همایش نانوفوتونیک ایران ۱۳۹۹- ۱ و ۲ آبان
Iranian Nano-Photonic Conference 2020
October 23 and 24

# طراحی و شبیه سازی آشکار ساز نوری مبتنی بر گرافن به منظور بهینه سازی جذب در محدوده مادون قرمز نزدیک

**الهام خسرویان[۱]*، حمید رضا مشایخی[۱]، علی فرمانی[۲]**

[۱] دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران
[۲] گروه الکترونیک، دانشکده برق، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

**چکیده:** امروزه استفاده از گرافن در ساخت ادوات اپتوالکترونیک از جمله آشکارسازهای نوری با ابعاد کوچک بسیار مورد توجه قرار گرفته است. یکی از روش‌های نوین برای افزایش جذب نور در آشکارسازهای نوری استفاده از نانوساختارهای فلزی به همراه گرافن برای بروز آثار پلاسمونیک می‌باشد. در این مقاله یک آشکارساز نوری مبتنی بر گرافن پلاسمونیک طراحی و تحلیل نوری آن با استفاده از روش عددی تفاضل محدود در حوزه زمان (FDTD) انجام شده است. در این ساختار جذب بر اساس تحریک پلاسمون پلاریتون سطحی موجود در فصل مشترک بین فلز و گرافن صورت می‌گیرد. جذب نور در ساختار پیشنهادی با تغییر پارامترهای فیزیکی نانو توری و پتانسیل شیمیایی گرافن بهینه سازی شده است. بر اساس نتایج عددی، جذب ساختار با استفاده از تک لایه گرافن تقریباً کامل می‌باشد و طیف جذب آن مستقل از زاویه تابشی است.

**کلید واژگان:** پلاسمون پلاریتون سطحی؛ گرافن؛ آشکارساز نوری؛ مادون قرمز نزدیک.

# Design and simulation of graphene-based photodetector for optimization of absorption in near infrared region

Elham Khosravian[1], Hamid Reza Mashayekhi[1], Ali Farmani[2]

1 Faculty of Physics, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran
2 Dept. of Electronics, Faculty of ECE, Lorestan University, Khoramabad, Iran

**Abstract-** Nowadays, the use of graphene has attracted enormous attention in manufacturing of optoelectronic devices such as photodetectors with small dimensions. One of the new ways for increasing the absorption of light in photodetectors is the use of metal nanostructures along with graphene in order to show the plasmonic effects. In this paper, a plasmonic graphene-based photodetector has been designed and its optical analysis done using Finite-difference time-domain (FDTD) numerical method. In this structure, the absorption is due to the excitation of surface plasmon polaritons in Metal and graphene interface. Optical absorption in proposed structure is optimized by varying physical parameters of nano-grating and chemical potential of graphene. Based on numerical results, the absorption of the structure is almost complete using only a single layer of graphene and the absorption spectrum of the structure is independent of radiation angle.

**Keywords**: Surface plasmon polaritons; Graphene; Photodetector; Near-Infrared

* el.khosravian@phy.uk.ac.ir



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

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-13 ]

## ۱- مقدمه

آشکارسازهای نوری یکی از اجزای ضروری شبکه‌های مخابرات نوری هستند که در اولین قسمت بلوک گیرنده قرار می‌گیرند و سیگنال نوری را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کنند. آشکارسازهای نوری انواع مختلفی دارند که بر حسب نیاز و کاربرد خاص از آن‌ها استفاده می‌شود. امروزه آشکارسازهای نوری مبتنی بر مواد دو بعدی به دلیل قابلیت پاسخ دهی بالا بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته اند که محدوده کاری از طول موج فرابنفش تا تراهرتز را پوشش می دهند. گرافن یک صفحه کربنی دو بعدی با ضخامت تک اتمی می‌باشد که دارای شکاف باند ممنوعه صفر و تنظیم پذیری خواص نوری است. گرافن تقریباً ٪۲/۳ از انرژی نور تابشی را در محدوده طول موجی مرئی تا نزدیک مادون قرمز جذب می‌کند. اخیراً از تکنولوژی های نوری و نانو ساختارهای پلاسمونیک برای افزایش جذب گرافن استفاده شده است. در سال ۲۰۱۵ افزایش جذب در گرافن از طریق برانگیختگی پلاریتون های مغناطیسی و تشدید پلاسمون پلاریتون سطحی در گریتینگ فلزی گزارش شده است [۱]. در سال ۲۰۱۷ یک جاذب نوری پلاسمونیک مبتنی بر گرافن با استفاده از یک تک لایه گرافن روی یک فیلم فلزی با شیارهای L شکل و دو پیک جذب در ناحیه مادون قرمز نزدیک طراحی شده است [۲]. در سال ۲۰۲۰ یک آشکارساز نوری جدید مبتنی بر نانو روبان های گرافن با سرعت پاسخ بالا و قابلیت تنظیم پذیری پیشنهاد شده است که از طریق میدان الکتریکی خارجی محدوده طول موجی وسیعی را مدوله می‌کند [۳].

