بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

بررسی اثرات کاواک بر مدهای موجبری در یک بلور فوتونی دو بعدی با موجبر خمیده در ناحیه تراهرتز جهت ساخت ادوات اپتیکی

آذردخت مظاهری، شهرام اسلامیان

مجتمع دانشگاه علوم کاربردی مالک اشتر، پژوهشکده اپتیک و لیزر، اصفهان، شاهین شهر

چکیده - هدف این مقاله بررسی دامنه میدان الکتریکی تراهرتز در یک موجبر خمیده فوتونی دو بعدی است. این موجبر مبتنی بر ساختار بلور فوتونی تخت دوبعدی شامل میله‌های دی الکتریک در هوا با شبکه مثلثی می‌باشد که درآن سه موجبر به دو کاواک نقص نقطه‌ای کوپل شده‌اند. تاثیر تغییر شعاع هر کدام از نقص‌ها را بر میزان دامنه میدان الکتریکی عبوری در هر موجبر بررسی نمودیم و نتایج نشان داد که تغییر اندازه شعاع کاواک بر بسامد مد هدایت شده در موجبرها موثر است و می‌توان با تنظیم شعاع نقص ادوات مختلفی مانند فیلتر، سوئیچ و تضعیف کننده را از این موجبر بلور فوتونی ساخت.

کلید واژه- تضعیف کننده نوری، سوئیچ نوری، فیلتر بلور فوتونی ، موجبر بلور فوتونی.

Investigation effect of cavity on waveguide's mode 2D photonic crystal with bend waveguide in frequency Terahertz rang for optical device

Azardokht Mazaheri, shahram Eslamian

Optic and laser Research Center, University Institute of Applied Science, Shahinshahr, Iran

Abstract- The purpose of this paper is to investigate the terahertz electric field in two-dimensional photonic crystal with bend waveguides. This waveguide is made based on photonic crystal slab structure consist of dielectric rods in air with a triangular lattice that this structure has three waveguide coupled by two point defect. We investigate the effect of changing the radius of each defect on the amplitude of the electric field from any waveguide and consequence show that change size of cavity effects on guide frequency mode in waveguides. We can fabrication different optical devices such as filter, switch and attenuator with adjust radius of defect. Simulation is obtained by using of finite element method (FEM).

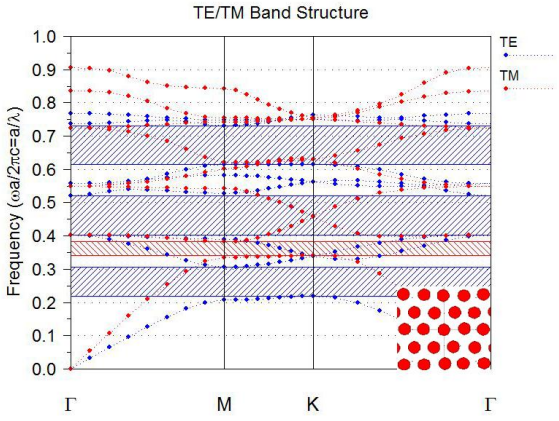
Keywords: optical Attenuator, optical switch, photonic crystal filter, photonic crystal waveguide

[Downloaded from opsi.ir on 2025-10-31]

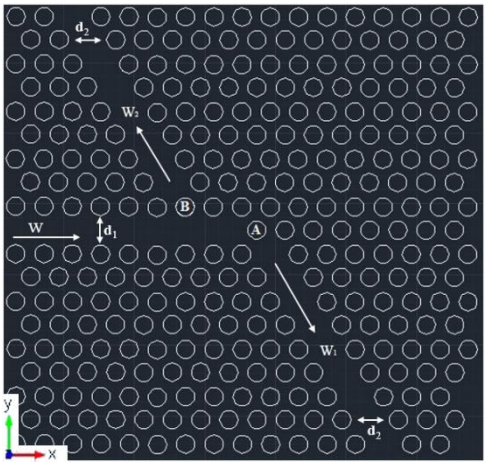
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱- مقدمه

