بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : ۱-۲۵۹۵-۱۰-A

طراحی جاذب کامل با باندپهن در ناحیه فروسرخ میانه بر مبنای پلاسمون سطحی جایگزیده در ساختار گریتینگ شامل فسفرن

اطهر غلامی[۱]، زینب صادقی[۱]، حسین شیرکانی[۱]، محسن محرابی[۱]

گروه فیزیک، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر

shirkani@pgu.ac.ir

چکیده - در این مقاله یک ساختار جاذب متشکل از یک لایه‌ی فسفرن روی گریتینگ Al_2O_3 بر روی بستر بازتابنده طلا با روش المان محدود طراحی و شبیه‌سازی شده‌است. با توجه به ویژگی‌های منحصربه‌فرد فسفرن، ساختار ارائه شده با تغییر پارامترهای هندسی و زاویه نور فرودی، جذب بالای ۹۰٪ را به کمک تشدید بین لایه‌ی فسفرن و دی الکتریک Al_2O_3 در نتیجه تحریک و تقویت شدن پلاسمون‌های سطحی در لبه‌های گریتینگ ایجاد می‌کند. این جاذب‌های نوری بدلیل قابلیت جذب بالای امواج الکترومغناطیسی در حدود ۱۰۰٪ و همچنین قابلیت تنظیم جذب طول موج خاصی از طیف الکترومغناطیسی در ناحیه‌ی فروسرخ میانه کاربردهای زیادی در حوزه الکترواپتیک، فتوولتائیک، برداشت انرژی و غیره دارند.

واژگان کلیدی:جاذب کامل،فسفرن،پلاسمون سطحی،فروسرخ میانه

Design of aMid-IR Broadband Perfect AbsorberBased on Surface Plasmon Localizedin the Phosphorene Grating Structure

Athar gholami[1], Zeynab Sadeghi[1], Hossein Shirkani[1], Mohsen Mehrabi[1]

Physics Department, Persian Gulf University, Iran

shirkani@pgu.ac.ir

Abstract- In this paper, an adsorbent structure consisting of a phosphorene layer on grating Al_2O_3 is designed and simulated on a gold reflective substrate using thefinitelement methode. Based on the unique properties of phosphorene, via changing the geometric parameters and the radiation light angle, the structure presented, shows the absorption of over90% by intensifying the interlayer of phosphorus and Al_2O_3 dielectric due to excitation and amplification of surface plasmons at the grating edges.Due to their high absorption of electromagnetic waves (~100%) and their ability to adjust the absorption of specific wavelengths of the electromagnetic spectrum in the mid-infrared region, these optical absorbers have many applications in electro-optics, photovoltaic, energy absorption and etc.

Keywords: Perfect Absorber,Phosphorene,Surface Plasmon,Mid-IR

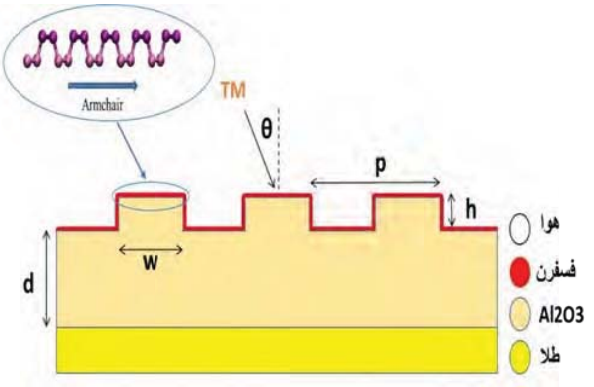
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

