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

طراحی جاذب کامل تنظیم‌پذیر با تک لایه‌ی MoS_2 در بلور فوتونی نقص‌دار

نرگس انصاری، کیمیا میرباغستان

n.ansari@alzahra.ac.ir, k.mirbaghestan@student.alzahra.ac.ir

گروه فیزیک، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران

چکیده – امروزه بلورهای دوبعدی موبیلدیم دی سولفات MoS_2، قابلیت چشمگیری در کاربردهای اپتوالکترونیکی نشان داده‌اند. در این مقاله در راستای رسیدن به ساختاری با جذب بالا و قابلیت تنظیم‌پذیری، از بلور فوتونی نقص دار با ساختار $\{(AB)^p\ MDM\ (AB)^q\}$ استفاده‌شده است که نقص در آن به‌صورت $MoS_2/D/MoS_2$ در نظر گرفته‌شده است و p و q به ترتیب تناوب بلور فوتونی بالا و پایین نقص را نشان می‌دهد. از روش ماتریس انتقال برای محاسبه‌ی جذب استفاده‌شده است. برای دستیابی به جذب بالا، دوره تناوب بلور فوتونی بالا و پایین نقص و ضخامت لایه‌ی نقص بهینه گردید. با استفاده از ساختار پیشنهادی می‌توان به جذب تقریبا کامل بالای ۹۷ درصد با قابلیت تنظیم‌پذیری طول‌موج مد نقص با تغییر در ضخامت لایه‌ی D رسید که با افزایش ضخامت لایه‌ی D، طول‌موج مد نقص انتقال به سرخ دارد.

کلید واژه-بلور فوتونی نقص دار، جذب، روش ماتریس انتقال، تنظیم‌پذیری طول‌موج، موبیلدیم دی سولفات

DesigningPerfect Absorber withWavelength-AdjustableBy Using Monolayer MoS_2 in Defective Photonic Crystals

Narges Ansari, Kimia Mirbaghestan
Department of Physics, Alzahra University, Tehran, Iran

Abstract- Today, two-dimentional **materials** such as MoS_2 have exhibited distinctive capabilities in optoelectronic applications. In this paper,to achieve high absorption and wavelength-adjustable, defective photonic crystals is used which is formed of $\{(AB)^p\ MDM\ (AB)^q\}$that p and q show the number of alternation for top and bottom defect layer which is selected as $MoS_2/D/MoS_2$. The **t**ransfer matrix method is used to determine absorption. Also, optimal structure is found by changing the number of p, q and thickness of D. Near perfect absorption, which is more than 97 percent, with wavelength-adjustable capability could be obtained by proposed structure. By enhancing the thickness of D, red shift is resulted in wavelength of defect mode.

Keywords:Absorption, Defective photonic crystal, Mobilidiumdisulfate, Transfer matrix method, Wavelength-adjustable capability

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]

مقدمه

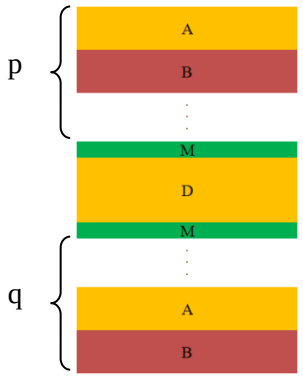
تک لایه‌های کلکوژنایدهای فلزات واسطه (TMDC[1]) در میان بلورهای دوبعدی، به دلیل گاف نواری مستقیم و جذب بالا در ناحیه نور مرئی، کاربرد بسیاری در سلول‌های خورشیدی و اپتوالکترونیک دارند [۱]. یکی از مهم‌ترین TMDCها، تک لایه‌ی مولبیدیم دی سولفات، MoS_2 است که جذب قابل‌توجهی در ناحیه‌ی طول‌موج مرئی دارد [۲].

