بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

افزایش پهنای طیف و میزان جذب گرافن در ترکیب با بلور نانوپلاسمونیکی بر پایه گریتینگ نیم‌دایره‌ای فلزی

بنفشه یکتاپرست، حسین شیرکانی

گروه فیزیک، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر

b.yektaparast.physics@gmail.com; shirkani@pgu.ac.ir

چکیده – در این مقاله به‌منظور تشکیل پلاسمون‌های سطحی، گرافن را در ترکیب با بلور نانوپلاسمونیکی ساخته شده از گریتینگ فلزی نیم‌دایره‌ای به‌کار برده‌ایم. نمودارهای جذب گرافن تحت تأثیر تشدیدهای پلاسمونیکی را نسبت به پارامترهای هندسی ساختار و ضریب شکست دی‌الکتریک مورد مطالعه قرار می‌دهیم. استفاده از این ساختار موجب افزایش جذب گرافن تا ۲۸/۷ در صد در ناحیه فروسرخ نزدیک و هم‌چنین گستردگی طیف جذبی در نواحی مرئی و سرتاسر فروسرخ نزدیک شد که این میزان و ناحیه طیفی با استفاده از جنس گریتینگ، ضریب شکست دی‌الکتریک و پارامترهای هندسی قابل کنترل هستند.

کلید واژه- بلور نانوپلاسمونیکی، طیف جذبی، گرافن، نواحی مرئی و فروسرخ نزدیک

Enhancing the Absorption and Spectral Width of Graphene Near the Nanoplasmonic Crystal Based on Semicircular Metallic Grating

Banafsheh Yektaparast, Hossein Shirkani

Department of Physics, Persian Gulf University, Bushehr

b.yektaparast.physics@gmail.com; shirkani@pgu.ac.ir

Abstract- In this paper, graphene has been used in combination with a nanoplasmonic crystal made of semicircular metallic grating, in order to creation surface plasmons. We study graphene absorption under the influence of plasmonic resonances according to geometric parameters and dielectric refractive index. The use of this structure increased the absorption of graphene up to 28.7% in the near infrared region and the spread of absorption spectrum in the visible and throughout the near infrared regions that this amount of absorption and spectral region are controlled by grating material, dielectric refractive index and geometric parameters.

Keywords: Absorption Spectrum, Graphene, Nanoplasmonic Crystal, Visible and Near Infrared Regions

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-25]

مقدمه

گرافن یک تک لایه نازک به ضخامت تقریبا ۰/۳۴ نانومتر ساخته شده از کربن می‌باشد که دارای شبکه لانه زنبوری است. تحرک پذیری بالا و پایداری زیست محیطی، هم‌چنین خواص فوتونیکی، مکانیکی و اپتوالکترونیکی این شبه‌فلز با گاف نواری صفر، مثال زدنی است [۱].

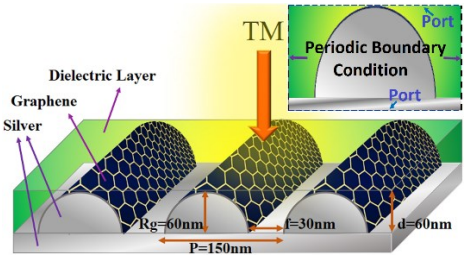
طلوع پیشرفت گرافن و مواد بر پایه آن در زمینه ساخت و بهبود عملکرد وسایل اپتیکی و اپتوالکترونیکی از سال ۲۰۰۸ آغاز شد که تا کنون نانومواد بر پایه گرافن منجر به پیشرفت‌هایی در ساخت ادواتی مانند سلول‌های خورشیدی [۲]، آشکارسازها و ترانزیستورهای نوری [۳]، جذب‌کننده-های اشباع برای لیزرهای فوق‌سریع [۳]، حسگرهای زیستی و گازی [۴] و ... شده‌است.

گرافن انعطاف‌پذیری بالایی برای ترکیب شدن با مواد دیگر را داراست که استفاده از گرافن در کنار ساختارهای فوتونیکی یک بعدی و بلورهای نانوپلاسمونیکی می‌تواند جذب ۲/۳ درصدی این ماده شفاف را افزایش دهد [۵].