مقدمه

فسفر سیاه، یک نیم رسانای لایه‌ای دارای تحرک حامل بالا، اثر متقابل قوی ماده با نور در محدوده‌ی فروسرخ میانه و دور و درجه ی بالایی از باند ناهمسانگردی است [1, 2].این ماده دو بعدی دارای شکاف باند مستقیم وابسته به تعداد لایه (۰.۳ eV حالت توده‌ای و ۲ eV برای تک لایه(فسفرن)) می‌باشد و این باعث می‌شود که یک مکمل حیاتی بین گرافن و TMDCs[1] برای اپتوالکترونیک دوبعدی باشد، از این رو مورد توجه قرار گرفته است[3]. فسفرن با خصوصیات ساختاری منحصربه‌فرد، خود را از سایر مواد دوبعدی لایه‌ای متمایز می‌کند. این ماده دوبعدی دارای یک ساختار پوکه‌دار در امتداد جهت آرمیچر است، اما به صورت پیکربندی دو لایه در امتداد جهت زیگزاگ ظاهر می‌شود. که منشاء ناهمسانگردی خواص فیزیکی[4] و مکانیکی[5] است و باعث شده در طراحی نانو دستگاه‌ها بتوانند از جهت انتخابی استفاده کنند. از نظر تئوری برای تک لایه تا چندلایه‌ی فسفر سیاه گزارش شده‌است که از پراکندگی پلاسمونی ناهمسانگرد پشتیبانی می‌کند، زیرا چگالی موثر الکترونی در جهت‌های مختلف بلوری متفاوت است[6]. در این مقاله با استفاده از نرم افزار کامسول و به روش المان محدود یک جاذب با ساختار گریتینگی مبتنی بر تشدید پلاسمون سطحی جایگزیده با استفاده از فسفرن از جهت ساختاری آرمیچر طراحی و پیشنهاد شده‌است که جذب بالای ۹۰٪ را در باند تراهرتز نشان می‌دهد. در این ساختار علاوه بر داشتن جذب عالی حساسیت کم نسبت به زاویه ی نور فرودی در یک بازه وسیع زاویه‌ای وجود دارد که می‌تواند در کاربردهای مختلفی مفید باشد. همچنین با تغییر پارامترهای هندسی قابلیت تنظیم جذب طول موج خاصی از طیف الکترومغناطیسی در ناحیه‌ی فروسرخ میانه را دارا می‌باشد. جاذب‌های نوری به دلیل جذب عالی ،قابلیت تنظیم طول موج به منظور جذب طول موج‌های خاصی از طیف الکترومغناطیسی، ضخامت کم و در حدود چند ده الی چند صد نانومتر، کاربردهای زیادی در حوزه الکترواپتیک و فوتونیک[7]، فتوولتاییک و برداشت انرژی و سنجش‌های با کارآیی بالا و پوشش‌های ضد انعکاس برای کاربردهای فضایی و دفاعی دارند[8].

ساختار

شکل ۱ الگوی جاذب گریتینگی پیشنهادی را نشان می‌دهد. برای دستیابی به ساختار موردنظر به ترتیب پارامترهای ارتفاع گریتینگ، پهنای گریتینگ، پهنای کل ساختار و زاویه‌ی نور فرودی بر ساختار مورد بررسی قرارگرفت. همانطور که در شکل ۱ دیده می‌شود، فسفرن با ضخامت ۰.۷ nm برروی گریتینگ از جنس Al_2O_3 با ضریب شکست ۱.۷ و ضخامت h=۵nm و پهنا W=۱۰۰nm و ارتفاع زیر گریتینگ D=۲.۵μm و پهنای کل p=۲۰۰nm بر روی یک زیرلایه بازتابنده طلا درنظر گرفته‌شده‌است. فسفرن در مجاورت هوا، روی کل ساختار پوشانده شده‌است.



شکل.۱ :شمایی از ساختار گریتینگ پیشنهادی

با تغییر پارامترهای هندسی ساختار و همچنین تغییر زاویه‌ی نور فرودی می‌توان پاسخ ساختار یا همان جذب مورد نظر را تغییر داد. تحریک پلاسمون های سطحی با

