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

طراحی و شبیه سازی یک فیلتر نوری بر پایه بلورهای فوتونی دو- و سه-ماده ای با ساختار تخت و مثلثی

رامین، شیری؛ حسین شاهرخ آبادی؛ تایماز فتح الهی خلخالی و علیرضا بنانج

پژوهشکده فوتونیک و فناوریهای کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، تهران، ایران
rshiri@aeoi.org.ir

چکیده - در این مقاله، یک فیلتر نوری مبتنی بر بلور فوتونی یک-بعدی با سلول اولیه دارای لایه های تخت و مثلثی-شکل برای دو نوع پیکربندی دو- و سه-ماده ای با یک لایه نقص در مرکز بلور شبیه سازی شده و طیف عبور آن مورد بررسی قرار گرفته است. طول موج ۸۰۰ نانومتر بعنوان خروجی لیزر تیتانیوم سافایر بعنوان طول موج هدف تحت تابش عمودی جهت بررسی انتخاب شده است. نتایج شبیه سازی نشان داد که با بکارگیری پیکربندی سه-ماده ای و سلول اولیه با لایه های مثلثی، اگرچه پهنای گاف نواری ساختار کاهش می یابد ولی شدت عبوری طول موج مد نقص بطور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. همچنین، طول موج مرکزی موج عبوری از فیلتر اندکی به سمت طول موجهای بلندتر جابجا می شود.

کلید واژه- بلور فوتونی، فیلتر نوری، مد نقص، طیف عبور، گاف نواری

Design and Simulating An Optical Filter Based On Binary and Ternary One-Dimensional Photonic Crystals

Ramin Shiri, Hossein Shahrokhabadi, Taimaz Fathollahi Khalkhali and Alireza Bananej

Photonics and Quantum Technologies Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI), Tehran, Iran

Abstract- In this paper, an optical filter based on one-dimensional binary and ternary photonic crystals with a central defect layer and planar/triangular unit cells have been designed and simulated. The wavelength ۸۰۰ nm as central output of Ti:Sapphire laser has been selected as the target wavelength to investigate its transmission through the medium at normal incidence. Simulation results revealed that using ternary structure with triangular unit cells increases the filter transmission considerably for the defect mode while reducing the band-gap width to some extent. Also, the transmission spectrum of the proposed filter shows a small shift toward the longer wavelengths.

Keywords: Photonic Crystal, Optical Filter, Defect Mode, Transmission Spectrum, Band Gap

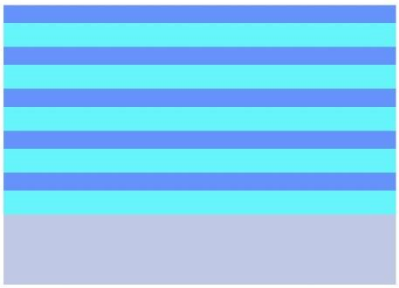
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

مقدمه

در دو دهه أخیر، بلورهای فوتونی هم از لحاظ نظری و هم از لحاظ تجربی توجه بسیار زیادی را به خود جلب نموده-اند و کاربردهای متعدد جدیدی از قبیل فیلترهای نوری [۱-۲]، تقسیم کننده باریکه [۴-۳]، تزویجگر نوری [۷-۵]، آینه‌ها و سوئیچ‌های نوری [۹-۸] برای آن پیشنهاد شده است. از بین این کاربردها، فیلتر نوری جهت کاربرد در مدارهای نوری و ارتباطات نوری بسیار پراهمیت می‌باشد. در مخابرات نوری، وقتی ارسال همزمان اطلاعات در طول موجهای مختلف مد نظر باشد نقش فیلتر نوری که از اساسی ترین بخش های یک سیستم مخابراتی است بیش از پیش نمایان می‌شود. فیلتر ها از قسمت های اساسی گیرنده‌ها و فرستنده‌های مخابراتی اند که برای حذف مولفه های فرکانسی ناخواسته، پردازش سیگنال و ... به کار می روند .در مخابرات نوری از فیلترهای نوری برای حذف نویز و جداسازی کانال‌های اطلاعاتی با فواصل طول‌موجی کم استفاده می‌شود. فیلترهای با ضریب کیفیت زیاد برای جلوگیری از پدیده پراش در حین انتقال اطلاعات درون فیبرهای نوری به کار می‌روند [۱۰]. بلورهای فوتونی به عنوان یکی از ساختارهای پایه برای طراحی فیلترهای نوری بکار می‌روند. این بلورها دارای تناوب دوره‌ای مناسبی از ثابت دی‌الکتریک هستند که این عامل باعث ایجاد گاف باند نوری قابل کنترل می‌گردد [۱۱]. با استفاده از خاصیت گاف باند بلورهای فوتونی می‌توان فوتونهای نوری را در یک محیط دی‌الکتریک کنترل نمود. راهکارهای متفاوتی برای طراحی فیلترهای نوری وجود دارد که به عنوان نمونه به نواقص، کاواکهای تشدیدی وحلقه های تشدیدی می‌توان اشاره کرد [۱۳-۱۲]. در این مقاله، با ایجاد نقص در ساختارهای باینری و ترنری و با بهره گیری از الگوی سلول واحد مثلثی، یک فیلتر نوری با بازده گذر ۸۰٪ و پهنای باند بسیار باریک طراحی و شبیه سازی شده است. برای انجام محاسبات و رسم نمودارها، از نرم افزار شبیه ساز لومریکال استفاده شده است.