چیدمان تناوبی مواد با ضریب دی الکتریک متفاوت در یک، دو یا سه بعد ساختاری را به وجود می‌آورد که قادر به کنترل انتشار و گسیل نور در جهت‌های خاصی است و اصطلاحا بلور فوتونی نامیده می‌شود. همانگونه که مواد نیم‌رسانا دارای یک پتانسیل الکتریکی متناوب هستند که نتیجه آن ایجاد نوار ممنوعه در انرژی برای انتشار الکترون است، ساختار بلور فوتونی نیز دارای نوارهای بسامدی و ناحیه نوار ممنوعه بسامدی می‌باشد. امروزه بلورهای فوتونی به دلیل توانمندی گسترده و حتی متفاوت در مقایسه با مواد معمولی اپتیکی که در کنترل گسیل و انتشار نور دارند در سیستم‌های نوری نوین نقش مهمی را ایفا می‌کنند[۱-۵]. با ایجاد نقص در ساختار بلور فوتونی ادوات متفاوتی مانند کاواک، موجبر، فیلتر یا تضعیف کننده ساخت. برای مثال فیلتر یک از اجزای مهم در سیستم‌های نوری در کاربردهای حسگری یا ادوات مخابرات نوری است[۲, ۳]. باید توجه نمود که در این ادوات، داشتن شدت بالا نور در خروجی همیشه مناسب و دلخواه نیست و به تضعیف کننده نوری برای کاهش شدت نور نیاز است. همچنین استفاده از سوئیچ‌های یکی از راه‌های سرعت بخشیدن به ارتباطات و ارزان کردن قطعات مخابراتی و تراشه‌های نوری کامپیوتری است[۶, ۷]. مزیت استفاده از ساختار بلور فوتونی بجای مواد انبوه[1] ایجاد مدارات مجتمع اپتیکی فشرده و کم اتلاف‌تر با حساسیت و دقت بالاتری است[۸, ۹].



شکل۱: گاف‌های نواری را به ازای مدهای نوری *TE* و *TM* در بلور فوتونی با شبکه مثلثی نشان می‌دهد.



شکل ۲: طرحی از مدل موجبرهای خمیده بلور فوتونی با دو نقص نقطه‌ای *A* و *B* را نشان می‌دهد.

استفاده از این ساختار در ناحیه تراهرتز که بین دو ناحیه مادون قرمز و ماکروویو با گستره طول موجی 30μm تا 30mm قرار دارد بسیار مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. این ناحیه در تشخیص پزشکی، آشکارسازهای نظامی، مطالعات جوی، ارتباط با سرعت بالا و حسگر های شیمیایی و زیستی کاربرد وسیعی دارد[۱۰, ۱۱].

