بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

تنظیم پذیری طول موج مد نقص در بلور فوتونی نقص‌دار بر پایه تک لایه‌ی MoS_2

نرگس انصاری، عطیه سهرابی و کیمیا میرباغستان

گروه فیزیک، دانشکده فیزیک و شیمی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران

n.ansari@alzahra.ac.ir

چکیده – امروزه بلورهای دوبعدی موبیلدیم دی سولفات MoS_2، کاربردهای مهمی در اپتوالکترونیک دارند. در این مقاله در راستای رسیدن به ساختاری با جذب بالا و قابلیت تنظیم‌پذیری طول موج، از بلور فوتونی نقص دار با سه نقص به صورت DMD که در آن D و M به ترتیب نشان‌دهنده‌ی SiO_2 و MoS_2 هستند، استفاده شده است. اثر تغییر فاصله‌ی بین نقص‌ها بر میزان جذب، طول موج مدهای نقص و فاصله‌ی قله تا قله مدهای نقص بررسی شده است. ساختار بهینه دارای دو مد نقص با جذب بالای ۹۷٪ در ناحیه‌ی گاف نواری می‌باشد که با تغییر فاصله‌ی بین نقص‌های اول و دوم می‌توان طول موج مدهای نقص را تنظیم نمود که این ویژگی در طراحی ابزارهای اپتوالکترونیک کاربردهای فراوانی دارد.

کلید واژه- بلور فوتونی نقص‌دار، تنظیم پذیری طول‌موج، جذب، مد نقص، موبیلدیم دی سولفات

Wavelength adjustability Of Defect Modes In Defective Photonic Crystal Based On MoS_2 Monolayer

Narges Ansari, Atieh Sohrabi and Kimia Mirbaghestan
Department of Physics, Faculty of physics and chemistry Alzahra University, Tehran, Iran
n.ansari@alzahra.ac.ir

Abstract- Nowadays, two-dimensional materials such as MoS_2 have demonstrated distinctive capabilities in optoelectronic applications. In this paper, to achieve high absorption and wavelength adjustability, a defective photonic crystal with three defects is used. the defects are designed as DMD which D and M assumed to be SiO_2 and MoS_2 layers respectively. Also, defect positions are investigated to find their impact on the absorption, wavelength of defect modes and peak to peak distance. Optimal structure has two defect modes with more than 97% absorption in photonic band gap. The wavelength of defect modes can be tuned by changing the distance between the first and the second defects. Therefor this characteristic is very efficient in designing optoelectronic devices.

Keywords: Absorption, defect mode, Defective photonic crystal, Molybdenum disulfate, Wavelength adjustability

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

مقدمه

امروزه مواد دو بعدی به علت ویژگی منحصر به فردشان بسیار مورد توجه هستند. دسته‌ی مهمی از مواد دو بعدی، تک لایه‌های کلکوژناید های فلزات واسطه (TMDC[1]) است [۱] که به دلیل وجود گاف نواری در ناحیه‌ی مرئی و داشتن جذب بالا در این ناحیه، دارای کاربری های ویژه‌ای در اپتوالکترونیک هستند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها تک‌لایه‌ی MoS_2 است که با توجه به ضخامت نانومتری آن، جذب بالایی دارد [۲]. اما همچنان برای استفاده در دستگاه های اپتوالکترونیک لازم است جذب آن افزایش یابد.

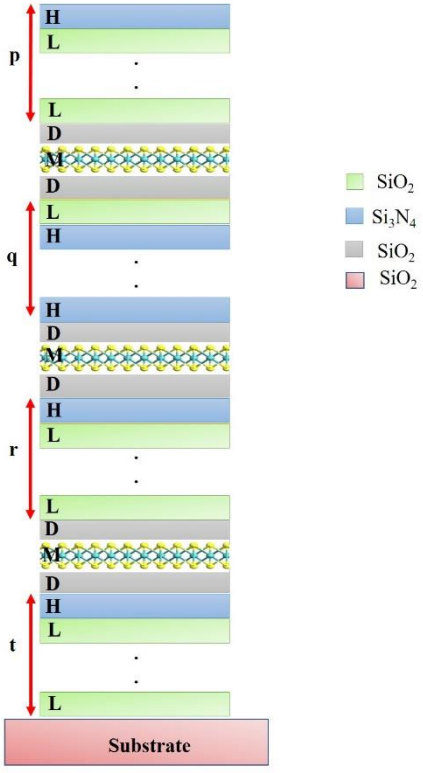
یکی از روش ها برای افزایش جذب در تک طول موج، استفاده از بلورهای فوتونی است که در آن لایه‌های نقص قرار داده‌شده‌است که به آن، بلور فوتونی نقص دار[2](DPC) گفته می‌شود [۳]. استفاده از ساختار DPC باعث افزایش جذب در طول موج‌های خاصی در ناحیه‌ی گاف نواری می‌شود که به مد نقص معروف هستند. تعداد مدهای نقص و اندازه‌ی جذب در ناحیه‌ی گاف نواری، به تعداد لایه‌های نقص و تقارن ساختار وابسته می‌باشد [۴].