ساختار و روش کار

شکل ۱، تصویر شماتیکی بلور فوتونی دو-ماده‌ای بدون نقص با آرایش $[(AB)^N]$ را نشان می‌دهد که A و B بترتیب مواد با ضریب شکست پایین و بالا می‌باشند.

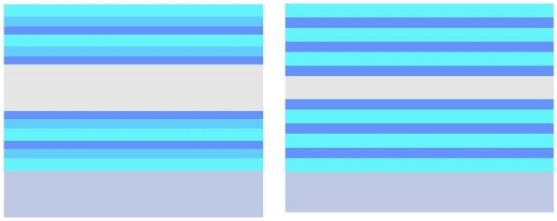


شکل ۱: طرح شماتیکی بلور فوتونی یک-بعدی دو-ماده‌ای با لایه‌های تخت

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است سلول اولیه از دو لایه دی الکتریک تخت تشکیل شده است که SiO_2 بعنوان ماده با ضریب شکست پایین (n_L=۱،۴۵) و ترکیب SiO_2/TiO_2 با درصدهای وزنی مختلف بعنوان لایه با ضریب شکست بالا (n_H=۲،۲۱) انتخاب شده است. ضخامت لایه های دارای ضریب شکست پایین و بالا بترتیب برابر با (d_L=۱۲۰ nm) و (d_H=۹۰ nm) و جنس زیرلایه سیلیکا انتخاب شده است. موج تخت فرودی دارای قطبش TE بوده و تحت زاویه عمودی بر ساختار می تابد. طول‌موج مدنظر جهت بررسی، بیشینه خروجی لیزر تیتانیوم سافایر در محدوده (۷۹۰-۸۰۰ *nm*) می‌باشد. برای ایجاد مد نقص در طول موج مورد نظر و بررسی رفتار آن در حین عبور از محیط، یک لایه نقص با ضریب شکست (n_D=۲،۲۶) با ضخامت (d_D=۲۰۰ *nm*) در مرکز ساختار قرار می‌گیرد. جهت مقایسه شدت عبوری فیلتر طراحی شده در بازه طول موجی مورد نظر، ساختار سه-ماده ای با آرایش $[(ABC)^{N/2}D(ABC)^{N/2}]$ که در آن سلول اولیه متشکل از سه ماده دی الکتریک با ضرایب شکست متفاوت می‌باشند

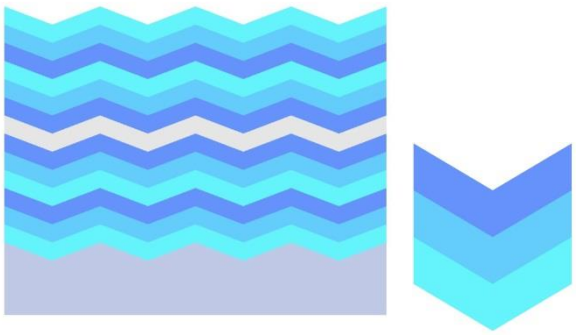
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

نیز مورد بررسی قرار گرفته است. بعنوان لایه سوم، از ماده ای با ضریب شکست (n_D=۲،۱۳) بضخامت (d_D=۷۳ nm) استفاده شده است. در شکل ۲، ساختارهای تخت با یک لایه نقص در مرکز برای پیکربندی‌های دو و سه-ماده‌ای نشان داده شده است.



شکل ۲: بلور فوتونی یک-بعدی دو-ماده‌ای (راست) و سه-ماده‌ای (چپ) نقص دار با لایه‌های تخت

در ادامه برای بررسی امکان افزایش میزان عبوردهی فیلتر در طول موج مدنظر، از ساختار سه-ماده‌ای با همان مواد ولی با سلول اولیه مثلثی شکل استفاده شده است که این نوع ساختارهای موجی با روش فوتولیتوگرافی ایجاد می-گردند. سلول اولیه و نمای کلی ساختار سه-ماده ای مثلثی در شکل ۳ نشان داده شده است.

