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

لنز گرافینی با فاصلهٔ کانونی قابل تنظیم در باند تراهرتز

محمد ملک‌پور[۱،*] و نصرت گرانپایه[۱]

۱ دانشکده مهندسی برق، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

چکیده: در این تحقیق، یک ساختار لنز در محدوده‌ی تراهرتز پیشنهاد شده است که در آن فاصله کانونی قابل کنترل است. ساختار را با استفاده از روش تفاضل محدود در حوزه‌ی زمان بررسی و شبیه‌سازی کرده‌ایم. لنزهای پلاسمونیک ابعادی در حدود طول موج و یا زیر طول موج دارند و در قیاس با لنزهای عایق ابعاد بسیار کوچک‌تری دارند. با قراردادن یک لایهٔ گرافن در ساختار و اعمال ولتاژ به آن، سطح فرمی گرافن تغییر کرده و فاصله‌ی کانونی پرتو به اندازه‌ی 13.95λ تغییر می‌کند؛ بنابراین می‌توانیم فاصلهٔ کانونی پرتو را به صورت الکتریکی تنظیم کنیم.

کلید واژگان: ساختارهای گرافینی، لنز تخت تراهرتز، فاصلهٔ کانونی قابل تنظیم لنز.

Graphene-lens with tunable focal length in the terahertz band

Mohammad Malekpour[1,*] and Nosrat Granpayeh[1]

1 Faculty of Electrical Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Abstract- In this research, we propose a structure for focusing light in the terahertz wavelength range, where the focal length can be controlled. The structure was analyzed by using the finite-difference time-domain method. Plasmonic lenses have about wavelength or sub wavelength dimensions, which their sizes are much smaller than the dielectric ones. By placing a graphene layer in the structure and applying a voltage to it, the graphene Fermi level changes and the focal length of the beam varies up to 13.95λ; so we can electrically adjust the focal length of the flat lens.

Keywords: graphene structures; Terahertz flat lens; Tunable focal length.

*m.malekpour@email.kntu.ac.ir

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

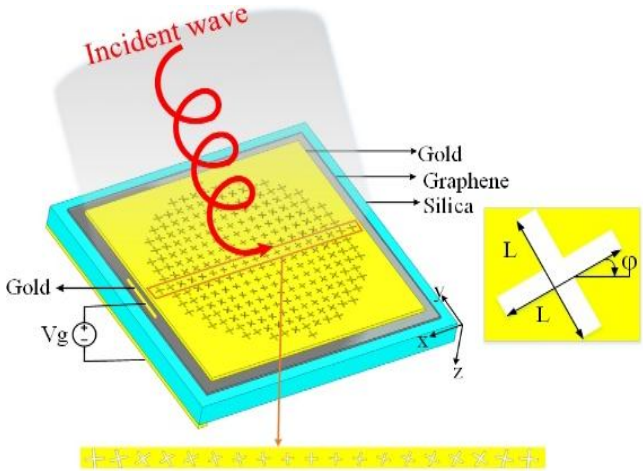
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]

1- مقدمه

یکی از ساختارهای مهمی که در زمینه تصویربرداری و تمرکز نور کاربرد زیادی دارد، لنزهای نوری هستند. ابعاد لنزها در مدارهای نوری اهمیت زیادی دارد. در لنزهای دی‌الکتریک، پرتو انتقالی بیشتر تحت تاثیر تفرق در لبه‌های آن قرار می‌گیرد و این عامل باعث محدودیت در کوچک‌سازی این ساختارها می‌شود. لنزهای پلاسمونیک با مقیاس طول موج یا زیرطول موج، ابعاد کوچکی دارند و قابلیت تمرکز و هدایت پرتو را نیز دارند. [۱و۲]. گرافن ساختاری به ضخامت یک اتم است که در آن اتم‌های کربن در یک شبکه لانه زنبوری قرار می‌گیرند و دارای خواص نوری فوق العاده‌ای است [۳]. در صورتی که میدان مغناطیسی به گرافن اعمال نشود، رسانندگی گرافن از فرمول کوبو تعیین می‌شود [۴]. در محدوده‌ی تراهرتز با برقرار بودن شرط، $\omega \square < 2E_F$ گرافن به صورت یک لایه پلاسمونی بسیار نازک در نظر گرفته می‌شود که با تغییر پتانسیل شیمیایی گرافن، می‌توان امواج پلاسمون پلاریتون سطحی که قابلیت انتشار دارند را کنترل کرد [۴].