یکی دیگر از پارامترهای مهم در طراحی ابزارهای اپتوالکترونیکی، تنظیم پذیری طول موج مدهای نقص است. با تغییر عوامل ساختاری مانند ضخامت، تناوب و تقارن ساختار یا تغییر عوامل بیرونی مانند قطبش یا زاویه‌ی نور فرودی، طول موج مدهای نقص قابلیت تنظیم پذیری پیدا می‌کنند [۴].

در این مقاله برای طراحی ساختارهایی با طول موج‌های تنظیم پذیر و جذب بالا، از ساختار DPC با سه نقص بر پایه‌ی MoS_2 استفاده شده است.

تئوری

برای بررسی میزان جذب و تنظیم پذیری طول موج مد نقص، از ساختار DPC با سه نقص، $(HL)^p$ DMD $(LH)^q$ DMD $(HL)^r$ DMD $(HL)^t$ استفاده می‌شودکه به صورت شماتیک در شکل ۱ نشان داده شده است. نقص در این ساختار به صورت DMD معرفی می‌شود و ساختار نسبت به نقص‌های اول و دوم، متقارن و نسبت به نقص سوم، نامتقارن است که در آن H، L، M و D به ترتیب Si_3N_4، SiO_2، MoS_2 و SiO_2 انتخاب شده است.



شکل ۱ : تصویر شماتیک بلور فوتونی نقص‌دار با سه نقص

این مجموعه روی زیرلایه‌ای از جنس SiO_2 قرار گرفته است. p، q، r و t به ترتیب تعداد تناوب لایه‌ی بالایی، بین

[1] Transition Metal Dichalcogenides(TMDC)
[2] Defective Photonic Crystal (DPC)

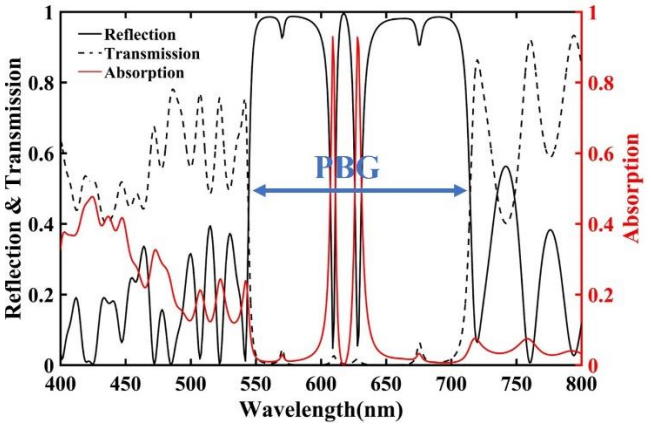
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

نقص اول و دوم، بین نقص دوم و سوم و لایه‌ی پایینی می‌باشند.

نور از هوا با زاویه‌ی فرودی عمود به ساختار تابیده می‌شود. ویژگی‌های اپتیکی ساختار، با استفاده از روش ماتریس انتقال به دست می آید [۵]. در این روش برای محاسبه‌ی میزان جذب ساختار، ضریب شکست و ضخامت همه‌ی لایه‌ها مورد نیاز است. ضخامت لایه‌های H، L، D و M به ترتیب با $d_H = \frac{\lambda_0}{4n_H}$ ، $d_L = \frac{\lambda_0}{4n_L}$ و $d_D = \frac{\lambda_0}{2n_D}$ $d_M = 0.615nm$ انتخاب می‌شود که $\lambda_0 = 617nm$ در نظر گرفته شده است. ضریب شکست Si_3N_4 ، SiO_2 و MoS_2 از مراجع [۶]، [۷] و [۴] به دست می‌آید.

نتایج و بحث

طیف جذب، عبور و بازتاب ساختار برای تناوب‌های $p = 5$، $q = 4$، $r = 5$ و $t = 8$ در شکل ۲ رسم شده است.



