



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

آذر دخت 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 در آن 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

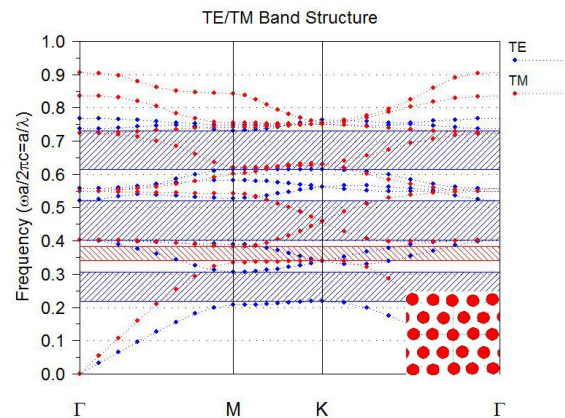
Optic and laser Research Center, University Institute of Applied Science, Shahinshahr, Iran

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).

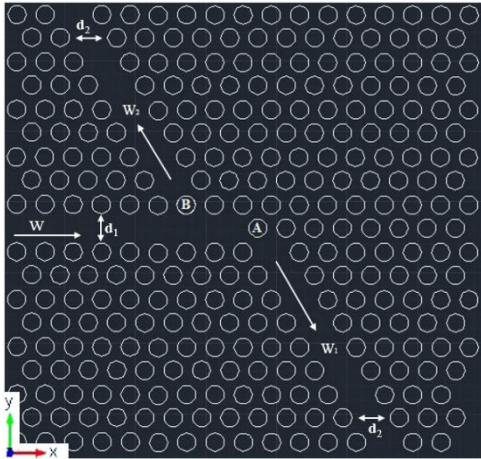
Keywords: optical Attenuator, optical switch, photonic crystal filter, photonic crystal waveguide

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 اصطلاحاً 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<sup>۱</sup> ایجاد مدارات مجتمع اپتیکی فشرده و کم اتلاف‌تر با حساسیت و دقت بالاتری است [۸، ۹].



شکل ۱: گاف‌های نوری 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.

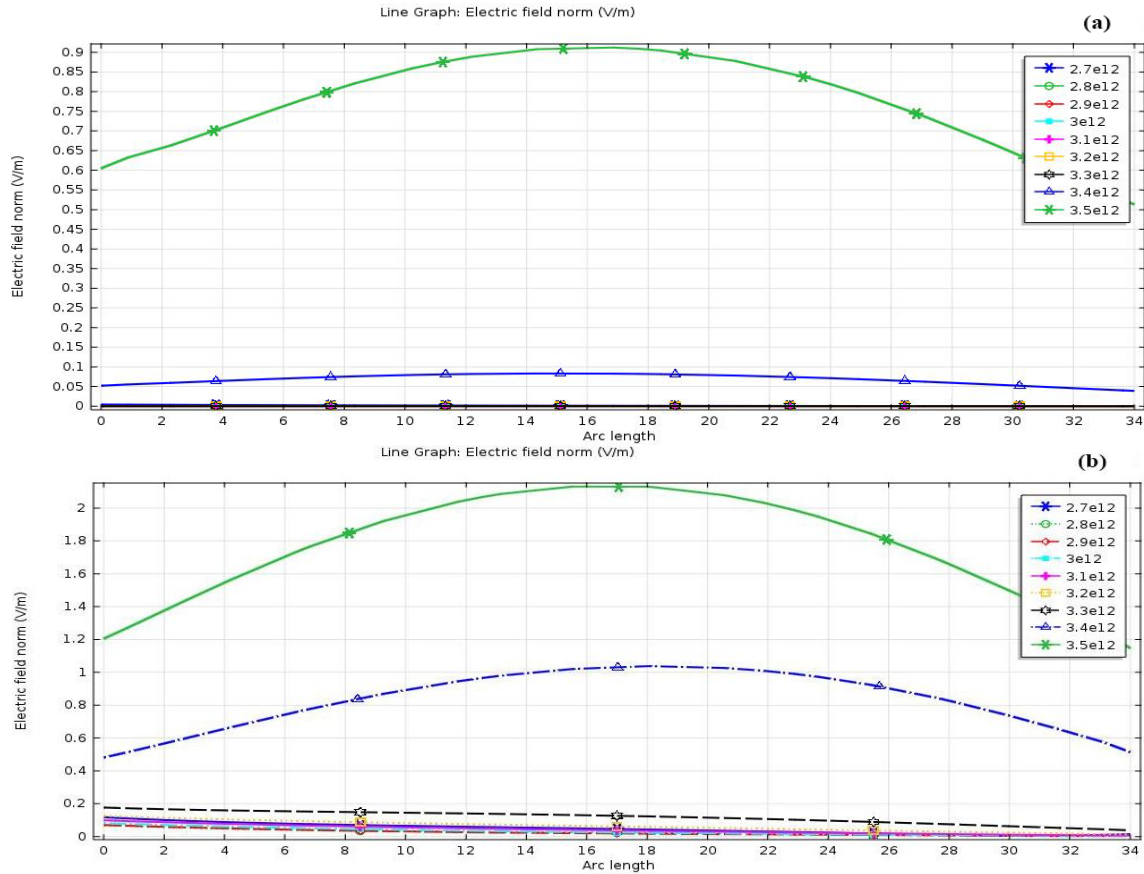
استفاده از این ساختار در ناحیه تراهرتز که بین دو ناحیه مادون قرمز و ماکروویو با گستره طول موجی  $30\mu\text{m}$  تا  $30\text{mm}$  قرار دارد بسیار مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. این ناحیه در تشخیص پزشکی، آشکارسازهای نظامی، مطالعات جوی، ارتباط با سرعت بالا و حسگرهای شیمیایی و زیستی کاربرد وسیعی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

