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

افزایش جذب و پهنای جذب TMDCها با استفاده از بلور فوتونی

نرگس انصاری، کیمیا فلاح و انسیه محبی

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

.n.ansari@alzahra.ac.ir, k.fallah@student.alzahra.ac.ir, e.mohebi@student.alzahra.ac.ir,

چکیده- امروزه بلورهای دوبعدی کلکوژنایدهای فلزات واسطه (TMDCs) به علت گاف نواری مستقیم و جذب قابل توجه در ناحیه‌ی مرئی در د ستگاه‌های اپتوالکترونیکی ب سیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. ا ستفاده از TMDC ها در ساختارهای بلوری باعث افزایش جذب و کارایی آن‌ها خواهد شـــد. در این مقاله، به منظور طراحی ســـاختاری با جذب بالا در بازه‌ی گســـترده‌ای از طول موج، تاثیر قرارگیری TMDCها در سه ساختار بلور فوتونی شامل SiO_2، Si_3N_4 و TMDC با بهره‌گیری از روش ماتریس انتقال برر سی شده است. چهار ماده‌ی TMDC مورد بررسی مولیبدن دی سولفید (MoS_2)، مولیبدن دی سلنیوم ($MoSe_2$)، تنگستن دی سولفید (WS_2) و تنگ ستن دی سلنیوم (WSe_2) می‌با شند که در بهترین ساختار به جذب بالای ۶۶٪ (۹۲٪) در بازه‌ی ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر (۴۰۰-۵۳۰ نانومتر) دست یافته‌ایم.

کلید واژه- بلورفوتونی، پهنای جذب، تک‌لایه‌های کلکوژناید فلزات واسطه، جذب

Increa**sing** the Absorption and the Broadband Absorption TMDCs with Using Photonic Crystals

Narges Ansari, Kimya Fallah, Ensiyeh Mohebbi

Department of Physics, Alzahra University, Tehran, 1993893973, Iran.
.n.ansari@alzahra.ac.ir, k.fallah@student.alzahra.ac.ir, e.mohebi@student.alzahra.ac.ir

Abstract-Nowadays transition material dichalcogenide (TMDC) two-dimensional crystals due to direct band gap and a significant absorption in the visible region have been highly regarded in optoelectronic devices. The use of TMDCs in photonic crystals will increase the absorption and performances of them. In this paper, in order to design a structure with high absorption in a wide range of wavelength, TMDCs wrapping impact in three photonic crystals including SiO_2, Si_3N_4 and TMDC has been investigated by using the transfer matrix method. Four TMDCs contains Molybdenum disulfide (MoS_2), Molybdenum diselenide ($MoSe_2$), Tungsten disulfide (WS_2) and Tungsten diselenide (WSe_2) **which in best structures** we reached to absorption higher than 66% (92%) in range of 400-700 nm (400-530nm).

Keywords: photonic crystals, broadband absorption, Transition material dichalcogenide monolayers, absorption

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

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

مقدمه

کلکوژنایدهای فلزات واسطه (TMDC[1]) به علت گاف نواری مستقیم و جذب بالای نور در طول موج مرئی، در اپتوالکترونیک و فوتونیک مورد توجه قرار گرفته‌اند [۱]. از مهم‌ترین این تک‌لایه‌ها می‌توان به مولیبدن دی سولفید (MoS_2)، مولیبدن دی سلنیوم ($MoSe_2$)، تنگستن دی سولفید (WS_2) و تنگستن دی سلنیوم (WSe_2) اشاره کرد که نقش مهمی در ترانزیستورها، آشکارگرها، سلول‌های خورشیدی و ... دارند [۲ و ۳]. این مواد با توجه به ضخامت نازکشان، میزان جذب قابل توجهی دارند اما مقدار جذب آن‌ها برای کاربری در اپتوالکترونیک نیاز به افزایش دارد.

روش‌های متفاوتی برای افزایش میزان جذب یا پهنای جذب نوری پیشنهاد شده است که یکی از این روش‌ها قرار دادن تک‌لایه‌های TMDC در بلورهای فوتونی می‌باشد [۴]. بلورهای فوتونی ساختارهای دی‌الکتریکی هستند که ضریب شکستشان به طور تناوبی تغییر می‌کند. به علت سادگی طراحی و ساخت بلورهای فوتونی یک بعدی نسبت به دو و سه بعدی، در این مقاله حالت یک بعدی بلورهای فوتونی مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۳ و ۵].