2- طراحی و شبیه سازی

ساختار، مطابق شکل ۱، متشکل از یک لایه گرافن است که بر روی زیرلایه سیلیکا قرار دارد. بر روی لایه‌ی گرافن یک فراسطح طلا قرار داده شده است که داخل آن را صلیب‌هایی با طول و زاویه مختلف ایجاد کرده‌ایم. با تغییر طول و زاویه چرخش صلیب‌ها می‌توانیم جبهه موج الکترومغناطیسی عبوری از ساختار را کنترل کنیم. با افزایش طول بازوی صلیب‌ها و زاویه چرخش آن‌ها، اختلاف فاز عبوری از ساختار افزایش می‌یابد. بنابراین ما صلیب-هایی با طول کم و زاویه کمتر را در مرکز ساختار قرار می دهیم و صلیب‌هایی با طول بزرگتر و زاویه چرخش بزرگتر را در اطراف ساختار قرار می‌دهیم. همان گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، ۱۹ صلیب در قطر دایره وجود دارد که طول بازوی صلیب ها از ۱۲۰ میکرومتر تا۱۸۰ میکرومتر تغییر می‌کند.



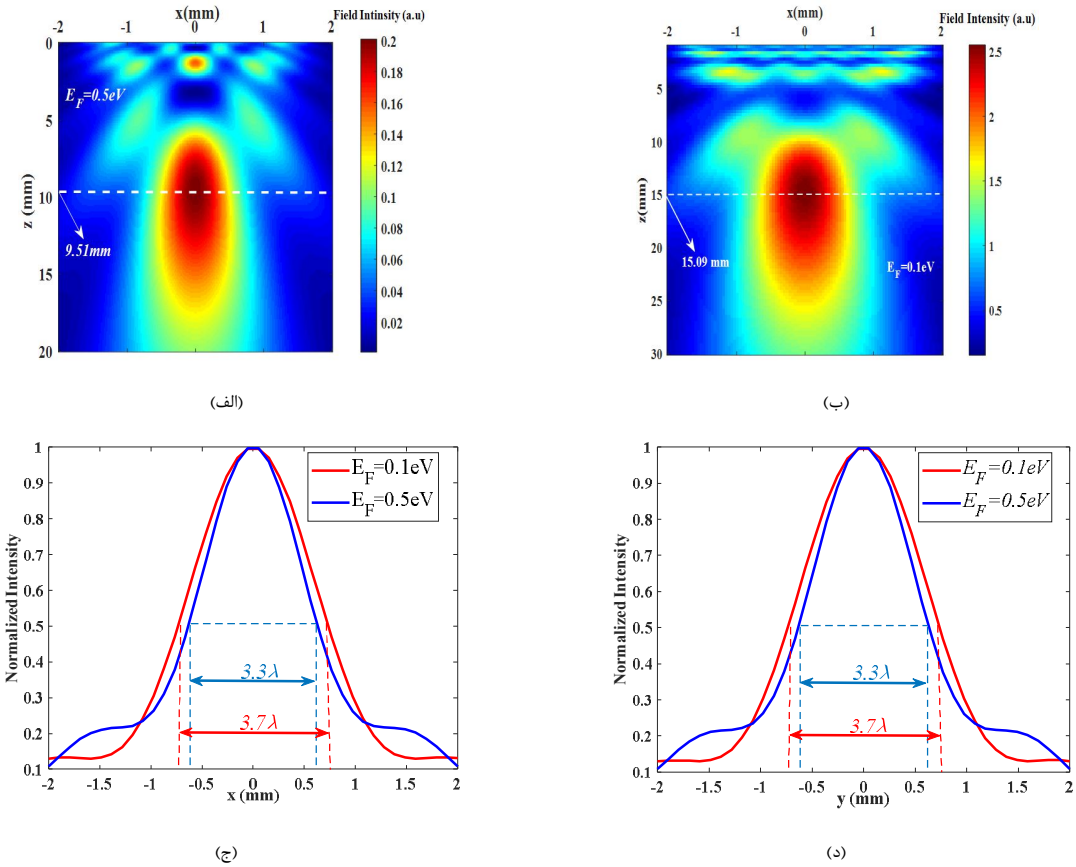
شکل ۱: ساختار متشکل از زیرلایه سیلیکا، تک لایه گرافن و یک لایه طلا. از یک گیت Vg برای اعمال پتانسیل شیمیایی لازم به ساختار استفاده شده است. موج تابشی به صورت دایروی و در راستای z به ساختار می‌تابد.