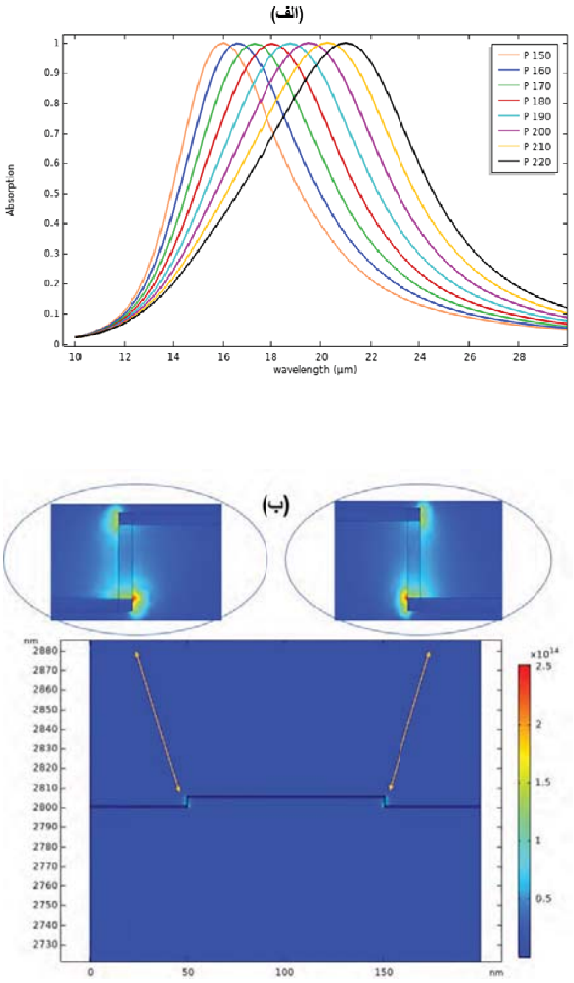
[1] transition metal dichalcogenides

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

استفاده از جفت شدگی با گریتینگ انجام شده است، زیرا یکی از روش های دستیابی به این هدف استفاده از اثر پراش است. هنگامی که نور فرودی به شبکه گریتینگ برخورد میکند میتوان از طریق پراکندگی براگ به این هدف دست‌یافت. برای اینمنظور موج الکترومغناطیسی تخت با قطبش TM (مدهای TEپلاسمون‌های سطحی را برای این ساختار تشکیل نمی‌دهند) تحت زاویه‌یθ به ساختار تابیده شده‌است.

بحث و بررسی نتایج

در ابتدا ارتفاع گریتینگ اولیه۳۵ نانومتر بوده است که آن را در بازه ۵ تا ۵۵ نانومتر مورد بررسی قرار گرفت و بهترین نتیجه بدست آمده در ۵ نانومترمی‌باشد. پس از ارتفاع گریتینگ را از ۷۰ تا ۱۲۰ نانومتر مورد بررسی قرار داده شد که بهترین نتیجه بدست آمده در ۱۰۰ نانومتر می‌باشد، سپس پهنای کل ساختار از ۱۶۰ تا ۲۱۰ نانومتر مورد بررسی قرارگرفت که بهترین نتیجه حاصل شده در ۲۰۰ نانومتر با میزان جذب می‌باشد. پس از بهینه سازی ابعاد ساختار زاویه نور فرودی وارد بر ساختار از ۰ تا ۸۹ درجه مورد برسی قرار گرفت. درنهایت بهترین میزان جذب حاصل شده پس از بهینه سازی ۹۹.۹٪ می‌باشد.در شکل ۲ الف: منحنی جذب ساختار برحسب طول موج در پهناهای مختلف کل ساختار(دوره‌P) با تابش $\theta = 0^{\circ}$ رسم شده‌است. با افزایش پهنای کل ساختار (دوره) از ۱۵۰ نانومتر تا ۲۲۰ نانومتر میزان جذب در یک بازه ۵ میکرومتری از ۱۶ میکرومتر تا ۲۱ میکرومتر میزان جذب در حدود ۹۹٪ می باشد. علت جذب در این بازه فرکانسی،برهمکنش قوی فسفرن و موج برخوردی در نتیجه بوجود آمدن و تقویت پلاسمون‌های سطحی است که میدان الکترومغناطیسی در لبه‌های گریتینگ جایگزیده شده و شدت بالایی در آن نقاط دارند.در شکل ۲(ب) شدت میدان الکتریکی در بیشینه جذب ساختار با پهنای ساختار کل ۲۰۰ نانومتر در طول موج ۱۹.۵ میکرومتر رسم شده‌است.



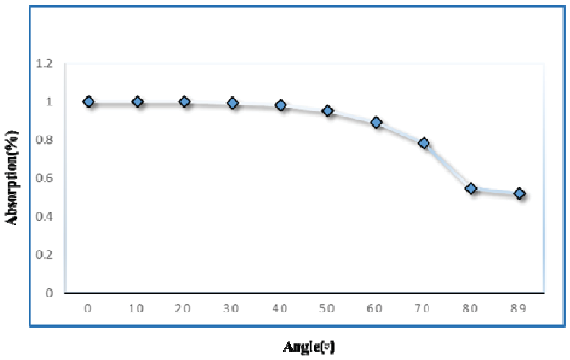
شکل.۲ (الف) :نمودار جذب سیستم پیشنهادی برحسب طول موج برای تغییرات دوره از nm ۱۵۰ تا nm ۲۲۰ . (ب): نمودار شدت میدان الکتریکی در بیشینه جذب ساختار در پهنای nm ۲۰۰ .

