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

تنظیم پذیری طول موج مدهای نقص با تغییر ضخامت نقص در بلور فوتونی نقص دار بر پایه‌ی 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 مولیبدن دی سولفات،MoS_2، به علت داشتن جذب بالا در ضخامت نانومتری، قابلیت چشمگیری در کاربردهای اپتوالکترونیکی یافته‌اند. اما همچنان برای استفاده در ابزارهای اپتوالکترونیک لازم است این میزان جذب افزایش یابد. یکی از روش‌های مرسوم برای افزایش جذب، قرارگیری تک‌لایه‌ی MoS_2 به صورت نقص در بلور فوتونی می‌باشد. در این مقاله ازساختار بلور فوتونی با سه نقص به صورت DMD که باعث افزایش جایگزیدگی موج در ساختار می‌شود، استفاده شده است که در آن D و M به ترتیب SiO_2 و MoS_2 می‌باشند. تاثیر تغییر ضخامت لایه‌ی D، بر میزان جذب و طول موج مدهای نقص بررسی شده است. مشاهده می‌شود تغییر ضخامت لایه‌ی D، باعث تنظیم پذیری طول موج و بهبود تفکیک پذیری مدهای نقص می‌شود.

کلید واژه- بلور فوتونی نقص‌دار، تنظیم پذیری طول‌موج، ضخامت لایه‌ی نقص، مولیبدن دی سولفات

Wavelength adjustability of Defect modes by Altering the Thickness of Defect layers 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- Today, two-dimensional materials such as MoS_2 have exhibited distinctive capabilities in optoelectronics, due to the high absorption and nanometric thickness. However, this amount needs to be increased. One of the most common methods to increase absorption is to insert a monolayer of MoS_2 as a defect in photonic crystals. In this paper a defective photonic crystal with three defects which are designed as DMD because of its impact on localization of wave is used. D and M are assumed to be SiO_2 and MoS_2 layers respectively. Influences of altering the thickness of defect layer D on absorption and wavelength of defect modes are investigated. It can be seen that altering the thickness of defect layer D can result in wavelength adjustability and improve distinguishably of defect modes.

Keywords: Defective photonic crystal, Molybdenum disulfate, Thickness of Defect layer, Wavelength adjustability

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-31]

مقدمه

تک لایه‌های کلکوژنایدهای فلزات واسطه (TMDC[1]) در میان مواد دوبعدی، به دلیل گاف نواری مستقیم و جذب بالا در ناحیه‌ی نور مرئی، کاربرد بسیاری در اپتوالکترونیک دارند [۱]. یکی از مهم‌ترین TMDC ها، تک لایه‌ی مولیبدن دی سولفات، MoS_2 است که با توجه به ضخامت نانومتری، جذب قابل توجهی در ناحیه‌ی طول‌موج مرئی دارد. اما همچنان برای استفاده در ابزارهای اپتوالکترونیک لازم است این میزان جذب افزایش یابد [۲].

از روش‌های افزایش جذب در تک طول‌موج، می‌توان به استفاده از بلور فوتونی نقص دار (DPC[2]) اشاره کرد. نقص در بلورهای فوتونی، باعث ایجاد مد نقص در گاف نواری فوتونی (PBG[3]) می‌شود. از عوامل ساختاری تاثیرگذار در میزان جذب یا تنظیم پذیری طول موج مدهای نقص، تعداد لایه‌های نقص و ضخامت آن‌ها می‌باشد. مزیت استفاده از لایه‌های نقص بیشتر، افزایش میزان جذب با وجود کاهش تعداد کل لایه‌ها در ساختار DPC است [۲].

استفاده از تک لایه‌ی MoS_2 به عنوان نقص در ساختار بلور فوتونی، میزان جذب را افزایش می‌دهد. اما به علت ضخامت بسیار کم تک لایه‌ی MoS_2، امکان تغییر ضخامت و جایگزیدگی موج در آن کاهش می‌یابد. به همین دلیل لایه‌ی نقص به صورت DMD که در آن D و M به ترتیب SiO_2 و MoS_2 می‌باشند، انتخاب می‌شود. استفاده از لایه‌ی نقص به صورت DMD، باعث افزایش جایگزیدگی موج می‌شود و همچنین می‌توان با تغییر ضخامت لایه‌ی D، طول‌موج مد نقص را تنظیم نمود [۳].

در این مقاله به بررسی اثر تغییر ضخامت لایه‌ی D بر میزان جذب و طول موج مدهای نقص در ساختار بلور فوتونی نقص دار با سه نقص بر پایه‌ی MoS_2 پرداخته می‌شود.