چندین روش برای افزایش جذب در تک طول‌موج یا پهنای طول‌موجی در تک لایه‌های MoS_2 پیشنهادشده است. از روش‌های افزایش جذب در تک طول‌موج،می‌توان به استفاده از جفت‌شدگی پلاسمونیک [۳]، لایه میانی[2] یا رویی[3] [۴] یا بلور فوتونی شامل نقص (DPC[4]) [۵] اشاره کرد. استفاده از تک لایه‌ی MoS_2 روی بلور فوتونی یا در ساختار بلور فوتونی به‌صورت نقص با افزایش شدت موج و جایگزیدگی موج در تک لایه‌ی MoS_2، میزان جذب را افزایش می‌دهد [۶]. وجود نقص در بلورهای فوتونی اغلب باعث ایجاد مد نقص در گاف نواری بلور فوتونی می‌شود که با تغییر ضخامت لایه‌ی نقص، طول‌موج مد نقص تغییر می‌کند.

در این مقاله برای افزایش جذب، از ساختار DPC استفاده‌شده است. با بررسی تأثیر دوره‌ی تناوب بر جذب، ساختاری با جذب بالای ۹۷٪ طراحی گردیده است. این ساختار، قابلیت تنظیم‌پذیری طول‌موج مد نقص با تغییر ضخامت لایه‌ی نقص را دارد که قابلیت استفاده در ابزارهای اپتوالکترونیکی و فوتونیکی را دارد.

تئوری

ساختار DPC به‌صورت $\{(AB)^p\ MDM\ (AB)^q\}$ در نظر گرفته‌شده است که در آن p و q به ترتیب دوره تناوب بلورهای فوتونی بالایی و پایینی نقص را مشخص می‌کنند و نقص به‌صورت MDM انتخاب‌شده‌است که تصویر شماتیک ساختار، در شکل ۱ نمایش داده‌شده است. A، B، M وD، به ترتیب SiO_2، Si_3N_4، MoS_2 و SiO_2 است. در این ساختار A و D از یک جنس اما باضخامت‌های متفاوت‌اند. نور از هوا با زاویه‌ی فرودی عمود به ساختار تابیده می‌شود.



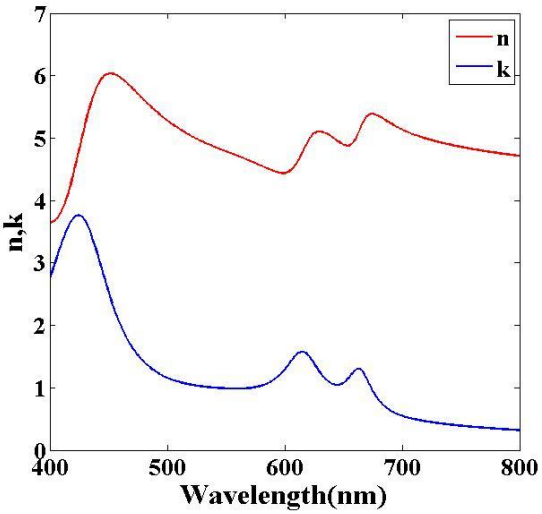
شکل ۱: تصویر شماتیک بلور فوتونی با نقص ساختار $\{(AB)^pMDM\ (AB)^q\}$

جذب ساختار، با استفاده از روش ماتریس انتقال بدست می‌آید. در این روش ضریب شکست و ضخامت تمامی لایه‌ها موردنیاز است. ضخامت تک لایه‌ی MoS_2 برابر ۰/۶۱۵ نانومتر است [۷] و ضخامت لایه‌ی D با d_D نمایش داده می‌شود. ضخامت لایه‌های A و B با $\lambda_{des}/4n_{des}$ محاسبه می‌شود که $\lambda_{des}=617nm$ و n_{des} ضریب شکست آن لایه‌ها در λ_{des} است. ضریب شکست Si_3N_4 و SiO_2 به ترتیب با مقدارهای تقریبی ۲ و ۱/۵ از مرجع [۸] گرفته‌شده است.