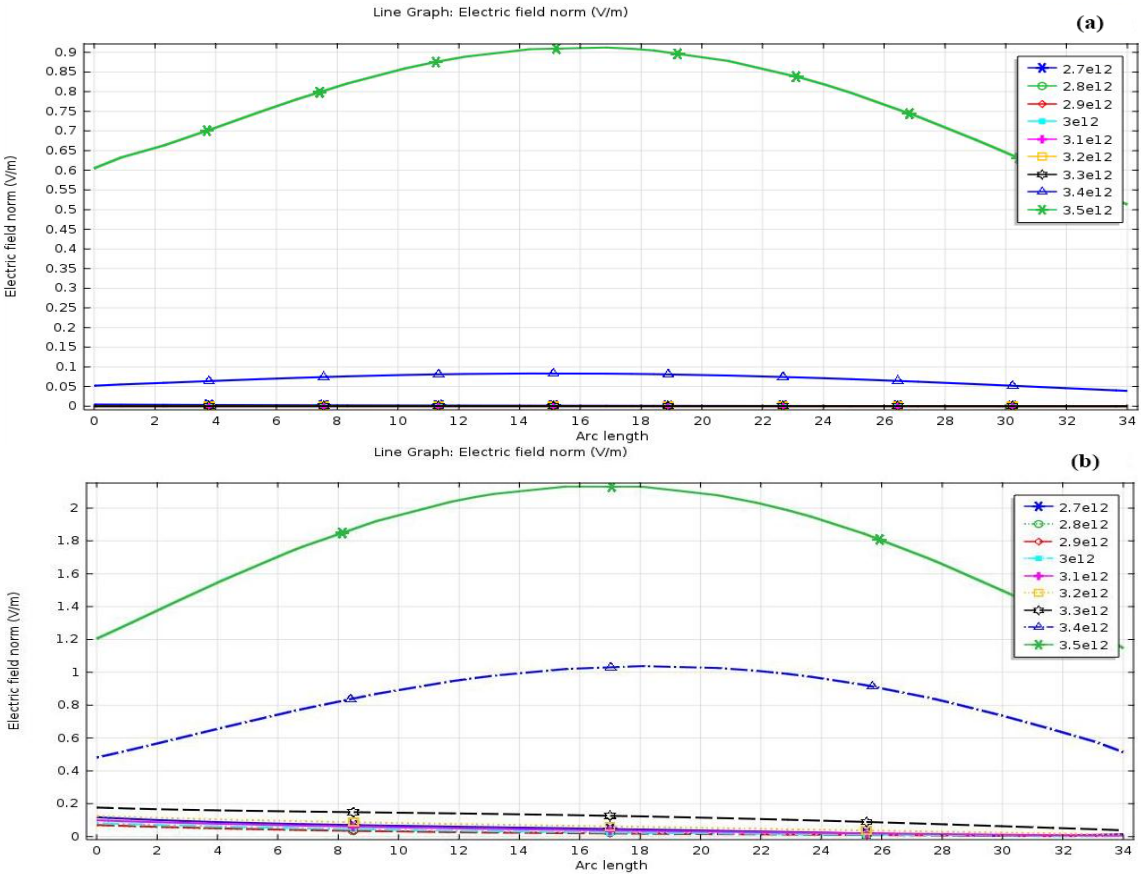
۲-طراحی و شبیه سازی

بلور فوتونی دو بعدی با شبکه مثلثی شامل میله‌های دی الکتریک (n_{si} = 3.4) در هوا را مورد بررسی قرار دادیم. در این ساختار شعاع میله‌های دی‌الکتریک a ۰.۳۲ است (a دوره تناوب شبکه بلور فوتونی است) در این مقاله در شکل۱ نشان داده شده است. معمولا ساختار بلور فوتونی دوبعدی با شبکه مثلثی در مقایسه با شبکه مربعی دارای گاف نواری پهن‌تری می‌باشند[۱۲]. شکل۱ نمودار نواری این ساختار را برای قطبش‌های TE و TM نشان می‌دهد.

این ساختار دارای ۴ گاف نواری بزرگ برای مد TE و یک نوار برای مد TM است که ما نمودار نواری مد TE را مدنظر قرار می‌دهیم. نواحی بسامدی بین(۰.۲۲a/λ تا a/λ ۰.۳۱)، (a/λ ۰.۴۰۵ تا a/λ ۰.۵۲)، (a/λ ۰.۶۲ تا a/λ ۰.۷۳) و (a/λ ۰.۸۳۵ تا a/λ ۰.۸۸۵) به ترتیب گاف نواری اول تا چهارم را برای مد TE تشکیل می‌دهند که امواج در این ناحیه بسامدی در بلور انتشار نمی‌یابند (در اینجا $a/\lambda=2\pi\omega c/a$ است که λ طول موج نور، ω بسامد آن و c بیانگر سرعت نور در خلا است).

[1] Bulk Materials

[Downloaded from opsi.ir on 2025-10-31]



شکل۳: نمودار *a* و *b* به ترتیب توزیع میدان الکتریکی را در پهنای دو موجبر W_1 و W_2 به ازای نقص‌های $A=6\mu m$ و $B=8\mu m$ در نوار اول نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۱ دو ناحیه گاف نواری اول و دوم جهت طراحی موجبر به عنوان فیلتر در نظرگرفته شده است. مطابق با شکل۲، با حذف آرایه‌ای از ستون‌های دی‌الکتریک در سه جهت، سه موجبرW، W_1 و W_2 به ترتیب با زاویه خمش ۰° ، ۶۰° و ۱۲۰° نسبت به راستای Xایجاد شده‌اند و دو نقص A و B به ترتیب در ابتدای موجبرهای W_1 و W_2 قرار دارند. تغییر در اندازه هر نقص باعث ایجاد تغییر در دامنه میدان الکتریکی نور عبوری از موجبرها می‌شود. برای بررسی و ایجاد فیلتر مناسب در این ساختار، با استفاده از دو گاف نواری مورد نظر اثر تغییرات شعاع نقص A و B را از 0 تا a ۰.۳۲ بر میدان عبوری از موجبرها بررسی می‌کنیم.