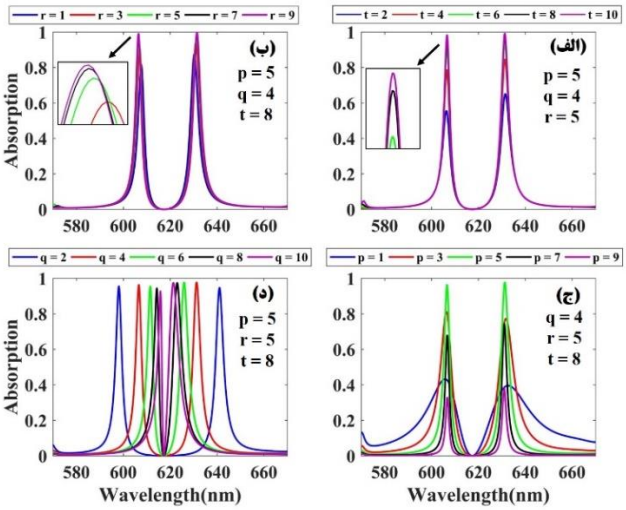
شکل ۲ : طیف بازتاب، عبور و جذب در $p = 5$، $q = 4$، $r = 5$ و $t = 8$ در ناحیه‌ی طول موج مرئی

در شکل ۲ ، ناحیه‌ی گاف نواری[3] با علامت PBG نشان داده شده است که در این ناحیه دو مد نقص در طول موج‌های ۶۰۶ و ۶۳۱ نانومتر مشاهده می‌شود که میزان عبور نور در ناحیه‌ی PBG بجز در طول موج‌های مد نقص، صفر است و میزان جذب در مدهای نقص ۹۷٪ می‌باشد.

[3] Photonic Band Gap(PBG)

انتخاب p، q، r و t در طول موج مد نقص و میزان جذب اثرگذار است. به همین دلیل در شکل ۳ تاثیر تغییر هر یک از این پارامترها بر طول موج مد نقص و میزان جذب نشان داده شده است.

در شکل ۳ الف، اثر تغییر t در $p = 5$، $q = 4$ و $r = 5$ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود با افزایش t میزان جذب افزایش می‌یابد، اما از $t = 8$ به بعد این افزایش جذب ناچیز است که به دلیل مزیت انتخاب تعداد لایه‌های کمتر، $t = 8$ به عنوان t بهینه در نظر گرفته شده است. میزان جذب برای $t = 6$، $t = 8$ و $t = 10$ در قسمت بزرگنمایی شده‌ی شکل ۳ الف نشان داده شده است.



شکل ۳ : طیف جذب بر حسب تغییر طول موج در ناحیه PBG (الف) با تغییر t (ب) با تغییر r (ج) با تغییر p (د) با تغییر q

در شکل ۳ ب، اثر تغییر r در $p = 5$، $q = 4$ و $t = 8$، رسم شده‌است. مشاهده می‌شود با تغییر پارامتر r، طول موج مد نقص به میزان ناچیزی تغییر می‌کند. با افزایش r تا $r = 5$ میزان جذب افزایش می‌یابد، اما با افزایش r بیش از عدد 5، تغییر چشمگیری در میزان جذب مشاهده نمی‌شود که برای وضوح بیشتر، تفاوت اندک آن‌ها در قسمت بزرگنمایی شده‌ی شکل ۳ ب رسم شده‌است. به همین دلیل، $r = 5$ به عنوان r بهینه در نظر گرفته می‌شود.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

در شکل ۳ ج، اثر تغییر p نشان داده شده است که میزان جذب با افزایش p تا p = 5، افزایش یافته و پس از آن، افزایش p موجب کاهش جذب می‌شود. به همین دلیل p = 5 به عنوان p بهینه انتخاب می‌شود.

در شکل ۳ د، اثر تغییر q نشان داده شده‌است که q تنظیم کننده‌ی فاصله‌ی بین نقص اول و دوم است. در این شکل مشاهده می‌شود با تغییر q، طول موج مدهای نقص تغییر کرده و در نتیجه فاصله‌ی قله تا قله[4]ی مدهای نقص ($L = \lambda_{2d} - \lambda_{1d}$) تغییر می‌کند. به همین دلیل تغییر q باعث تنظیم پذیری طول موج مد نقص در محدوده‌ی گاف نواری خواهد شد. میزان جذب با تغییر q تغییر چندانی نمی‌کند.