تشدیدهای پلاسمونیکی قوی در گرافن در نواحی فروسرخ دور و فروسرخ میانه ایجاد می‌شود که موجب افزایش جذب در گرافن می‌گردد و در نواحی مرئی و فروسرخ نزدیک جذب گرافن به طور معمول با جفت کردن گرافن با ساختارهای رزونانسی فلزی یا دی‌الکتریک افزایش می‌یابد [۶]. تحرک-پذیری بالای حامل‌های گرافن که موجب اتلاف کم به‌عنوان یک ماده پلاسمونیکی می‌شود و به‌علاوه جایگزیدگی نوری بالای پلاسمون گرافن می‌تواند در پلاسمونیکی فلزات نجیب را که جایگزیدگی میدانی نسبی ناچیزی در فروسرخ دارند و همچنین پلاسمون‌های بر پایه آن‌ها به دلیل اتلاف بالا و عدم تنظیم‌پذیری به‌صرفه نیستند، کامل کند [۷] که موجب افزایش جذب نور در این ناحیه فرکانسی تشدیدی می‌شوند. بنابراین به‌منظور افزایش جذب نور و بازده نشر در این فرکانس‌ها، برای آشکارسازی و منابع نوری، نانوآنتن‌های گرافنی، ترانزیستورهای پلاسمونی و ...چنین جایگزیدگی بالایی برای مدهای پلاسمونی دارای نقشی عمده است [۷].

ساختار

به‌منظور بهبود و توسعه عملکرد قطعات نانوفوتونیکی و اپتوالکترونیکی، به‌کارگیری گرافن در کنار بلورهای نانوپلاسمونیکی شامل فلزات نجیب و دارای گریتینگ، پتانسیل‌های بالقوه‌ای در کنترل فرکانس تشدید پلاسمون-ها، انتقال پلاسمون‌های سطحی و ... به ارمغان می‌آورد.



شکل ۱. بلور نانوپلاسمونیکی طراحی شده تحت موج قطبیده TM

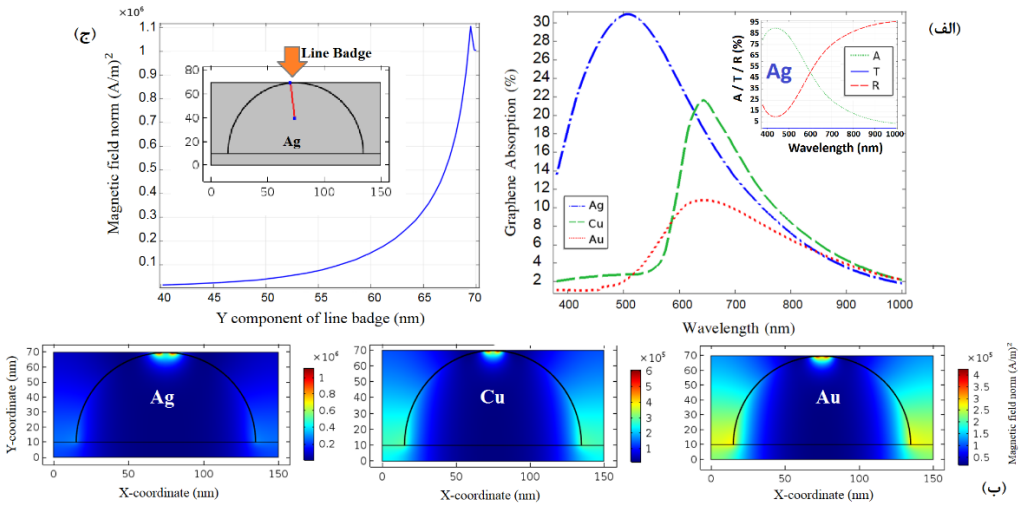
در بلور نانوپلاسمونیکی مورد مطالعه، تک لایه نیم‌دایره‌ای گرافن به ضخامت ۰/۳۴nm و شعاع Rg=۶۰nm با ضریب شکست $ng=3 + i5.446\ \lambda/3\ \mu m^{-1}$ [۵] سرتاسر گریتینگ فلزی نیم‌دایره‌ای به شعاع ۵۹/۶۶nm را می‌پوشاند. ساختار بر زیرلایه‌ای به ضخامت ۱۰nm از جنس همان فلز نشانده شده و دی‌الکتریکی با ارتفاع برابر با Rg روی پیکربندی قرار گرفته‌است. ضخامت‌های مختلف دی‌الکتریک بررسی شده و حالت چسبیده به گریتینگ به‌عنوان برترین حالت برگزیده شده‌است(شکل ۱). ساختار را تحت تابش عمودی با روش FEM در نرم‌افزار کامسول شبیه‌سازی نموده و بر مرزهای چپ و راست شرایط مرزی دوره‌ای اعمال می‌نماییم.

بحث و بررسی نتایج

در اینجا هدف خود را برمبنای افزایش جذب گرافن و کنترل طیف جذبی آن در ناحیه مرئی و فروسرخ نزدیک در راستای گستردگی هر چه بیشتر پهنای باند جذبی، قرار می‌دهیم. درابتدا دی‌الکتریک را هوا (nd=۱) در نظر می‌گیریم.