شبیه سازی با استفاده از روش FEM انجام شده است. دوره تناوب را برابر با a=25μm در نظر می‌گیریم بنابراین ساختار در ناحیه بسامدی تراهرتز دارای گاف نواری می‌باشد. در نتیجه پهنای هر سه موجبر که از حذف یک خط از ستون‌های دی الکتریک حاصل می‌شوند به ترتیب برابر با d_1=34μm وd_2=26μm خواهد شد.

۳- تحلیل و بررسی

در این مقاله به بررسی انتشار امواج با مد TE در این ساختار در گاف نواری اول و دوم می‌پردازیم.

در گاف نوار اول و دوم حالت‌هایی مشاهده می‌شود که مستقل از انتخاب شعاع برای نقص‌های A و B است، نوار اول برای بسامدهای۲.۷ تا ۳.۳ تراهرتز هر دو موجبر به عنوان فیلتر عمل می‌کنند و این خاصیت مستقل از تغییر شعاع دو نقص است و به ویژگی ساختار هندسی(شبکه) بلور بستگی دارد که بسامد در این ناحیه اجازه انتشار در بلور را پیدا نمی‌کند. شکل۳ توزیع میدان الکتریکی در پهنای دو موجبر W_1 و W_2 به ازای نقص‌های A=6μm و B=8μm در نوار اول نشان می‌دهد. همانطور که نمودار a نشان می‌دهد فقط به ازای فرکانس۳.۴ تراهرتز خروجی ضعیف و در ۳.۵ تراهرتز در موجبر W_1 خروجی داریم و بقیه فرکانس‌ها خروجی ندارند. نمودار b نیز نشان می‌دهد که موجبر فقط در فرکانس‌های ۳.۴ تا ۳.۵ تراهرتز خروجی میدان الکتریکی دارد و بقیه فرکانس‌های گاف نواری فیلتر شده‌اند.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-10-31]

با بررسی شعاع‌های مختلف و اثر آنها در گاف نوار دوم مشاهده کردیم که بین بسامد ۴.۹ تا ۵.۲ تراهرتز به ازای تمامی مقادیر برای شعاع نقص‌های A و B، موجبر W_1 خاصیت فیلتر کردن طول موج را دارد و موجبر W_2 در این بازه بسامدی طول موج را عبور می‌دهد. این خاصیت ناشی از ساختار بلور فوتونی است. پس از بررسی، شعاع انتخابی برای داشتن فیلتر، سوئیچ و تضعیف کننده بسامدی A=6μm و B=8μm است که حالت‌های ایجاد شده ناشی از این انتخاب برای گاف نواری دوم در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول۱: تغییرات در نوار بسامدی دوم را برای دو موجبر W_1 و W_2 به ازای نقص‌های $A=6\mu m$ و $B=8\mu m$ نشان می‌دهد.

موجبر تضعیف کننده	موجبر با خروجی بالا	موجبر فیلترکننده	بازه بسامد
موجبر W_2	-	موجبر W_1	4.9-5.2(THz)
موجبر W_2	موجبر W_1	-	5.3(THz)
-	موجبر W_1	موجبر W_2	5.4(THz)
موجبر W_1	موجبر W_2	-	5.5(THz)
موجبر W_2	موجبر W_1	-	5.6-5.7(THz)
-	موجبر W_1	موجبر W_2	5.8-5.9(THz)
موجبر W_2	موجبر W_1	-	6(THz)
موجبر W_1	موجبر W_2	-	6.1(THz)

سوئیچ بسامدی در این ساختار زمانی اتفاق می‌افتد که بسامد موج فرودی بین بسامد (۵.۳ و ۵.۴)، (۵.۴ و ۵.۵)، (۵.۷ و۵.۸) و (۶ و ۶.۱) تراهرتز جا به جا شود. سوئیچ باعث تغییر ناگهانی در خروجی دو موجبر W_1 و W_2 می‌شود که در جدول ۱ می‌توان این تغییرات را مشاهده کرد.