صلیب با کمترین طول دارای زاویه چرخش صفر، $\varphi = 0$ و صلیب با بیشترین طول دارای زاویه چرخش ۱۷۹ درجه (φ=۱۷۹) است. فاصله مرکز تا مرکز هر صلیب ۲۵۰ میکرومتر است، بنابراین عرض کل ساختار ۴/۷۵ میلی‌متر است. موج تابشی به صورت دایروی با طول موج ۴۰۰ میکرومتر(μ۴۰۰=λm) به ساختار می‌تابد و با توجه به اینکه در مرکز ساختار کمترین اخلاف فاز و در اطراف ساختار بیشترین اختلاف فاز را متحمل می‌شود، سبب تمرکز نور در مرکز ساختار می‌شود. جهت کنترل کردن فاصله کانونی ایجاد شده، از گرافن استفاده می‌کنیم. با استفاده از یک گیت الکتریکی و پد طلا، اختلاف پتانسیل لازم را به گرافن اعمال می‌کنیم و با تغییر ولتاژ گیت می‌توانیم فاصله کانونی را به صورت پویا کنترل کنیم. با تغییر پتانسیل شیمیایی گرافن از ۰/۱ به ۰/۵ الکترون‌ولت، فاصله کانونی از۹/۵۱ میلی‌متر به ۱۵/۰۹ میلی متر، معادل ۱۳/۹۵λ تغییرمی‌کند (شکل۲). با توجه به اینکه موج تابشی به صورت دایروی است، ساختار نهایی را به صورت دایروی در نظر می‌گیریم تا دارای تقارن دایروی باشد. با توجه به اینکه کنترل فاصله کانونی به صورت پویا و با دقت بیشتر خیلی مناسب می باشد، هر چه قدر قدرت کنترل بیشتری داشته باشیم و بتوانیم فاصله کلنونی را بیشتر جابجا کنیم، دیگر نیاز به تغییر فیزیکی ساختار نیست و به صورت پویا این

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]

عمل محقق می‌شود. در این تحقیق توانستیم نسبت به تحقیق [5]، ۸/۵۳λ فاصله کانونی را بیشتر جابجا کنیم. این ساختار در تصویربرداری-های تراهرتز، میکروسکوپ و همچنین تشخیص سرطان کاربرد دارد.



شکل ۲: (الف) توزیع شدت میدان الکتریکی با تابش موج دایروی راستگرد به ساختار به ازای پتانسیل شیمیایی۰/۵ الکترووولت و (ب) به ازای پتانسیل شیمیایی ۰/۱ الکترووولت، (ج) توزیع نرمالیزه میدان در راستای محور x و (د) در راستای محور y.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، یک لنز گرافنی در محدوده‌ی تراهرتز بررسی شد که فاصله کانونی آن قابل کنترل است. با اعمال ولتاژ به لایه‌ی گرافن، سطح فرمی گرافن تغییر می‌کند و فاصله‌ی کانونی به اندازه‌ی۱۳/۹۵λ قابل کنترل می‌باشد.

مراجع

1. Q. Fan et. al. **Sci. Rep**. 7, 45044, (2017).
2. W.T, Chen,et. al. **Nature Nanotechnology**, 13, 220-226, (2018).
3. F.J. García et. al. **ACS. Photonics**, Vol. 1, pp. 135-152, (2014).
4. Y. Yao, et. al. **Nano lett**. Vol. 14, pp. 214-219, (2013).
5. M. Malekpour et. al. Optical Engineering, 59(7), p.077101,(2020).

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-05]