در این مقاله با قرار دادن یکی از تک‌لایه‌های MoS_2، $MoSe_2$، WS_2 یا WSe_2 در سه ساختار متفاوت بلورهای فوتونی یک بعدی به بررسی تاثیر نوع بلور فوتونی و دوره تناوب بر روی میزان جذب و پهنای جذب پرداخته‌ایم و در بهینه حالت به جذب بالای ۶۶٪ (۹۲٪) در بازه‌ی ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر(۵۳۰-۴۰۰ نانومتر) رسیده‌ایم که می‌توان به عنوان جاذب کامل در بازه طول موج محدود یا در سلول‌های خورشیدی در کل بازه‌ی مرئی از آن استفاده کرد.

تئوری

در این مقاله به بررسی ویژگی‌های اپتیکی سه ساختار بلورفوتونی $(mb)^n$، $(ma)^n$ و $(mamb)^n$ پرداخته شده است که a، b و m به ترتیب SiO_2، Si_3N_4 و TMDC هستند و TMDCها شامل یکی از تک لایه‌های MoS_2، $MoSe_2$، WS_2 یا WSe_2 می‌باشند. نور از هوا به صورت عمود به ساختارهای بلورفوتونی می‌تابد. جذب ساختارها با استفاده از روش ماتریس انتقال محاسبه می‌شود [۶]. در این روش ماتریس انتقال ضریب شکست و ضخامت تمام لایه‌ها نیاز است. ضریب شکست SiO_2 و Si_3N_4 و TMDCها از مراجع [۷-۹] گرفته شده است. ضخامت TMDCها [۶] و ضخامت SiO_2، Si_3N_4 متناسب با هر TMDC در جدول ۱ آورده شده است.

جدول۱:. ضخامت SiO_2، Si_3N_4 متناسب با هر TMDC و ضخامت تمامیTMDC ها

	d_{SiO_2} (نانومتر)	$d_{Si_3N_4}$ (نانومتر)	d_{TMDC} (نانومتر)
MoS_2	۷۲/۱	۵۲/٤	۰/٦۱۵
$MoSe_2$	۷۹/۱	۵۷/٦	۰/٦٤٦
WS_2	۷۲/۳	۵۲/٦	۰/٦۱۸
WSe_2	۷۱/۳	۵۱/۹	۰/٦٤۹

بحث و نتیجه‌گیری

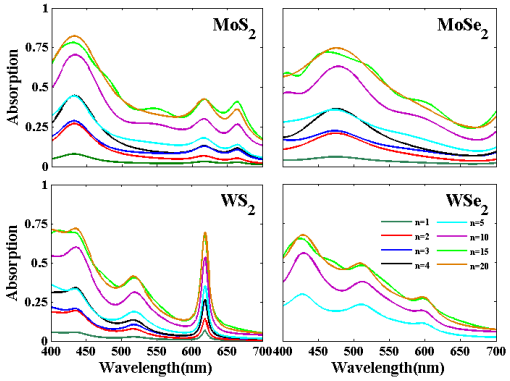
نوع بلور فوتونی و عدد دوره تناوب بر روی میزان جذب و پهنای جذب تاثیر بسزایی دارد. به منظور یافتن بهترین ساختار با پهنای جذب بالا، طیف جذب سه ساختار $(mb)^n$، $(ma)^n$ و $(mamb)^n$ برای هر چهار TMDC در بازه‌ی ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر به ترتیب درشکل ۱ تا ۳ رسم شده است. در

[1] Transition material dichalcogenide

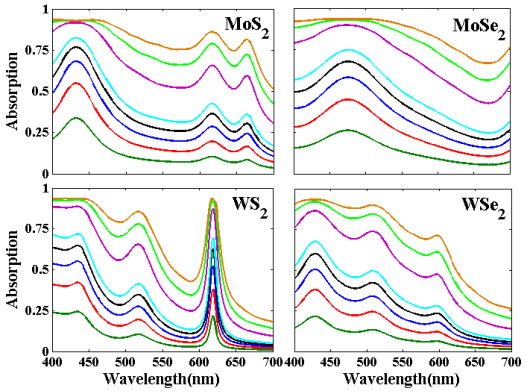
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

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

تمامی شکل‌ها، با افزایش n، میزان جذب افزایش می‌یابد و با افزایش تناوب از n>۲۰، تغییر قابل ملاحظه‌ای در میزان جذب دیده نمی‌شود.