برای بررسی بیشتر، طول موج مد نقص اول (λ_{1d})، طول موج مد نقص دوم (λ_{2d})، فاصله‌ی قله تا قله‌ی مدهای نقص (L) و میزان جذب هر یک از مدهای نقص برای مقادیر متفاوت q در p، r و t ثابت در جدول ۱ قرار داده شده‌است.

جدول ۱: مقدار جذب، طول موج و فاصله‌ی قله تا قله برای هر دو مد نقص در p، r و t ثابت و q متغیر

P	q	r	t	λ_{1d}	λ_{2d}	L	A1	A2
5	2	5	8	598.1	641.1	43	95.5	94.6
5	4	5	8	606.6	631.3	24.7	96.3	97.7
5	6	5	8	611.5	625.9	14.4	95.4	97.6
5	8	5	8	614.3	623	8.7	94.4	97.4
5	10	5	8	615.9	621.4	5.5	92.6	97.4

نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد، با افزایش q، میزان L کاهش می‌یابد و مدهای نقص به یکدیگر نزدیک می‌شوند و برای تمامی مقادیر q میزان جذب بالای ۹۲٪ است. با مقایسه‌ی میزان جذب برای مقادیر مختلف q در جدول ۱ می‌توان نتیجه گرفت بیشترین میزان جذب مربوط به q = 4 است. پس می‌توان میزان بهینه‌ی q برای دستیابی به بیشترین جذب را برابر 4 در نظر گرفت.

[4] Peak to peak distance

نتیجه گیری

در این مقاله، با تغییر تعداد لایه‌ها بین نقص‌های یک بلور فوتونی نقص‌دار با سه نقص، ساختاری با میزان جذب بالای ۹۷٪ طراحی شده‌است که p، r و t بهینه به ترتیب ۵، ۵ و ۸ انتخاب شده‌اند. همچنین با افزایش فاصله‌ی بین نقص اول و دوم (q)، فاصله‌ی طول‌موج مدهای نقص کاهش می‌یابد. در نتیجه این ساختار، دارای ویژگی تنظیم‌پذیری طول‌موج مد نقص بر اساس تنظیم فاصله‌ی بین نقص اول و دوم می‌باشد. با توجه به نتایج، می‌توان جاذب‌های تقریبا کامل تنظیم‌پذیر با استفاده از بلورهای فوتونی نقص‌دار طراحی نمود.

مراجع

[1] K.L. Seyler, "Electrical control of second-harmonic generation in a WSe 2 monolayer transistor," Nature nanotechnology. Vol. 10, pp. 407-411, 2015.

[2] O. Lopez-Sanchez, "Ultrasensitive photodetectors based on monolayer MoS 2," Nature nanotechnology. Vol. 8, pp. 497-501, 2013.

[3] H. Lu, "Nearly perfect absorption of light in monolayer molybdenum disulfide supported by multilayer structures," Optics express. Vol. 25, pp. 21630-21636, 2017.

[4] N. Ansari and K. Mirbaghestan, "Design of Wavelength-Adjustable Dual-Narrowband Absorber by Photonic Crystals With Two Defects Containing MoS 2 Monolayer," Journal of Lightwave Technology. Vol. 38, pp. 6678-6684, 2020.

[5] J. Jo, "Comparative study of optical analysis methods for thin films," Current Applied Physics. Vol. 20, pp. 237-243, 2020.

[6] T. Bååk, "Silicon oxynitride; a material for GRIN optics," Applied optics. Vol. 21, pp. 1069-1072, 1982.

[7] G. Ghosh, "Dispersion-equation coefficients for the refractive index and birefringence of calcite and quartz crystals," Optics communications. Vol. 163, pp. 95-102, 1999.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

موارد اصلاح شده و توضیحات:

۱- ویرایش چکیده ی انگلیسی طبق نمونه

۲- احتراما؛ در مورد تک ستونی کردن شکل ۳، با توجه به محدودیت تعداد صفحه‌های مقاله در ۴ صفحه و اینکه در صورت تک ستونی کردن این شکل، بخشی از مطالب آمده در ادامه‌ی آن که مربوط به توضیحات این شکل است، باید حذف گردد تا مقاله در ۴ صفحه گنجانده شود، این کار به دلیل ناقص ماندن مطالب و عدم تحلیل نمودارها ممکن نیست.

۳- عبارت DMD در چکیده‌ی انگلیسی نشان دهنده‌ی ساختار نقص است. که D و M به ترتیب SiO_2 و MoS_2 هستند که این توضیح در چکیده‌ی انگلیسی آمده است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]