۴-نتیجه

فیلتر، سوئیچ و تضعیف کننده در ناحیه بسامدی تراهرتز دارای کاربردهای مهمی وسیعی در فناوری ارتباطات و حسگرها است. در این مقاله بررسی اثرات نقص نقطه‌ای در یک ساختار بلور فوتونی جهت کنترل، فیلتر، سوئیچ یا تضیف نور با ایجاد سه موجبر خمیده کوپل شده به دو نقص نقطه‌ای است. این ساختار علاوه بر داشتن حالت فیلتر و تضعیف کنندگی در ناحیه بسامدی تراهرتز، در برخی از بسامدها در نوار بسامدی دوم، نسبت به تغییر بسامد بسیار حساس بوده و دارای خاصیت سوئیچ بین موجبرهاست به همین دلیل می‌تواند به عنوان یک سوئیچ نوری یا حسگر با حساسیت بالا بکار گرفته شود.

۵-منابع

[۱]B. Rezaei, T.F. Khalkhali, A.S. Vala, M. Kalafi, *Optimization of Q-factor in direct-coupled cavity-waveguide photonic crystal structures*, **Optic-International Journal for Light and Electron Optics**, 124 (2013) 7056-7061.

[۲]W. Wei, Y. Bo, S. Hongru, F .Yue, *Designing of High Performance Photonic Crystal Filter with two channels*, in: **Industrial Electronics (ISIE), 2012 IEEE International Symposium on, IEEE**, 2012, pp. 1771-1773.

[۳]H. Shen, S. Banerjee, D. Klotzkin, *Wavelength Division Multiplexer Based on Photonic Crystal Filters Integrated into Silicon-on-Insulator Waveguides*, in: **Information Photonics, Optical Society of America**, 2005, pp. IWA3.

[٤]J.D. Joannopoulos, S.G. Johnson, J.N. Winn, R.D. Meade, *Photonic crystals: molding the flow of light*, **Princeton university press**, 2011.

[٥]T. Takahata, K. Hoshino, K. Matsumoto, I. Shimoyama, *Photonic crystal attenuator with a flexible waveguide and nano-rods*, in: **Micro Electro Mechanical Systems, 2006. MEMS 2006 Istanbul. 19th IEEE International Conference on, IEEE**, 2006, pp. 834-837.

[٦]Y. Kanamori, K. Inoue, K. Horie, K. Hane, *Photonic crystal switch by inserting nano-crystal defects using MEMS actuator*, in: **Optical MEMS, 2003 IEEE/LEOS International Conference on, IEEE,** 2003, pp. 107-108.

[۷]K .Fasihi, *Photonic crystal wavelength-selective attenuators: Design and modeling*, **Photonics and Nanostructures-Fundamentals and Applications**, 10 (2012) 470-477.

[۸]H.-T. Chien, C.-C. Chen, P.-G. Luan, *Photonic crystal beam splitters*, **Optics communications**, 259 (2006) 873-875.

[۹]K. Yamada, M. Notomi, A. Shinya, I. Yokohama, T. Shoji, T. Tsuchizawa, T. Watanabe, J.-I. Takahashi, E. Tamechika, H. Morita, *SOI-based photonic crystal line-defect waveguides*, in: **ITCom 2002: The Convergence of Information Technologies and Communications, International Society for Optics and Photonics**, 2002, pp. 324-338.

[۱۰]Y. Hou, F. Fan, X. Wang, G. Zhao, S. Chang, *Terahertz switch and polarization controller based on photonic crystal fiber*, **Science China Information Sciences**, 55 (2012) 106-113.

[۱۱]A.M. Javan, N. Granpayeh, *Terahertz wave switch based on photonic crystal ring resonators*, **Optical and Quantum Electronics**, 40 (2008) 695-705.

[۱۲]J. Zhou, H. Tian, D. Yang, Q. Liu, Y. Ji, *Integration of high transmittance photonic crystal H2 nanocavity and broadband W1 waveguide for biosensing applications based on Silicon-on-Insulator substrate*, **Optics communications**, (2014.(

[Downloaded from opsi.ir on 2025-10-31]