



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 الزهراء، تهران، ایران

چکیده - امروزه بلورهای دوبعدی موبیلیدیم 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 نقص‌دار با ساختار $\{(AB)^p \text{MDM} (AB)^q\}$ استفاده شده است که نقص در آن به صورت $\text{MoS}_2/\text{D}/\text{MoS}_2$ در نظر گرفته شده است و p و q به ترتیب تناوب بلور فوتونی بالا و پایین نقص را نشان می‌دهد. از روش ماتریس انتقال برای محاسبه‌ی جذب استفاده شده 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 تقریباً 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 نقص‌دار، جذب، روش ماتریس انتقال، تنظیم‌پذیری طول‌موج، موبیلیدیم دی سولفات

Designing Perfect Absorber with Wavelength-Adjustable By Using Monolayer MoS_2 in Defective Photonic Crystals

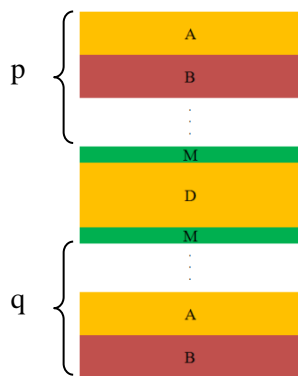
Narges Ansari, Kimia Mirbaghestan
Department of Physics, Alzahra University, Tehran, Iran

Abstract- Today, two-dimensional **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 $\{(AB)^p \text{MDM} (AB)^q\}$ that p and q show the number of alternation for top and bottom defect layer which is selected as $\text{MoS}_2/\text{D}/\text{MoS}_2$. The transfer 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, Molibdium disulfate, Transfer matrix method, Wavelength-adjustable capability

تئوری

ساختار DPC به صورت $\{(AB)^p MDM (AB)^q\}$ در نظر گرفته شده است که در آن p و q به ترتیب دوره تناوب بلورهای فوتونی بالایی و پایینی نقص را مشخص می کنند و نقص به صورت MDM انتخاب شده است که تصویر شماتیک ساختار، در شکل ۱ نمایش داده شده است. B, A, M و D ، به ترتیب SiO_2, Si_3N_4, MoS_2 و SiO_2 است. در این ساختار A و D از یک جنس اما با ضخامت های متفاوت اند. نور از هوا با زاویه ی فرودی عمود به ساختار تابیده می شود.



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

جذب ساختار، با استفاده از روش ماتریس انتقال بدست می آید. در این روش ضریب شکست و ضخامت تمامی لایه ها مورد نیاز است. ضخامت تک لایه ی MoS_2 برابر $0.15/6$ نانومتر است [۷] و ضخامت لایه ی D با d_D نمایش داده می شود. ضخامت لایه های A و B با $\lambda_{des}/4n_{des}$ محاسبه می شود که $\lambda_{des}=617nm$ و n_{des} ضریب شکست آن لایه ها در λ_{des} است. ضریب شکست SiO_2 و Si_3N_4 به ترتیب با مقدارهای تقریبی ۲ و ۱/۵ از مرجع [۸] گرفته شده است.

مقدمه

تک لایه های کلکوژناید های فلزات واسطه ($TMDC^1$) در میان بلورهای دوبعدی، به دلیل گاف نواری مستقیم و جذب بالا در ناحیه نور مرئی، کاربرد بسیاری در سلول های خورشیدی و اپتوالکترونیک دارند [۱]. یکی از مهم ترین $TMDC$ ها، تک لایه ی مولیبدیم دی سولفات، MoS_2 است که جذب قابل توجهی در ناحیه ی طول موج مرئی دارد [۲]. چندین روش برای افزایش جذب در تک طول موج یا پهنای طول موجی در تک لایه های MoS_2 پیشنهاد شده است. از روش های افزایش جذب در تک طول موج، می توان به استفاده از جفت شدگی پلاسمونیک [۳]، لایه میانی^۲ یا رویی^۳ [۴] یا بلور فوتونی شامل نقص (DPC^4) [۵] اشاره کرد. استفاده از تک لایه ی MoS_2 روی بلور فوتونی یا در ساختار بلور فوتونی به صورت نقص با افزایش شدت موج و جایگزیدگی موج در تک لایه ی MoS_2 ، میزان جذب را افزایش می دهد [۶]. وجود نقص در بلورهای فوتونی اغلب باعث ایجاد مد نقص در گاف نواری بلور فوتونی می شود که با تغییر ضخامت لایه ی نقص، طول موج مد نقص تغییر می کند.

