بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

اثر بلور فوتونی نقص‌دار متقارن و نامتقارن شامل تک‌لایه‌ی MoS_2 بر مد نقص

نرگس انصاری[1]، کیمیا میرباغستان

گروه فیزیک، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران

چکیده – امروزه بلورهای دو بعدی موبیلدیم دی سولفات MoS_2 به علت داشتن جذب بالا با وجود ضخامت نانومتری‌یشان، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. یکی از روش‌های مرسوم برای افزایش جذب، قرارگیری تک لایه‌ی MoS_2 به صورت نقص در بلور فوتونی می‌باشد. در این مقاله بلور، جذب های فوتونی نقص‌دار با ساختارهای نامتقارن و متقارن برای نقص به دو صورت MDM و DMD با یکدیگر مقایسه شده‌اند. با تغییر ضخامت لایه‌ی نقص D، اثر آن بر روی طول موج مد نقص بررسی گردید. جذب ساختارها با استفاده از روش ماتریس انتقال بدست می‌آید. با استفاده از ساختارهای پیشنهادی می‌توان به جذب بالای ۹۳ درصد در طول موج طراحی و حدود ۹۰ درصد در طول موج‌های لبه‌های گاف نواری با تغییر در ضخامت لایه‌ی نقص رسید.

کلید واژه-بلورهای دوبعدی، بلور فوتونی نقص دار، جذب، روش ماتریس انتقال، موبیلدیم دی سولفات.

Effect of Symmetric and Antisymmetric Defective Photonic Crystal with MoS_2 Monolayer on Defect Mode

Narges Ansari, Kimia Mirbaghestan

Department of Physics, Alzahra University, Tehran, Iran

Abstract- Nowadays, two-dimensional materials MoS_2 have received a lot of attention due to its high absorption despite their nanometer thickness. One of the most common methods to increase absorption is to insert monolayer MoS_2 as a defect in photonic crystals. In this paper the absorption spectrum of the structures antisymmetric and symmetric defective photonic crystals with two different defects (DMD and MDM) are compared. The influences of altering the thickness of defect layer D on wavelength of defect mode are investigated. Transfer matrix method is used to calculate absorption. More than 93 percent absorption in design wavelength and near 90 percent in wavelength of edge band gap could be obtained by proposed structures.

Keywords: Absorption, Defective photonic crystal, Mobilidium disulfate, Two-dimensional materials, Transfer matrix method.

[1] E-mail corresponding author: n.ansari@alzahra.ac.ir

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

مقدمه

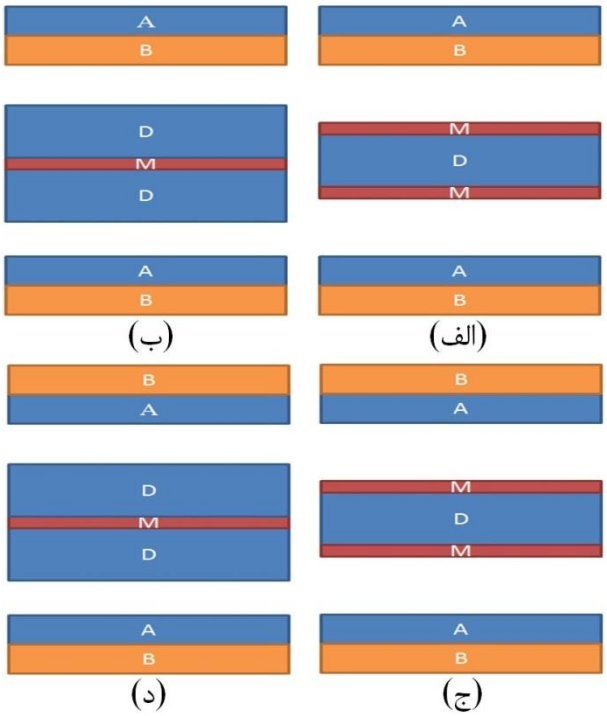
امروزه مواد دو بعدی به علت ویژگی منحصر بفردشان بسیار مورد توجه هستند. از معروف ترین مواد دو بعدی گرافن با گاف نواری صفر است. دسته مهم دیگر از به مواد دو بعدی، تک لایه‌های کلکوژناید های فلزات واسطه (TMDC[1]) است که به دلیل وجود گاف نواری‌شان در ناحیه‌ی مرئی [۱]، دارای کاربری های ویژه‌ای در اپنوالکترونیک هستند. تک لایه‌های TMDC با فرمول شیمیایی MX_2 است که M در آن Mo یا W و X یکی از مواد Se یا S می‌تواند انتخاب شود. از میان آن‌ها تک‌لایه‌ی MoS_2 به علت داشتن جذب بالا با توجه به ضخامت نانومتری آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است اما همچنان برای استفاده در دستگاه های اپتوالکترونیک نیاز به افزایش این میزان جذب وجود دارد.