## ۲- طراحی آشکارساز نوری مبتنی بر گرافن و نتایج تحلیل عددی




**شکل ۱:- (الف)** نمای سه بعدی از آشکارساز نوری مبتنی بر گرافن، (ب) نمای برش دو بعدی از نانو توری و گرافن.

در اینجا ساختار جدیدی از آشکارساز نوری مبتنی بر گرافن نشان داده شده است. شکل ۱(الف) نمای سه بعدی از این ساختار را نشان می‌دهد که شامل زیر لایه سیلیسیوم/ سیلیکا، نانو توری پراش فلزی از جنس طلا و لایه گرافن می‌باشد. شکل ۱(ب) نمای برش دو بعدی در صفحه x-z از نانو توری به همراه گرافن را نشان می‌دهد. برای این نانو توری عرض شیارها b، ارتفاع h و دوره تناوب $\Lambda$ در نظر گرفته شده است. در این طرح منبع نور تابشی از نوع موج تخت می‌باشد. در اینجا برای محاسبه گذردهی طلا از مدل درود استفاده می‌شود. هدایت گرافن با رابطه کوبو تعریف می‌شود و شامل دو قسمت جذب درون باندی و جذب بین باندی است که به صورت $\sigma = \sigma_{inter} + \sigma_{intra}$ بیان می‌شود. خصوصیات نوری گرافن از طریق ضریب گذردهی نسبی آن و به وسیله رابطه زیر بیان می‌شود:

$$\varepsilon(\omega) = 1 + \frac{i\sigma}{\varepsilon_0 \omega \Delta} \qquad (۱)$$

