_t, H_r, H_i, m$ به ترتیب از راست تعداد لایه های گرافین، میدان مغناطیسی نور فرودی، بازتابی، عبوری، میدان الکتریکی نور فرودی، بازتابی، عبوری می باشد.

## ۳- نتایج

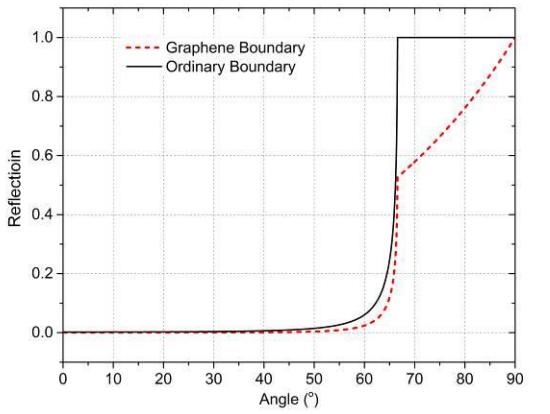
برای به دست آوردن توان بازتاب از رابطه‌ی زیر استفاده می شود:

$$R_s = |r_s|^2 \qquad (۲۰)$$

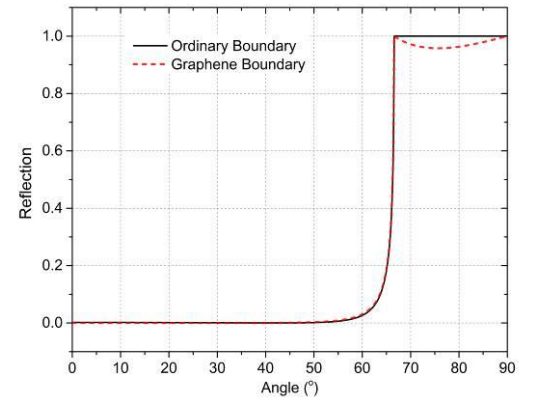
$$T_s = \frac{n_2}{n_1}|t_s|^2 \qquad (۲۱)$$

نمودار توان بازتاب – زاویه:

شکل های (۳) و (۴) رابطه‌ی توان بازتاب بر حسب زاویه را در دو حالت بدون گرافین و با گرافین در قطبش TE و TM نشان می دهند.




شکل۳ – نمودار توان بازتاب – زاویه در قطبش TE



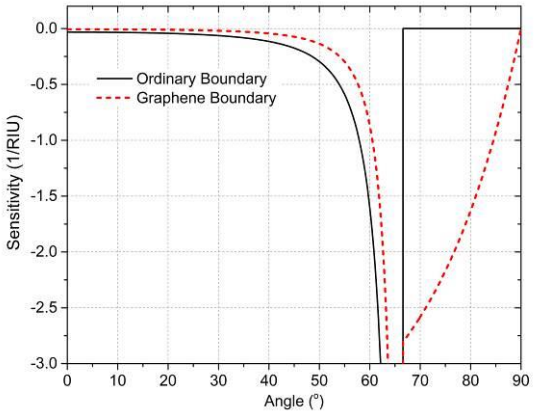

شکل۴ – نمودار توان بازتاب – زاویه در قطبش TM



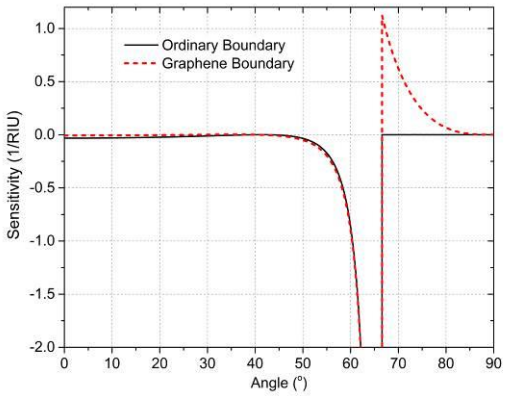
[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01 ]

نمودار حساسیت توان بازتاب – زاویه:

تغییرات ضریب شکست محیط دوم باعث تغییر ضریب بازتاب و در نتیجه تغییر توان بازتاب خواهد شد. با مشتق گیری از رابطه‌ی توان بازاب نسبت به $n_2$ حساسیت توان بازتاب به دست می آید. در شکل(۵) و (۶) حساسیت توان بازتاب بر حسب زاویه برای دو حالت بدون گرافین و با گرافین در قطبش TE و TM نشان داده شده است.




شکل۵– نمودار حساسیت توان بازتاب – زاویه در قطبش TE




شکل۶– نمودار حساسیت توان بازتاب – زاویه در قطبشTM

## ۴- نتیجه‌گیری

وابستگی توان بازتاب به ضریب شکست موجب شده که تغییر ضرایب فرنل بر روی حساسیت ضریب شکست تاثیر بگذارد.در نتیجه افزایش حساسیت توان بازتاب، حساسیت ضریب شکست حسگر را افزایش می دهند. از آنجا که اکثر حسگرهای نوری در زاویه های بزرگتر از زاویه‌ی حد کار می کنند نتایج نشان می دهند که حضور گرافین موجب افزایش حساسیت در حسگرهای نوری خواهد شد.

## مراجع


[1] Nair R.R., P. Blake, A.N. Grigorenko, et al. *Fine structure constant defines visual transparency of graphene*. **Science** 320 (2008) 1308

[2] Geim A.K., and P. Kim. Carbon wonderland. **Scientific American** 298 (2007) 90–97.

[3] Lu, C.H., Zhu, C.L., Chen, G.N., *A Graphene Platform for Sensing Biomolecules*, **Angewandte Chemie International Edition** 48 (2009) 4785-4787.

[4] Stine, R., Robinson, J.T., Sheehan, P.E., Tamanaha, C.R., R*eal-Time DNA Detection Using Reduced Graphene Oxide Field Effect Transistors*, **Advanced Materials** 22 (2010) 5297-5300.

[5] Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V., Jiang D., Zhang Y., Dubonos S.V., Grigorieva I.V., Firsov, A.A., *Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films*, **Science**, 306 (2004) 666–669.

[6] Heyrovska R., *Atomic Structures of Graphene, Benzene and Methane with Bond Lengths as Sums of the Single, Double and Resonance Bond Radii of Carbon*, **Appl. Phys. Lett.** 208 (2009) 1987-1992

[7] Katsnelson M., *Graphene: Carbon in Two Dimensions*, **Materials today**, 10 (2007) 20–27.

[8] Jackson J.D., *Classical Electrodynamics*, 3rd ed, John Wiley & Sons Inc, 2001.




[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-01 ]