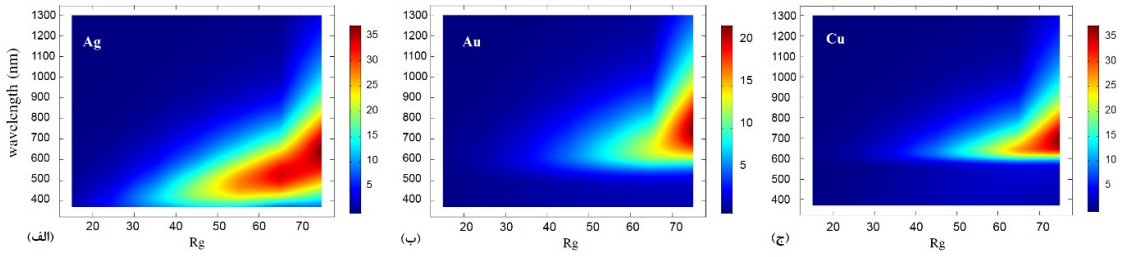
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-25]



شکل۲. (الف) مقایسه طیف جذبی گرافن در حضور نقره، مس و طلا. (ب) مقایسه طرح دو بعدی توزیع شدت میدان مغناطیسی بر حسب فاصله از محور xها در حضور سه فلز نقره، مس و طلا و (ج) طرح اندازه شدت میدان مغناطیسی برحسب مؤلفه y خط نشان در حضور نقره.

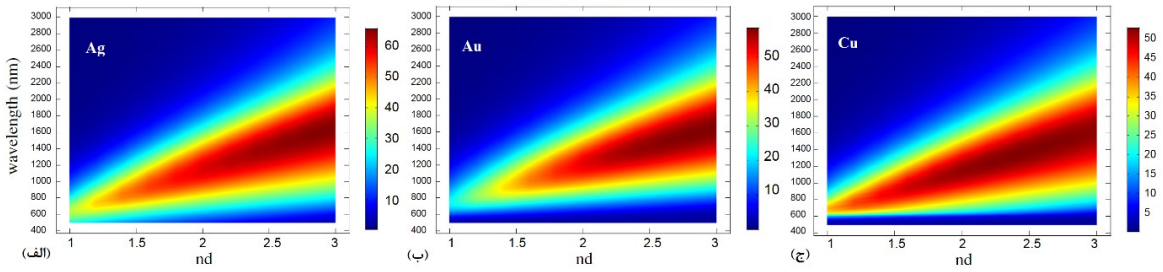
شکل۲.الف طیف جذب گرافن را در بازه مرئی و اوایل فروسرخ نزدیک نشان می‌دهد. همانطور که از شکل پیداست بیشینه جذب در استفاده از نقره، مس و طلا به‌ترتیب به‌میزان ۳۱، ۲۲ و ۱۱ درصد در طول‌موج‌های ۵۱۰، ۶۴۵ و نیز ۶۴۵ نانومتر اتفاق می‌افتد. این طول‌موج‌ها، طول‌موج تشدید پلاسمون‌های سطحی ایجاد شده در نانوبلور می‌باشند. شکل۲.ب طرح دو بعدی توزیع شدت میدان مغناطیسی برحسب فاصله از محور xهاست که محل ایجاد پلاسمون‌های سطحی را در مرز گرافن-فلز نشان می‌دهد. بیشینه شدت در حضور نقره اتفاق می‌افتد که شکل۲.ج طرح اندازه این شدت میدان مغناطیسی برحسب مؤلفه y خط نشان را نمایش می‌دهد. اکنون با آگاهی از موقعیت پلاسمون‌های سطحی شعاع (Rg) را از ۱۵nm تا ۷۵nm (بیشترین حالت ممکن) بهینه‌سازی می‌کنیم. در تمام حالت‌ها d=Rg است. شکل۳ طیف جذب گرافن را در بازه ۳۸۰ تا ۱۳۰۰ نانومتر با به‌کارگیری سه فلز نقره، طلا و مس نشان می‌دهد. چنانچه از شکل پیداست با افزایش شعاع و کاهش فاصله میان گریتینگ‌ها و نیز افزایش برهم‌کنش نور-گرافن، جذب افزایش می‌یابد که نتیجه افزایش برانگیختگی پلاسمون‌های سطحی در مرز گرافن-فلز می‌باشد، تا در شعاع ۷۵nm برای هر سه فلز به بیشینه جذب ۳۷، ۲۲ و ۳۷/۵ درصد به‌ترتیب با حضور نقره، طلا و مس می‌رسیم. در این شعاع گریتینگ‌ها کاملاً به‌هم چسبیده هستند و تشدید پلاسمون‌های سطحی در مرز آن‌ها موجب بیشینه جذب گرافن می‌شود که نقره در کنار گرافن گسترده‌ترین باند جذبی را نشان می‌دهد. با انتخاب مقدار بهینه Rg=۷۵nm، جذب گرافن را در ضرایب شکست دی‌الکتریک از ۱ تا ۳ بررسی می‌کنیم. در حضور نقره و طلا میزان جذب گرافن برای ضریب شکست ۳ به بیشینه مقدار به‌ترتیب حدود ۶۶ و ۵۸/۵ درصدی می‌رسد (شکل۴.الف و ب) که



شکل۳. طیف جذب گرافن برحسب تغییرات شعاع (Rg) در حضور سه فلز (الف) نقره، (ب) طلا و (ج) مس.