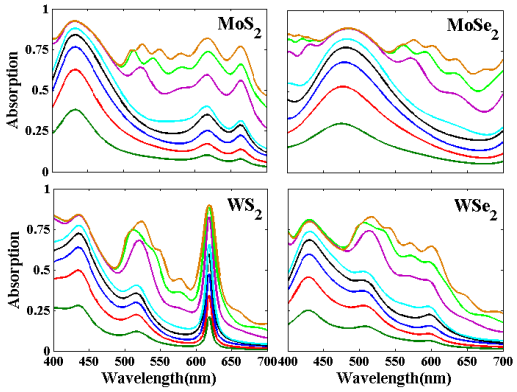


شکل۱: طیف جذب ساختار $(mb)^n$ با دوره‌تناوب‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ (به ترتیب سبز، قرمز، آبی، مشکی، فیروزه‌ای، بنفش، فسفری، نارنجی) برای تک‌لایه‌های MoS_2 و $MoSe_2$ و WS_2 و WSe_2



شکل۲: طیف جذب ساختار $(ma)^n$ با دوره‌تناوب‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ (با رنگ‌های مشابه شکل۱) برای تک‌لایه‌های MoS_2 و $MoSe_2$ و WS_2 و WSe_2

برای پیدا کردن بهترین ساختار با پهنای طول موجی بالا، میزان جذب هر سه ساختار در سه بازه‌ی طول موجی انتخابی با تعداد لایه‌ی برابر در جدول ۲ بررسی شده¬اند. با توجه به جدول۲، میزان جذب ساختار $(ma)^n$ از دو ساختار دیگر در هر کدام از بازه‌های انتخابی بیشتر است. جذب بیشتر ساختار$(ma)^n$ به دلیل اختلاف بیشتر ضریب شکست m با a نسبت به m با b است و این عامل بر روی ویژگی مشخصه‌های اپتیکی از جمله جذب موثر است. برای بررسی واضح تر میزان جذب سه بلور فوتونی برای هر ۴ تک لایه‌ی TMDC با تعداد ۸۰ لایه در شکل ۴ رسم شده است.



شکل۳: طیف جذب ساختار $(mamb)^n$ با دوره‌تناوب‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ (با رنگ‌های مشابه شکل ۱) برای تک‌لایه‌های MoS_2 و $MoSe_2$ و WS_2 و WSe_2

جدول۲:مقایسه‌ی میزان جذب بلورهای فوتونی با تعداد لایه‌ی برابر برای چهار TMDC در سه بازه‌ی مختلف

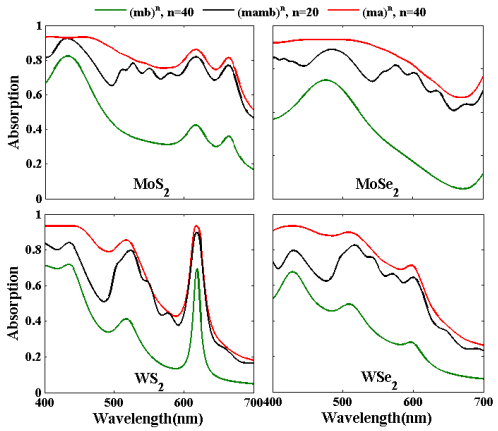
طول موج	بلور فوتونی	جذب ٪			
		MoS_2	$MoSe_2$	WS_2	WSe_2
۴۰۰-۵۳۰	$(mb)^{۴۰}$	۳۵	۵۸	۳۵	۴۰
	$(ma)^{۴۰}$	۸۰	۹۲	۸۰	۸۵
	$(mamb)^{۲۰}$	۶۵	۷۷	۵۰	۶۳
۴۰۰-۶۴۰	$(mb)^{۴۰}$	۳۱	۲۸	۱۱	۱۲
	$(ma)^{۴۰}$	۷۵	۷۱	۳۸	۴۰
	$(mamb)^{۲۰}$	۶۵	۶۸	۳۲	۳۵
۴۰۰-۶۷۵	$(mb)^{۴۰}$	۲۹	۲۵	۶	۸
	$(ma)^{۴۰}$	۷۲	۶۷	۲۱	۳۰
	$(mamb)^{۲۰}$	۶۵	۶۰	۱۸	۲۵