[1]Transition Metal Dichalcogenides (TMDC)
[2]Spacer
[3]Cover
[4]Defective Photonic Crystal (DPC)

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]

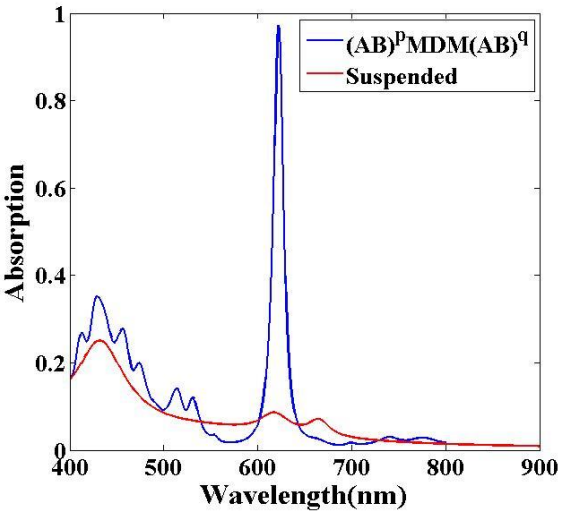


شکل ۲: وابستگی ضریب خاموشی (آبی) و ضریب شکست (قرمز) تک لایه‌ی MoS_2 به طول‌موج

ضریب شکست تک لایه‌ی MoS_2، با رابطه‌ی $N(\lambda) = n + ik$، از روش لورنتس به دست می‌آید که n و k به ترتیب ضریب شکست و ضریب خاموشی ماده نامیده می‌شود. در شکل ۲ وابستگی n و k تک لایه‌ی MoS_2 به طول‌موج نشان داده شده است که n و k این ماده در سه طول‌موج دارای قله است.

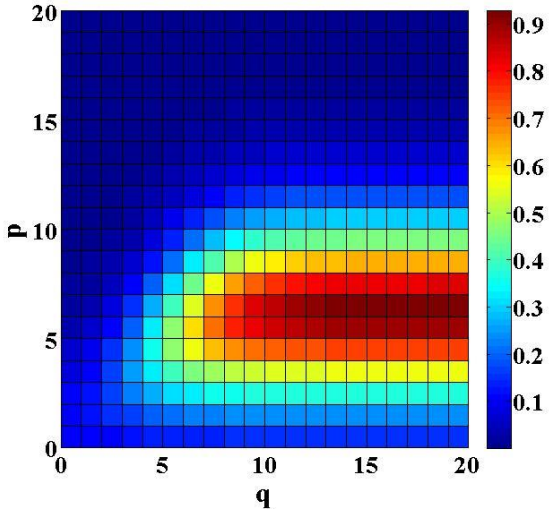
نتایج و بحث

برای بررسی اثر بلور فوتونی بر جذب، طیف جذب تک لایه‌ی معلق[5] MoS_2 و ساختار $\{(AB)^p\ MDM\ (AB)^q\}$در p=6 و q=12 در ضخامت $d_D=\lambda_{des}/4n_{des}$ در شکل ۳ رسم شده است. تک لایه‌ی معلق دارای سه قله در طول‌موج‌های ۴۳۲، ۶۱۷ و ۶۶۴ نانومتر به ترتیب با جذب ۲۵ و ۹ و ۷ درصد است. با قرار دادن تک لایه‌ی MoS_2 در ساختار بلور فوتونی به صورت نقص تقریبا در نزدیکی طول‌موج طراحی، ۶۲۲ nm، جذب از ۹ درصد به ۹۷ درصد می‌رسد که دلیل آن جایگزیدگی موج در لایه‌ی MoS_2 و ایجاد مد نقص است.



شکل ۳: طیف جذب تک لایه‌ی MoS_2 (رنگ قرمز) و ساختار $\{(AB)^p\ MDM\ (AB)^q\}$ (رنگ آبی)

به منظور یافتن ساختاری با بیشینه‌ی جذب در طول‌موج مد نقص، تاثیر تغییر p و q بر روی قله‌ی جذب در شکل ۴ رسم شده است.