یکی از روش های مرسوم برای افزایش جذب، قرارگیری MoS_2 در بلور فوتونی است که اگر به صورت متناوب در بلور فوتونی قرار گیرد جذب و پهنای جذب را افزایش می‌دهد [۲]، اما با قرار گیری به صورت لایه‌ی نقص باعث افزایش جذب در طول موج مد نقص خواهد شد [۳]. متقارن[2] یا نامتقارن[3] بودن ساختار بلور فوتونی نقص دار (DPC) نسبت به لایه‌های نقص و نوع لایه‌های نقص بر اندازه جذب و طول موج مد نقص اثرگذار می‌باشد.

دراین مقاله به مقایسه‌ی میزان جذب مد نقص و جذب لبه‌ی گاف در ساختارهای متقارن و نامتقارن DPC برای دو نوع نقص به صورت DMD و یا MDM پرداخته شده است.

تئوری

بلورهای فوتونی نقص‌دار نامتقارن (ADPC) با ساختار $\{(AB)^p \text{ defect } (AB)^q\}$ و بلورهای فوتونی نقص‌دار متقارن (SDPC) با ساختار $\{(BA)^p \text{ defect } (AB)^q\}$ با دو نوع نقص[4] متفاوت به صورت DMD و MDM انتخاب شده‌اند. در ساختارهای ذکر شده p و q به ترتیب تناوب لایه های رویین و زیرین نقص را مشخص می‌کنند (شکل ۱). در ساختارهای مشخص شده، A، B، M و D، به ترتیب ،SiO_2، Si_3N_4، MoS_2 و SiO_2 هستند. نور از هوا با زاویه‌ی عمود به ساختار تابیده می‌شود.



شکل ۱: تصویر شماتیک بلور فوتونی با نقص (الف) $\{(AB)^p \text{ MDM } (AB)^q\}$، (ب) $\{(AB)^p \text{ DMD } (AB)^q\}$، (ج) $\{(BA)^p \text{ MDM } (AB)^q\}$ و (د) $\{(BA)^p \text{ MDM } (AB)^q\}$

جذب ساختارها با استفاده از روش ماتریس انتقال بدست می‌آید. در این روش به ضریب شکست و ضخامت تمامی لایه‌ها نیاز داریم که ضریب شکست مواد از مرجع‌های

[1] Transition Metal Dichalcogenides (TMDC)
[2] Symmetric
[3] Antisymmetric
[4] defect

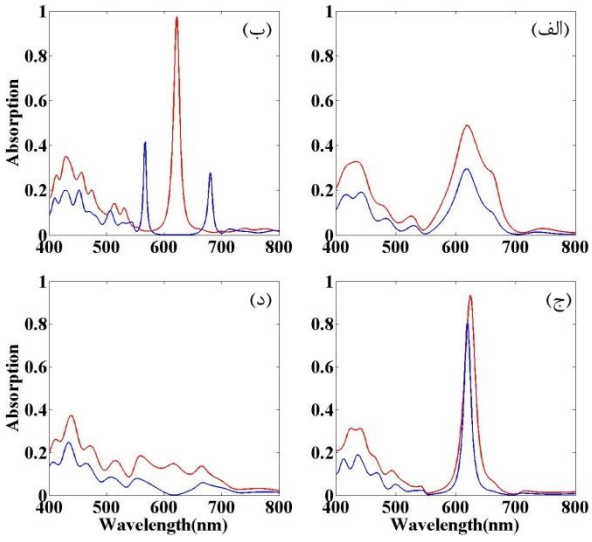
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

[۴و۵] استفاده شده است. ضخامت تک‌لایه MoS_2 برابر با ۰/۶۱۵ نانومتر [۴] و ضخامت لایه‌های A، B با $\lambda_{des}/4n_{des}$ مشخص می‌شود که λ_{des} برابر با ۶۱۷ نانومتر می‌باشد. همچنین ضخامت لایه‌ی D با d_D نمایش داده می‌شود.