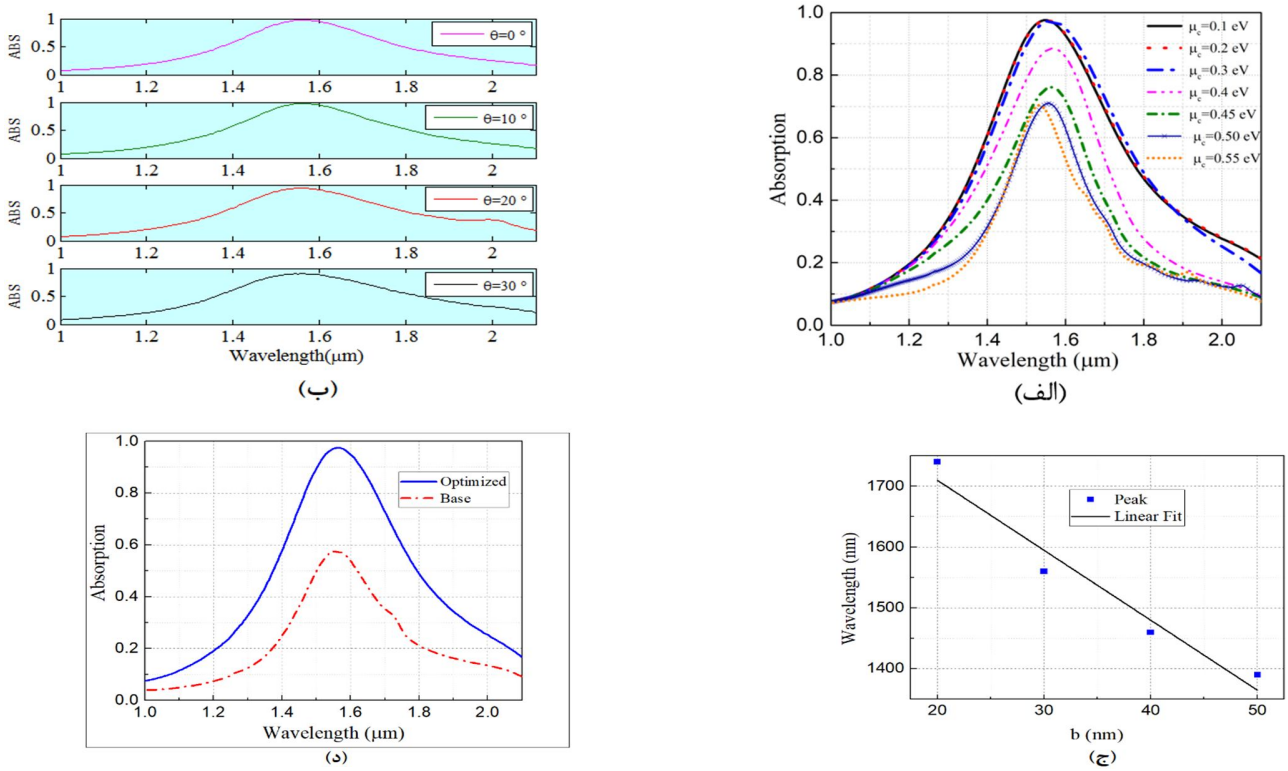
در محاسبات دما $T = 300K°$، دوره تناوب و ارتفاع نانو توری به ترتیب $\Lambda = 400nm$ و $h = 210nm$، ضخامت گرافن $\Delta = 0.34nm$، زمان استراحت حامل های بار در گرافن $\tau = 10^{-13}s$ و $\varepsilon_0$ گذردهی الکتریکی خلأ است. در شکل ۲ (الف) به ازای کاهش پتانسیل شیمیایی های مختلف گرافن قله جذب ساختار افزایش و پهنای باند طیف جذب بیشتر می‌شود و نیز به ازای پتانسیل‌های از 0.1 تا 0.3 الکترون ولت، جذب سیستم کامل می باشد. در شکل ۲ (ب) به ازای تغییرات اندک زاویه نور تابشی در قطبش TM قله جذب تغییری ندارد



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

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-13 ]

و تقریبا مستقل از زاویه است. شکل ۲ (ج) طول موج‌های قله جذب را به ازای تغییرات عرض شیار نانو توری نشان می‌دهد. شکل ۲ (د) طیف جذب ساختار بهینه و ساختار پایه را نشان می‌دهد. محاسبات مقادیر بهینه برای بیشترین میزان جذب در طول موج $1.55\mu m$ نشان می‌دهد که عرض نانو توری فلزی طلا یعنی $b = 30nm$ و پتانسیل شیمیایی بهینه برای لایه گرافن یعنی $\mu_c = 0.3eV$ در نظر گرفته شده است.




**شکل ۲**- (الف) طیف جذب ساختار به ازای پتانسیل‌های شیمیایی مختلف، (ب) طیف جذب ساختار به ازای زوایای مختلف منبع نور تابشی، (ج) طول موج پیک جذب به ازای عرض شیارهای مختلف نانو توری، (د) طیف جذب ساختار بهینه شامل توری پراش با گرافن و ساختار پایه شامل توری پراش بدون گرافن.

## ۳- نتیجه گیری

در این مقاله، طرح یک آشکارساز نوری مبتنی بر گرافن با ساختار پلاسمونیک ارائه شده است. ساختار بهینه توانایی جذب تقریباً کامل در محدوده طول موج مخابراتی ۱/۵۵ میکرومتر را دارد. جذب ساختار به ازای زوایای کوچک مستقل از زاویه است.

## مراجع

1. B. Zho *et. al*. **JOSA B** 32, (2015).
2. M. S. Zare *et. al.* **Optics Communications 398**, (2017).
3. J. Yu *et. al.* **Nanoscale Research Letters 1,** (2020)



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

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-13 ]