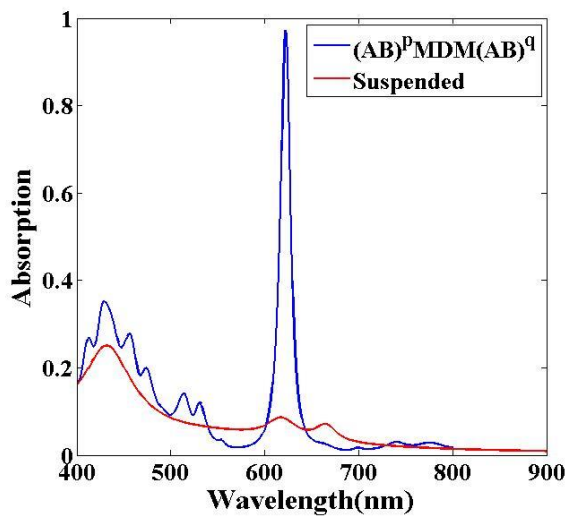
در این مقاله برای افزایش جذب، از ساختار DPC استفاده شده است. با بررسی تأثیر دوره ی تناوب بر جذب، ساختاری با جذب بالای ۹۷٪ طراحی گردیده است. این ساختار، قابلیت تنظیم پذیری طول موج مد نقص با تغییر ضخامت لایه ی نقص را دارد که قابلیت استفاده در ابزارهای اپتوالکترونیکی و فوتونیکی را دارد.

¹Transition Metal Dichalcogenides (TMDC)

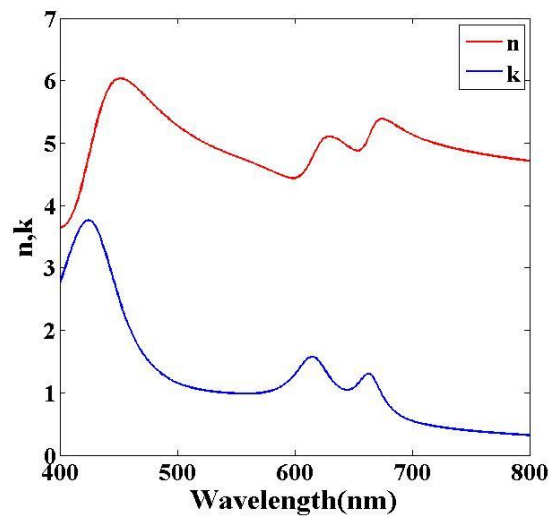
²Spacer

³Cover

⁴Defective Photonic Crystal (DPC)

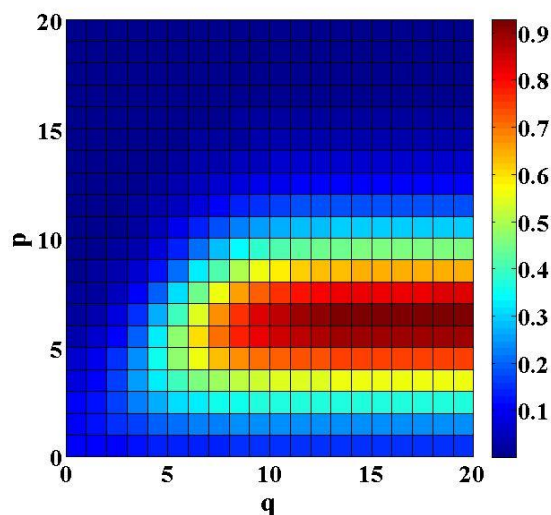


شکل ۳: طیف جذب تک لایه‌ی MoS₂ (رنگ قرمز) و ساختار $\{(AB)^p MDM (AB)^q\}$ (رنگ آبی)