همان طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود ساختار $(ma)^n$ نسبت به بقیه ساختارها در تمام بازه‌های طول موجی جذب بالاتر دارد. همچنین با مقایسه TMDC ها در ساختارها مشاهده می‌شود که MoS_2، $MoSe_2$ جذب بالاتری نسبت به WS_2و WSe_2 در بازه‌ی ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر دارند. به دلیل قله جذب تک‌لایه‌ی WS_2 معلق در طول موج ۶۱۹ نانومتر ساختارهای شامل تک‌لایه‌ی WS_2 در این قله جذب بالایی دارند اما با توجه به هدف جذب بالا با پهنای طول موج بیشتر $MoSe_2$ از میان TMDC ها انتخاب می‌شود . ساختار

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

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

$(ma)^n$ شامل $MoSe_2$ دارای جذب بالای ۶۶٪ (۹۲٪) در بازه‌ی ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر (۴۰۰-۵۳۰ نانومتر) می‌باشد که می‌توان به عنوان جاذب کامل در بازه طول موج ۱۳۰ نانومتر یا در کاربری دستگاه‌های اپتوالکترونیکی با پهنای جذب بالا استفاده کرد.



شکل۴: طیف جذب هر سه بلورفوتونی برای هر چهار TMDC با تعداد لایه‌ی برابر

نتیجه‌گیری

با هدف داشتن بازه‌ی وسیعی از طول موج با جذب بالا، سه بلور فوتونی با لایه‌های دی الکتریک متشکل از SiO_2 و Si_3N_4 همراه با تک لایه‌ی TMDC بررسی شده است. جذب ساختارها برای تابش عمودی با روش ماتریس انتقال محاسبه می‌شود. در نهایت ساختار $(ma)^n$ برای $MoSe_2$ دارای جذب بالای ۶۶٪ (۹۲٪) در بازه‌ی ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر (۴۰۰-۵۳۰ نانومتر) می‌باشد که می‌تواند برای توسعه‌ی ابزارهای اپتوالکترونیکی مفید واقع شود.

مرجع‌ها

[1] N. P. Sergeant, O. Pincon, M. Agrawal, P. Peumans, “Design of wide-angle solar-selective absorbers using aperiodic metal-dielectric stacks”, Opt. Express, Vol. 17, pp. 22800–22812, 2009.

[2] O. Lopez-Sanchez, D. Lembke, M. Kayci, A. Radenovic, A. Kis ,“Ultrasensitive photodetectors based on monolayer MoS_2”, Nat. Nanotech. Vol. 8, pp. 497-501, 2013.

[3] Z. Yin, H. Li, H. Li, L. Jiang, Y. Shi, Y. Sun, G. Lu, Q. Zhang, X. Chen, H. Zhang, “Single-layer MoS_2 phototransistors” ACS. Nano, Vol. 6, pp. 74-80, 2011.

[4] N. Ansari, E. Mohebbi, “Increasing optical absorption in one-dimensional photonic crystals including MoS_2 monolayer for photovoltaics applications”, Opt. Mat., Vol. 62, pp. 152-158, 2016.

[5] N. Bonod, G. Tayeb, D. Maystre, S. Enoch, E. Popov, “Total absorption of light by lamellar metallic gratings”, J. Opt. Express Vol. 16, pp. 15431–15438, 2008.

[6] N. Ansari, F. Ghorbani, “Light absorption optimization in two-dimensional transition metal dichalcogenide van der Waals heterostructures”, J. Opt. Soc. Am. B, Vol. 35, pp. 1179-1185, 2018.

[7] S.Sahel, R.Amri, D.Gamra, M.Lejeune, M.Benlahsen, K.Zellama, H.Bouchriha, “Effect of sequence built on photonic band gap properties of one-dimensional quasi-periodic photonic crystals: Application to Thue-Morse and Double-period structures”, Superlattices and Microstructures, Vol. 111, PP. 1-9, 2017.

[8] Y. Li, A. Chernikov, X. Zhang, A. Rigosi, M. H. Hill, A. M. van der Zande, D. A. Chenet, E.-M. Shih, J. Hone, and T. F. Heinz, “Measurement of the optical dielectric function of monolayer transition-metal dichalcogenides: MoS_2, $MoSe_2$, WS_2, and WSe_2”, Phys. Rev. B, Vol. 90, pp. 205422, 2014.

[9] G.Ghosh, “Dispersion-equation coefficients for the refractive index and birefringence of calcite and quartz crystals” Opt. Commun., Vol. 163, pp. 95-102, 1999.

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

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