تئوری

برای بررسی تاثیر ضخامت لایه‌ی D بر طیف جذب یک ساختار DPC، از بلور فوتونی نقص‌دار با سه نقص و ساختار $(HL)^p$ DMD $(LH)^q$ DMD $(HL)^r$ DMD $(HL)^t$ استفاده شده است. در این ساختار، لایه‌ی نقص به صورت DMD انتخاب شده است 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. این مجموعه روی زیرلایه‌ای از جنس SiO_2 قرار گرفته است. p، q، r و t به ترتیب تعداد تناوب لایه‌ی بالایی، بین نقص اول و دوم، بین نقص دوم و سوم و لایه‌ی پایینی می‌باشند. نور از هوا با زاویه‌ی عمود به ساختار تابیده می‌شود. جذب ساختار با استفاده از روش ماتریس انتقال به دست می‌آید. در این روش به ضریب شکست و ضخامت تمامی لایه‌ها نیاز داریم که ضریب شکست Si_3N_4، SiO_2 و MoS_2 از مراجع [۴]، [۵] و [۳] به دست می‌آید. ضخامت لایه‌های H، L، وM به ترتیب $d_H = \frac{\lambda_0}{4n_H}$، $d_L = \frac{\lambda_0}{4n_L}$ ، و$d_M = 0.61nm$ انتخاب می‌شود که $\lambda_0 = 617nm$ در نظر گرفته شده است. ضخامت لایه‌ی D با d_D نمایش داده می‌شود و اثر تغییر این ضخامت بر میزان جذب و طول موج مدهای نقص در این مقاله بررسی می‌شود.

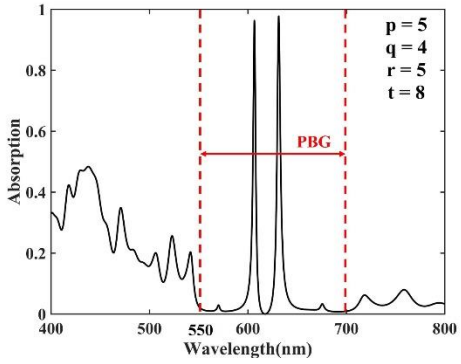
نتایج و بحث

برای بررسی تاثیر ضخامت لایه‌ی D بر میزان جذب، نمودار طیف جذب بر حسب طول موج نور فرودی در ناحیه‌ی مرئی برای p = 5، q = 4، r = 5 و t = 8 برای

[1]Transition Metal Dichalcogenides (TMDC)
[2]Defective Photonic Crystal (DPC)
[3] Photonic Band Gap (PBG)

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-31]

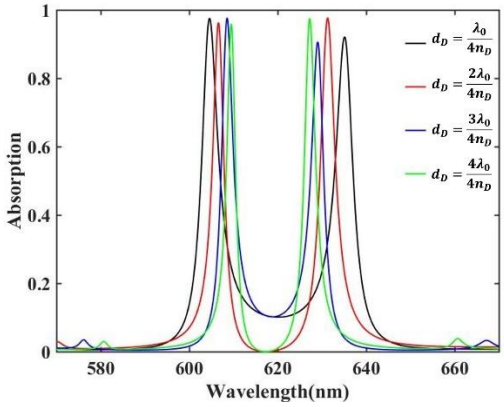
$d_D = \frac{\lambda_0}{2n_D}$ در شکل ۱ رسم شده است. دوره تناوب‌های انتخاب شده، بهینه حالت‌هایی است که به ازای آن بیشینه مقدار جذب برای مدهای نقص به دست می‌آید.



شکل ۱: طیف جذب بر حسب طول موج

ناحیه‌ی مشخص شده در شکل ۱ ناحیه‌ی PBG می‌باشد که وجود نقص‌ها در ساختار باعث ایجاد دو مد نقص با جذب بالای ۹۷٪ در این ناحیه می‌شود.

برای بررسی تاثیر ضخامت لایه‌ی D بر طول موج مدهای نقص، طیف جذب ساختار در ناحیه‌ی PBG برای ضخامت‌های متفاوت لایه‌ی D که به صورت $d_D = m\frac{\lambda_0}{4n_D}$ و m = 1,2,3,4 می‌باشد به ترتیب با رنگ‌های مشکی، قرمز، آبی و سبز در شکل ۲ رسم شده است.



شکل ۲: طیف جذب برای $d_D = \frac{\lambda_0}{4n_D}$ (مشکی)، $d_D = \frac{2\lambda_0}{4n_D}$ (قرمز)، $d_D = \frac{3\lambda_0}{4n_D}$ (آبی) و $d_D = \frac{4\lambda_0}{4n_D}$ (سبز)

از شکل ۲ مشاهده می‌شود میزان جذب دو مد نقص برای مقادیر زوج m باهم برابر است در صورتی که برای مقادیر فرد m میزان جذب در دو مد نقص با هم متفاوت می‌باشد.