شکل۳ پراکندگی زاویه ای قله راه برای زاویه های متفاوت نشان می دهد.برای بازه‌ی0° تا 50° میزان جذب بالای ۹۰٪ می‌باشد. در زوایای 80°،70°،60° جذب به ترتیب ۵۴٪، ۷۸٪، ۹۸٪ در زاویه‌ی 89°،۵۲٪ از انرژی فرودی (موج الکترومغناطیسی برخوردی) جذب می‌شود.

اگر ساختار پیشنهادی به عنوان یک جاذب کامل استفاده شود، برای مثال در کاربردهای حسگر، مهم است که تابش تا حدممکن مستقل از جهت فرود جذب باشد. بنابراین

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

جاذب گریتینگی که پیشنهاد شده در این تحقیق، یک جاذب‌مناسب‌است.



شکل.۳ بیشینه جذب در قله ها در زوایای بین ۰ تا ۹۰ درجه برای جاذب گریتینکی.

همچنین در مقایسه با کار های مشابه به عنوان نمونه آقای لی و همکاران[9]، این ساختار دارای یک طراحی ساده و فقط با استفاده از فسفرن و بهینه‌سازی پارامتر های هندسی یک ساختار جاذب کامل طراحی شده است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله ویژگی‌های یک ساختار جاذب گریتینگی در محدوده فروسرخ میانه طراحی و بررسی شد. با بررسی خواص اپتیکی و هندسی سیستم، میزان جذب کل ساختار بررسی شده است:

-با استفاده از ساختار گریتینگی طراحی شده در مجاورت فسفرن، پلاسمون‌های سطحی جایگزیده در لبه‌های گریتینگ در ناحیه فروسرخ میانه ایجاد شد و میزان جذب ساختار مورد بررسی قرار گرفت.

-با تغییر پهنای کل ساختار (دورهP) میزان جذب برای یک باند وسیع طول موجی ۱۶ تا ۲۱ میکرومتر بالای ۹۹٪ بدست‌آمد.

-قابلیت تنظیم‌پذیری طول موج انتخابی از طیف الکترومغناطیسی با انتخاب مناسب پهنای کل ساختار با جذب بالای ۹۰٪، حساسیت کم ساختار به جهت نور فرودی و میزان جذب نور در یک بازه ۰ تا ۵۰ درجه جذب بالای ۹۰٪ از ویژگی های بارز این ساختار است.

مرجع‌ها

[1] X. W. a. S. Lan, "Optical properties of black phosphorus," *Adv. Opt,* pp. vol. 8, pp. 618–655, 2016.

[2] J. S. G.-D. A. A. M. a. A. A. D. Correas-Serrano, "black phosphorus plasmonics: Anisotropic elliptical propagation and nonlocal ityinduced canalization," *J. Opt,* vol. 18, p. Art. no. 104006, 2016.

[3] N. Z. J. L. C. Z. Y. W. Z. L. Z. &. L. Q. H. Feng, " Near-unity anisotropic infrared absorption in monolayer black phosphorus with/without subwavelength patterning design," *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics,* pp. 25(3), 1-7, 2018.

[4] A. B. Y. Y. B. T. L. Z. L. F. Jinbo Pang, "Applications of Phosphorene and Black Phosphorus in," *Adv. Energy Mater,* p. 1702093, 2017.

[5] J.-W. Jiang and H. S. Park, "Mechanical Properties of Single-Layer Black Phosphorus," *J. Phys. D: Appl. Phys,* vol. 47, p. 385304, 2014.

[6] H. Liu, A. T. Neal, Z. Zhu, Z. Luo, X. Xu and D. a. Y. P. D. Tománek, "Phosphorene: An Unexplored 2D Semiconductor with a High Hole Mobility," *ACS Nano,* vol. 8, p. 4033–4041, 2014.

[۷] Q. a. P. X. Wei, “Superior Mechanical Flexibility of Phosphorene and Few-layer Black Phosphorus,”*Appl. Phys. Lett,* جلد ۱۰۴, p. ۲۵۱۹۱۵, ۲۰۱۴.

[8] L. Wang, A. Kutana and X. a. Y. B. I. Zou, " Electro-Mechanical Anisotropy of Phosphorene," *Nanoscale,* vol. 7, pp. 9746-9751, 2015.

[9] B. R. J. Z. J. G. X. D. Y. X. Zhongfu Li, "Tunable mid-infrared perfect absorber based on the critical coupling of graphene," *Results in Physics ,* 2019.

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