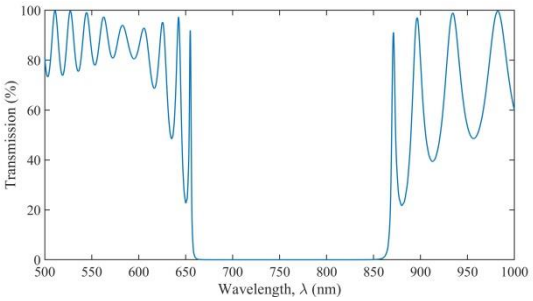


شکل ۳: نمای سلول اولیه (راست) و ساختار بلور فوتونی سه-ماده‌ای با سلولهای مثلثی (چپ)

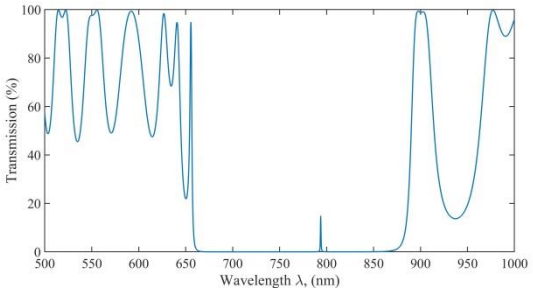
برای محاسبه نحوه انتشار موج الکترومغناطیسی و خواص نوری بلور فوتونی از روشهای تقریب عددی از قبیل روش المان محدود[۱] [۱۲]، بسط موج تخت[۲] [۱۳] و روش تفاضل محدود در حوزه زمان[۳] [۱۴] استفاده می گردد که در این مقاله از روش FDTD استفاده شده است. جهت حذف بازتابهای جزئی در مرز لایه ها، از تکنیک لایه های کاملاً جور شده[۴] در مرزهای ناحیه شبیه سازی استفاده می شود.

نتایج و بحث

طیف عبور ساختار بدون نقص دو-ماده‌ای در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود ساختار دارای ناحیه گاف باند در محدوده طول موجی ۶۶۰-۸۷۰ نانومتر با مرکزیت ۷۷۰ نانومتر می‌باشد که ناحیه طول‌موجی مورد نظر ما (۷۹۰-۸۰۰ نانومتر) در میانه‌های گاف نواری متمایل به لبه بالایی قرار گرفته است. با اعمال لایه نقص، مد نقص در طول موج ۷۹۰ نانومتر ایجاد شده است که مطابق شکل ۵، دارای میزان عبوردهی خیلی پایین برابر با ۲۰٪ می‌باشد.



شکل ۴: طیف عبور بلور فوتونی یک-بعدی تخت دو-ماده‌ای بدون لایه نقص

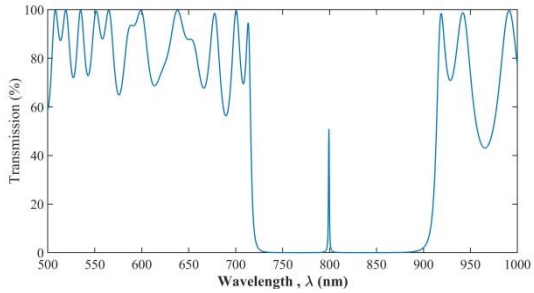


شکل ۵: طیف عبور فیلتر نوری بر پایه بلور فوتونی یک-بعدی با ساختار دو-ماده ای دارای یک لایه نقص در مرکز

[۱] Finite Element (FE)
[۲] Plan-Wave Expansion (PWE)
[۳] Finite-Difference Time-Domain (FDTD)
[۴] Perfectly Matched Layers

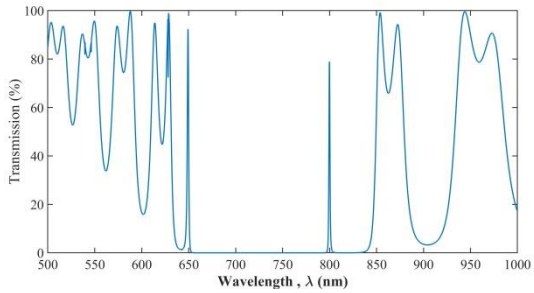
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-05]