شکل ۴: وابستگی ضریب خاموشی (آبی) و ضریب شکست (قرمز) تک لایه‌ی MoS₂ به طول موج

به منظور یافتن ساختاری با بیشینه‌ی جذب در طول موج 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 افزایش یافته و با افزایش بیشتر p میزان جذب کاهش می‌یابد. با افزایش q تا ۱۳ جذب افزایش یافته و پس از آن با افزایش q افزایش قابل توجهی در میزان جذب مشاهده نمی‌شود. با توجه به مزیت تعداد لایه‌های کمتر در کارهای

ضریب شکست تک لایه‌ی MoS₂ 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 MoS₂ به طول موج نشان داده شده است که n و k این ماده در سه طول موج دارای قله است.

نتایج و بحث

برای بررسی اثر بلور فوتونی بر جذب، طیف جذب تک لایه‌ی معلق^۵ MoS₂ و ساختار $\{(AB)^p MDM (AB)^q\}$ در $d_D = \lambda_{des}/4n_{des}$ در شکل ۳ رسم شده است. تک لایه‌ی معلق دارای سه قله در طول موج‌های ۴۳۲، ۶۱۷ و ۶۶۴ نانومتر به ترتیب با جذب ۲۵ و ۹ و ۷ درصد است. با قرار دادن تک لایه‌ی MoS₂ در ساختار بلور فوتونی به صورت نقص تقریباً در نزدیکی طول موج طراحی، ۶۲۲ nm، جذب از ۹ درصد به ۹۷ درصد می‌رسد که دلیل آن جایگزینی موج در لایه‌ی MoS₂ و ایجاد مد نقص است.

⁵ Suspended

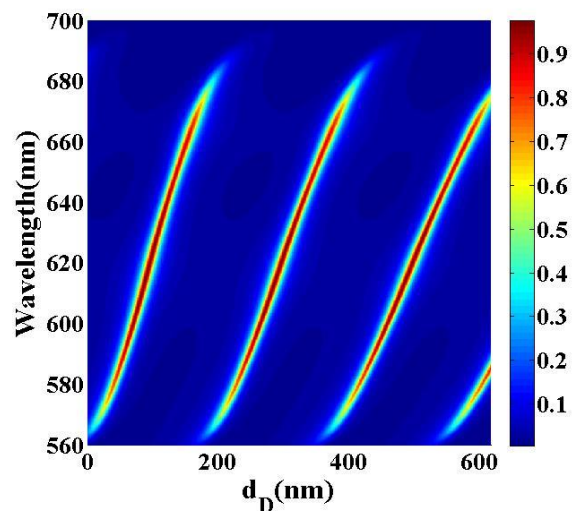
رسیده‌ایم. با تغییر ضخامت لایه‌ی نقص D ، طول موج مد نقص افزایش یافته و به سمت طول موج قرمز می‌رود که منجر به خاصیت تنظیم‌پذیری طول موج مد نقص بر اساس ضخامت لایه‌ی D می‌شود. با توجه به نتایج می‌توان جاذب‌های تقریباً کامل تنظیم‌پذیر با استفاده از بلورهای فوتونی نقص‌دار طراحی نمود که در اپتوالکترونیک بسیار مورد توجه 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-Dimensional 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, "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.
- [8] Palik E, Ghosh G. "Handbook of optical constants of solids", Acad. Press, San Diego; Vol. 3, 1998.

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 طول موج مد نقص، در شکل ۵ میزان جذب برحسب ضخامت لایه‌ی D و طول موج رسم شده است.



شکل ۵: تاثیر ضخامت لایه‌ی D بر طول موج مد نقص

با توجه به شکل ۵ می‌توان نتیجه‌گیری کرد با افزایش ضخامت لایه‌ی D ، طول موج مد نقص افزایش یافته 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 با قابلیت تنظیم‌پذیری با ضخامت لایه‌ی D مورد علاقه 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