نتایج و بحث

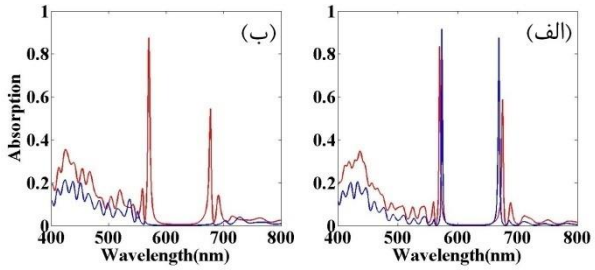
طیف جذب هر دو ساختار ADPC و SDPC برای هر دو نوع نقص در شکل ۲ رسم شده است که طیف جذب مرتبط با نقص DMD با رنگ آبی و برای MDM با رنگ قرمز مشخص شده‌اند. طیف جذب ADPC در شکل ۲ (الف) و (ب) به ترتیب برای p=0، q=6، $d_D=\lambda_{des}/2n_{des}$ و p=6، q=12، $d_D=\lambda_{des}/4n_{des}$ و برای SDPC، شکل۲ (ج) و (د) به ترتیب برای p=3، q=9، $d_D=\lambda_{des}/2n_{des}$ و p=0، q=8، $d_D=\lambda_{des}/4n_{des}$ رسم شده‌اند. دوره تناوب‌های انتخاب شده، بهینه حالت‌هایی است که به ازای آن بیشینه مقدار جذب در طول موج طراحی بدست می‌آید.



شکل۲:طیف جذب (الف) و (ب) ساختار های ADPC به ترتیب با ضخامت نقص نیم موج و ربع موج (ج) و (د) ساختارهای SDPC به ترتیب با ضخامت نقص نیم موج و ربع موج. در تمامی شکل‌ها رنگ قرمز و آبی به ترتیب برای نقص MDM و DMD می‌باشد.

جذب در شکل ۲ (ب) و (ج) به ترتیب با تعداد لایه‌های کل ۳۹ و ۲۷، به مقدار ۹۷ درصد در طول موج ۶۲۲ نانومتر و مقدار ۹۳ درصد در طول موج ۶۲۵ نانومتر می‌رسد. با اینکه جذب در ساختار (ب) از (ج) بیشتر است اما به دلیل تعداد کمتر لایه‌ها در ساختار (ج)، این ساختار مطلوب‌تر می‌باشد. در ساختار نامتقارن در ضخامت ربع موج لایه‌ی نقص D و در ساختار متقارن در ضخامت نیم موج لایه‌ی نقص D، می‌توان به بیشینه مقدار جذب در طول موج طراحی دست یافت.

با افزایش N تا مقدار خاصی برای هر یک از ساختارهای شکل ۲ (الف) و (د)، جذب در طول موج طراحی کاهش یافته و جذب در لبه‌های گاف نواری افزایش می‌یابد و پس از آن مقدار خاص، جذب تغییر چندانی نمی‌کند. طیف جذب این مقادیر خاص که به ازای آن بیشترین مقدار جذب ایجاد می‌شود، در شکل ۳ (الف) و (ب) به ترتیب برای ساختار ADPC در p=10، q=20 و ضخامت نقص $d_D=\lambda_{des}/2n_{des}$ و ساختار SDPC در p=6 و q=20 و $d_D=\lambda_{des}/4n_{des}$ رسم شده است.



شکل ۳ : طیف جذب ساختار (الف) $\{(AB)^{10}\,defect\,(AB)^{20}\}$ برای نقص MDM (قرمز) و DMD (آبی)، (ب) $\{(BA)^{6}defect\,(AB)^{20}\}$ برای نقص MDM (قرمز) و DMD (آبی).

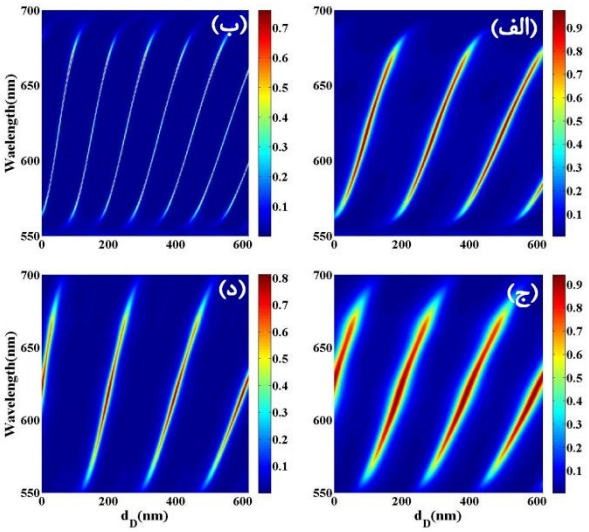
در شکل ۳ (الف)، جذب در ساختار ADPC با نقص DMD از نقص MDM بیشتر است و در طول موج‌های لبه‌های گاف نواری، ۵۷۴ و ۶۶۹ نانومتر، به ترتیب ۹۲