با استفاده از پیکربندی سه-ماده‌ای نشان داده شده در شکل ۳، هم محدوده طول موجی گاف نواری کمی بسمت طول موجهای بلندتر جابجا شده و هم شدت عبوری مد نقص بطور قابل ملاحظه ای افزایش یافته است و به مقدار نزدیک به ۶۰٪ رسیده است. طیف عبور ساختار سه-ماده ای با لایه‌های تخت در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶: طیف عبور فیلتر نوری بر پایه بلور فوتونی یک-بعدی با ساختار سه-ماده ای دارای یک لایه نقص مرکزی

در مقایسه با ساختارهای تناوبی تخت، ساختارهای موجی با سلولهای اولیه با الگوهای مختلف از قبیل مثلثی، سینوسی، مربعی و ... این قابلیت را دارند که پارامترهای بیشتری را در اختیار کاربر قرار می‌دهند تا بتواند با مهندسی آن پارامترها خواص نوری مورد نظر را از ساختار طراحی شده بدست آورد. شکل ۷ طیف ساختار مذکور را نشان می‌دهد.



شکل ۷: طیف عبور فیلتر نوری بر پایه بلور فوتونی یک-بعدی با ساختار سه-ماده ای و سلول اولیه مثلثی دارای یک لایه نقص مرکزی

همانطور که از شکل ۷ پیداست میزان عبور فیلتر برای مد نقص افزایش یافته و از مقدار ۶۰٪ به ۸۰٪ رسیده است.

نتیجه‌گیری

میزان عبوردهی فیلتر طراحی شده در طول موج مورد نظر، با تغییر تعداد و شکل لایه های سلول اولیه بلور فوتونی بررسی و شبیه سازی قرار گرفت. با افزایش تعداد لایه های سلول اولیه از دو به سه، شدت عبوری فیلتر برای طول موج مورد نظر افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد. با تغییر شکل لایه های سلول اولیه از تخت به مثلثی، شدت عبوری مد نقص در طول موج مورد نظر از ۶۰٪ به ۸۰٪ افزایش نشان داد.

مرجع‌ها

[۱] R. Costa, A. Melloni, M. Martinelli, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. ۱۵, p. ٤۰۱, ۲۰۰۳.

[۲] M.J. Cryan, R. Varrazza, M. Cowin, M. Hill, I.J. Craddock, S. Yu, C.J. Railton, J. Rorison, in: ۲۰۰۲ IEEE/LEOS, *Annual Meeting Conference Proceedings*, Vols. ۱ and ۲, p. ٦٦۹, ۲۰۰۲.

[۳] K.B. Chung, J.S. Yoon, *Opt. Quantum Electron.*, Vol. ۳۵, □. ۹۵۹, ۲۰۰۳.

[٤] D.R. Solli, C.F. McCormick, R.Y. Chiao, J.M. Hickmann, *J. Appl. Phys., Vol.* ۹۳, p. ۹٤۲۹, ۲۰۰۳.

[۵] M. Thorhauge, L.H. Frandsen, P.I. Borel, *Opt. Lett.* Vol. ۲۸, □. ۱۵۲۵, ۲۰۰۳.

[٦] A. Martinez, F. Cuesta, J. Marti, *IEEE Photon. Technol.*, Vol. ۱۵, p. ٦۹٤, ۲۰۰۳.

[۷] F. Cuesta, A. Griol, A. Martinez, *J. Marti, Electron. Lett.*, Vol. ۳۹, p. ٤۵۵, ۲۰۰۳.

[۸] A. Forchel, *NAT Mater*., Vol. ۲, p. ۱۳, ۲۰۰۳.

[۹] S. Boscolo, M. Midrio, *Opt. Lett*., Vol. ۲۷, p. ۱۰۰۱, ۲۰۰۲.

[۱۰] G. P. Agrawal, "Fiber-Optic Communications Systems", *John Wiley & Sons*, pp. ۱۳۵-۱۳۷, ۲۰۰۱.

[۱۱] E. Yablonovich, "Phoptonic band-gap structures," J. Opt. Soc. America, Vol. ۱۰, No. ۲, pp. ۲۸۳-۲۹۵, ۱۹۹۳.

[۱۲] Z.Rashki, M.Mansouri and M.Rakhshani, "New Design of Optical Add-Drop Filter Based on Triangular Lattice Photonic Crystal Ring Resonator" J. Appl. Bas. Sci., Vol.٤, No. ٤, pp. ۹۸۵-۹۸۹, ۲۰۱۳.

[۱۳] W. Zhou and Z. Qiang, "Optical Add-Drop Filter Design Based on Photonic Crystal Ring Resonators," Lasers and Electro-Optics Conference, pp.٦۳-٦۸, ۲۰۰۷.

[۱٤] K. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media" IEEE Trans. Antennas Propag. Vol.۱٤, pp. ۳۰۲–۳۰۷, ۱۹٦٦.

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