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

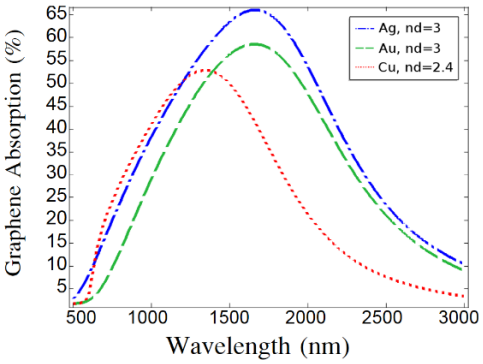
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-25]



شکل۴. طیف جذب گرافن برحسب تغییرات ضریب شکست دی‌الکتریک در حضور سه فلز (الف) نقره، (ب) طلا و (ج) مس.

این بیشینه جذب در حضور مس تا حدود ۵۳ درصد در ضریب شکست ۲/۴ واقع می‌شود (شکل۴.ج). لازم به‌ذکر است که در هر سه مورد با زیاد شدن ضریب شکست جابه-جایی سرخی را برای طول‌موج بیشینه جذب از بازه مرئی به سمت فروسرخ نزدیک شاهد هستیم.

با توجه به شکل۵، به‌کارگیری دو فلز نجیب نقره و طلا به-جای مس علاوه بر افزایش بیشینه جذب گرافن، جابه‌جایی سرخی را در طیف به‌دست می‌دهد که استفاده از فلز نقره با طولانی‌ترین زمان واپاشی دامنه پلاسمونی، گسترده‌ترین باند طیف جذبی را به‌همراه بیشینه جذب رقم می‌زند.



شکل۵. طیف جذب گرافن در حالت بهینه برای نقره، طلا و مس

نتیجه‌گیری

در این مقاله تاثیر بلور نانوپلاسمونیکی شامل گریتینگ نیم-دایره‌ای از جنس سه فلز نجیب را بر جذب گرافن مورد مطالعه قرار داده‌ایم. افزایش جذب گرافن به‌میزان ۲۸/۷ برابر در طول‌موج‌های فروسرخِ نزدیک، گستردگی چشم‌گیر پهنای طیف جذبی گرافن که قسمتی از ناحیه مرئی و فروسرخ نزدیک را در برمی‌گیرد، کنترل فرکانس تشدید پلاسمون‌ها در این نواحی با استفاده از پارامترهای هندسی، جنس گریتینگ و ضریب شکست دی‌الکتریک، از نتایج حاصل می‌باشد که با ارائه نانوساختاری بهینه به‌منظور افزایش برهم‌کنش نور-گرافن در ناحیه گسترده‌ای از طیف، می‌توان دامنه استفاده از گرافن را در نانوساختارهای فوتونیکی و اپتیکی گسترش داد.

مرجع‌ها

[1] Geim, Andre K., and Konstantin S. Novoselov. “The rise of graphene”, Nature materials, Vol. 6, No. 3, pp. 183-191, 2007.

[2] Wang, Xuan, Linjie Zhi, and Klaus Müllen. “Transparent, conductive graphene electrodes for dye-sensitized solar cells”, Nano letters, Vol. 8, No. 1, pp. 323-327, 2008.

[3] Chang, Haixin, and Hongkai Wu. “Graphene-based nanomaterials: Synthesis, properties, and optical and optoelectronic applications”, Advanced Functional Materials, Vol. 23, No. 16, pp. 1984-1997, 2013.

[4] Joe, Daniel J., et al. “Surface Functionalized Graphene Biosensor on Sapphire for Cancer Cell Detection”, Journal of nanoscience and nanotechnology, Vol. 16, No. 1, pp. 144-151, 2016.

[5] Yektaparast, Banafsheh, and Hossein Shirkani. “Controlling Optical Absorption of Graphene in Near-infrared Region by Surface Plasmons”, Plasmonics, Vol. 13, No. 5, pp. 1623-1630, 2018.

[6] Guo, Chu-Cai, et al. “Experimental Demonstration of Total Absorption over 99% in the Near Infrared for Monolayer-Graphene-Based Subwavelength Structures”, Advanced Optical Material, Vol. 4, No. 12, pp. 1955-1960, 2016.

[7] Huang, Shenyang, et al. “Graphene plasmonics: Physics and potential applications”, Nanophotonics, Vol. 6, No. 6, pp. 1191-1204, 2016.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-25]