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

درصد و ۸۸ درصد می‌باشد و در شکل (ب) جذب ساختار SDPC برای نقص MDM در طول موج‌های لبه‌های گاف نواری، ۵۷۰ و ۶۷۷ نانومتر، به ترتیب ۸۷ درصد و ۵۴ درصد است. با توجه به ارقام ذکر شده جذب در ساختار (الف) بیشتر از (ب) بوده ولی پهنای گاف نواری (ب) بیشتر است.

به منظور بررسی اثر ضخامت لایه‌ی نقص D بر میزان جذب و طول موج مد نقص، در شکل ۴ (الف) تا (د) میزان جذب به ترتیب برای ساختارهای ADPC و SDPC، $\{(AB)^{6}\ MDM\ (AB)^{12}\}$، $\{(AB)^{10}\ DMD\ (AB)^{20}\}$، $\{(BA)^{3}\ MDM\ (AB)^{9}\}$ و $\{(AB)^{3}\ MDM\ (AB)^{9}\}$ با تغییر ضخامت لایه‌ی نقص D و طول موج رسم گردیده است.



شکل ۴: تغییرات جذب با تغییر ضخامت نقص در ساختارهای (الف) $\{(AB)^{6}\ MDM\ (AB)^{12}\}$ (ب) $\{(AB)^{10}\ DMD\ (AB)^{20}\}$ و (ج) $\{(BA)^{3}\ MDM\ (AB)^{9}\}$ (د) $\{(AB)^{3}\ DMD\ (AB)^{9}\}$

در شکل ۴ (الف) برای ADPC با نقص MDM مشاهده می‌شود که در ضخامت ربع موج لایه‌ی D، جذب بالا و در ضخامت نیم موج جذب بسیار پایینی برای مد نقص وجود دارد و در شکل ۴ (ب) برای ساختار ADPC با نقص DMD بیشینه‌ی جذب در ضخامت نیم موج نقص در لبه‌های گاف نواری وجود دارد. در قسمت (ج) و (د) برای ساختار SDPC برای هر دو نوع نقص، در ضخامت ربع موج لایه‌ی نقص جذب بسیار پایین و در نیم موج میزان جذب بالا می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله جذب ساختارهای ADPC و SDPC برای هر دو نوع نقص MDM و DMD، برای ضخامت‌های متفاوت لایه‌ی D بررسی شده است. در ساختار $\{(AB)^{10}\ DMD\ (AB)^{20}\}$ با ضخامت لایه‌ی نقص ربع موج بیشینه‌ی جذب با مقدار ۹۲ درصد در مرز گاف نواری قرار می‌گیرد و برای ساختار $\{(BA)^{3}\ MDM\ (AB)^{9}\}$ با ضخامت لایه‌ی نقص نیم موج بیشینه‌ی جذب با مقدار ۹۳ درصد در طول موج طراحی بدست می‌آید

مرجع‌ها

[1] K. L. Seyler, J. R. Schaibley, P. Gong, P. Rivera, A. M. Jones, S. Wu, J. Yan, D. G. Mandrus, W. Yao and X. Xu, "Electrical control of second-harmonic generation in a WSe2 monolayer transistor", Nat. Nanotechnology, Vol.10, pp. 407-411, 2015.

[2] E. Mohebbi, N. Ansari, F. Shahshahani, "Control of Nonlinear Optical Absorption in One-Dimentional photonic crystal with Graphene Defect", Optoelectronic, Vol. 2, pp. 9-20, 2017.

[3] W. Xiaoyu, J. Wang, Z. Hu, T. Sang, Y. Feng, "Perfect absorption of modified-molybdenum-disulfide-based Tamm plasmonic structures." Appl. Phys. Express, Vol. 11, pp. 062601, 2018.

[4] Palik E, Ghosh G. "Handbook of optical constants of solids", Acad.Press, San Diego; Vol. 3, 1998.

[5] B. Mukherjee, F. Tseng, D. Gunlycke, K. Amara, G. Eda, E. Simsek, "Increasing Optical Absorption in One-dimensional Photonic crystals including MoS_2 Monolayer for photovoltaics Applications", Opt. Mat. Express. Vol. **447**, pp. 447-455, 2015.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]