شکل ۴: اندازه‌ی جذب مد نقص با تغییر دوره‌ی تناوب p و q

با توجه به شکل ۴ دیده می‌شود با افزایش p تا ۶، جذب افزایش‌یافته و با افزایش بیشتر p میزان جذب کاهش می‌یابد. با افزایش q تا ۱۳ جذب افزایش‌یافته و پس از آن با افزایش q افزایش قابل‌توجهی در میزان جذب مشاهده نمی‌شود. با توجه به مزیت تعداد لایه‌های کمتر در کارهای

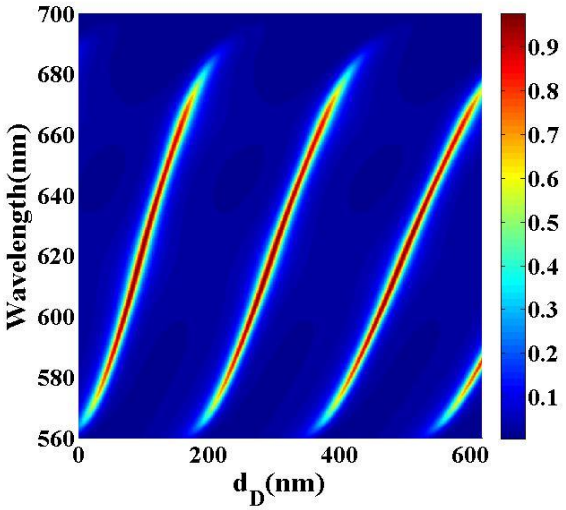
[5] Suspended

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]

تجربی، بهینه‌ی ساختار در p=6 و q=12 در نظر گرفته می‌شود که طیف جذب برای این حالت در شکل ۳ رسم شده است.

برای بررسی اثر ضخامت لایه‌ی D بر طول‌موج مد نقص، در شکل ۵ میزان جذب برحسب ضخامت لایه‌ی D و طول‌موج رسم شده است.



شکل ۵ : تاثیر ضخامت لایه‌ی D بر طول‌موج مد نقص

با توجه به شکل ۵ می‌توان نتیجه‌گیری کرد با افزایش ضخامت لایه‌ی D، طول‌موج مد نقص افزایش‌یافته و انتقال به سرخ دارد. در بعضی از مقادیر d_D، همزمان دو مد نقص وجود دارد اما جذب در این حالت بیشینه نمی‌باشد. برای ضخامت $d_D=\lambda_{des}/4n_{des}$ بیشینه میزان جذب ۹۷ درصد وجود دارد که بر اساس این ضخامت نقص بهینه، شکل‌های ۳ و ۴ رسم شده است. دستیابی به جذب بالای ۹۵ درصد باقابلیت تنظیم‌پذیری باضخامت لایه‌ی D موردعلاقه در جاذب‌های کامل است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله با تغییر تعداد لایه‌های بالایی و پایینی در ساختار DPC، به ساختار بهینه‌ای با جذب ۹۷ درصد رسیده‌ایم. با تغییر ضخامت لایه‌ی نقص D، طول‌موج مد نقص افزایش‌یافته و به سمت طول‌موج قرمز می‌رود که منجر به خاصیت تنظیم‌پذیری طول‌موج مد نقص بر اساس ضخامت لایه‌ی D می‌شود. با توجه به نتایج می‌توان جاذب‌های تقریبا کامل تنظیم‌پذیر با استفاده از بلورهای فوتونی نقص‌دار طراحی نمود که در اپتوالکترونیک بسیار موردتوجه است.

مرجع‌ها

[1] J. F. Yu, Y. F. Shen, X. H. Liu, R. T. Fu, J. Zi, Z. Q. Zhu, “Absorption in one-dimensional metallic-dielectric photonic crystals” J. Phys.Condens. Matter,Vol. **16**, pp. 51–56, 2004.

[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, 2013.

[3] Y. Long, H. Deng, H. Xu, L. Shen, W. Guo, C. Liu, W. Huang, W. Peng, L. Li, H. Lin, C. Guo, “Magnetic coupling metasurface for achieving broad-band and broad-angular absorption in the MoS_2 monolayer.”, Opt. Mat. Express, Vol. 7, pp. 100-110, 2017.

[4] H Lu, X Gan, D Mao, Y Fan, D Yang, J Zhao, “Nearly perfect absorption of light in monolayer molybdenum disulfide supported by multilayer structures.” Opt. Express, Vol. 25, pp. 21634, 2017.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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, “Measurementof 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.

[8] Palik E, Ghosh G. “Handbook ofoptical constants of solids”, Acad.Press, San Diego; Vol. 3, 1998.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-13]