بیشترین میزان جذب در ناحیه‌ی PBG با A_{peak} و کمترین میزان جذب بین λ_{1d} و λ_{2d} با A_{valley} نشان داده می‌شود. با مقایسه‌ی مقادیر زوج و فرد برای m مشاهده می‌شود که تغییر m، تاثیر چشمگیری بر A_{peak} ندارد. اما A_{valley} برای مقادیر زوج m برابر صفر است در صورتی که برای مقادیر فرد m دارای مقداری غیر از صفر می‌باشد. کمیت D_{valley} به صورت $D_{valley} = (A_{peak} - A_{valley})/A_{peak}$ تعریف می‌شود. مقادیر کمیت‌های d_D، A_{peak}، A_{valley} و D_{valley} در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱ : مقادیر d_D، A_{peak}، A_{valley} و D_{valley}

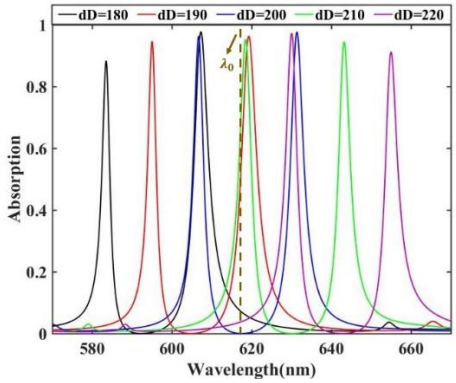
m	d_D(nm)	A_{peak}	A_{valley}	D_{valley}
1	100	0.97	0.1	0.89
2	200	0.97	0	1
3	300	0.97	0.1	0.89
4	400	0.97	0	1

هر چه مقدار D_{valley} به عدد ۱ نزدیکتر باشد، دو مد نقص قابلیت تفکیک پذیری بیشتری از یکدیگر دارند. برای مقادیر زوج m، بیشترین مقدار D_{valley} مشاهده می‌شود به همین دلیل در این حالت مدهای نقص کاملا از هم تفکیک پذیرند. در حالی که D_{valley} برای مقادیر فرد m، مقدار کمتری دارد.

به همین دلیل ضخامت لایه‌ی D در این مقاله، $d_D = 2\frac{\lambda_0}{4n_D} = 200nm$ یعنی m = 2 در نظر گرفته شده است. برای بررسی بیشتر تاثیر تغییر ضخامت لایه‌ی D در نزدیکی ۲۰۰ نانومتر، طیف جذب در ناحیه‌ی PBG

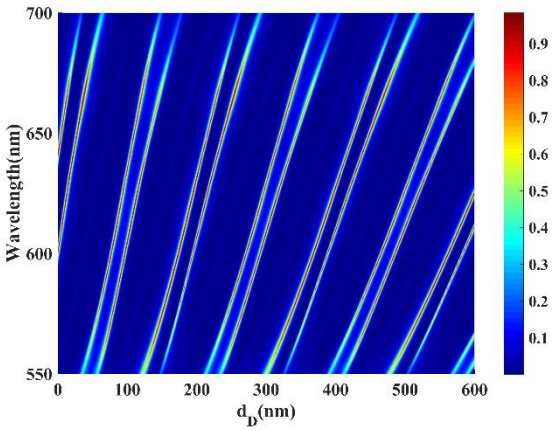
[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-31]

برای ضخامت‌های 220 و $d_D = 180, 190, 200, 210$ نانومتر در شکل ۳ رسم شده است.



شکل ۳: طیف جذب بر حسب طول موج برای ضخامت لایه‌ی D برابر با 180 (مشکی)، 190 (قرمز)، 200(آبی)، 210(سبز) و 220 (بنفش) نانومتر

با تغییر ضخامت، طول موج مدهای نقص تنظیم می‌شوند اما فاصله‌ی قله تا قله‌ی مدها در ضخامت‌های مختلف یکسان است. طول موج طراحی برای d_D = 200 nm (m = 2) دقیقا در وسط مدهای نقص قرار می‌گیرد. اما برای مقادیر غیر صحیح m، مدهای نقص در یک طرف λ_0 قرار می‌گیرند.



شکل ۴: طیف جذب بر حسب d_D

مشاهده می‌شود با افزایش d_D، مدهای نقص به سمت طول موج‌های قرمز انتقال می‌یابند. برای بررسی دقیق‌تر، طیف جذب بر حسب d_D در شکل ۴ رسم شده است.

با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود با تغییر d_D، فاصله‌ی قله تا قله تغییری نمی‌کند و با افزایش d_D طول موج مدهای اول و دوم نقص، هر دو انتقال به سرخ دارند.

نتیجه‌گیری

در این مقاله تاثیر تغییر ضخامت لایه‌ی D در بلور فوتونی با سه نقص به صورت DMD، بر میزان جذب و طول موج مدهای نقص بررسی گردید. با تغییر ضخامت لایه‌ی D، تنظیم پذیری طول موج مدهای نقص مشاهده می‌شود. همچنین افزایش این ضخامت، باعث انتقال به سرخ در مدهای نقص می‌شود. برای d_D در ضرایب زوج $\frac{\lambda_0}{4n_D}$ ، میزان جذب حداکثر بوده و همچنین کمیت D_{valley} برابر با ۱ می‌شود که نشان‌دهنده‌ی تفکیک پذیری کامل مدهای نقص می‌باشد.

مرجع‌ها

[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] 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.

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

[5] 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 2026-01-31]

موارد اصلاح شده:

۱- مطالب بخش منابع justify شد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-31]