۲- طراحی و شبیه سازی

بلور فوتونی دو بعدی با شبکه مثلثی شامل میله‌های دی الکتریک ( $n_{\text{Si}} = 3.4$ ) در هوا را مورد بررسی قرار دادیم. در این ساختار شعاع میله‌های دی الکتریک  $a$  است  $0.32a$  دوره تناوب شبکه بلور فوتونی است) در این مقاله در شکل ۱ نشان داده شده است. معمولاً ساختار بلور فوتونی دوبعدی با شبکه مثلثی در مقایسه با شبکه مربعی دارای گاف نوری پهن‌تری می‌باشند [۱۲]. شکل ۱ نمودار نوری این ساختار را برای قطبش‌های  $TE$  و  $TM$  نشان می‌دهد.

این ساختار دارای ۴ گاف نوری بزرگ برای مد  $TE$  و یک نوار برای مد  $TM$  است که ما نمودار نوری مد  $TE$  را مدنظر قرار می‌دهیم. نواحی بسامدی بین  $(0.22a/\lambda)$  تا  $a/\lambda$  ( $0.31$ )،  $(0.405 a/\lambda)$  تا  $(0.52 a/\lambda)$ ،  $(0.62 a/\lambda)$  تا  $a/\lambda$  ( $0.73$ ) و  $(0.835 a/\lambda)$  تا  $(0.885 a/\lambda)$  به ترتیب گاف نوری 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  $\lambda$  طول موج نور،  $\omega$  بسامد آن و  $c$  بیانگر سرعت نور در خلا است).

<sup>1</sup> Bulk Materials



شکل ۳: نمودار  $a$  و  $b$  به ترتیب توزیع میدان الکتریکی را در پهنای دو موجبر  $W_1$  و  $W_2$  به ازای نقص‌های  $A=6\mu\text{m}$  و  $B=8\mu\text{m}$  در نوار اول نشان می‌دهد.

### 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 بسامدهای  $2.7$  تا  $3.3$  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. شکل ۳ توزیع میدان الکتریکی در پهنای دو موجبر  $W_1$  و  $W_2$  به ازای نقص‌های  $A=6\mu\text{m}$  و  $B=8\mu\text{m}$  در نوار اول نشان می‌دهد. همانطور که نمودار  $a$  نشان می‌دهد فقط به ازای فرکانس  $3.4$  تراهرتز خروجی خروجی داریم و در  $3.5$  تراهرتز در موجبر  $W_1$  خروجی داریم و بقیه فرکانس‌ها خروجی ندارند. نمودار  $b$  نیز نشان می‌دهد که موجبر فقط در فرکانس‌های  $3.4$  تا  $3.5$  تراهرتز خروجی میدان الکتریکی دارد و بقیه فرکانس‌های گاف نواری فیلتر شده‌اند.

با توجه به شکل ۱ دو ناحیه گاف نواری اول و دوم جهت طراحی موجبر به عنوان فیلتر در نظر گرفته شده است. مطابق با شکل ۲، با حذف آرایه‌ای از ستون‌های دی‌الکتریک در سه جهت، سه موجبر  $W_1$  و  $W_2$  به ترتیب با زاویه خمش  $0^\circ$ ،  $60^\circ$  و  $120^\circ$  نسبت به راستای  $X$  ایجاد 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  $0.32a$  بر میدان عبوری از موجبرها بررسی می‌کنیم.

شبیه‌سازی با استفاده از روش FEM انجام شده است. دوره تناوب را برابر با  $a=25\mu\text{m}$  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 دی‌الکتریک حاصل می‌شوند به ترتیب برابر با  $d_1=34\mu\text{m}$  و  $d_2=26\mu\text{m}$  خواهد شد.

نقص نقطه‌ای است. این ساختار علاوه بر داشتن حالت فیلتر و تضعیف‌کنندگی 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.
- [۴] J.D. Joannopoulos, S.G. Johnson, J.N. Winn, R.D. Meade, *Photonic crystals: molding the flow of light*, **Princeton university press**, 2011.
- [۵] T. Takahata, K. Hoshino, K. Matsumoto, I. Shimoyama, *Photonic crystal attenuator with a flexible waveguide and nanorods*, in: **Micro Electro Mechanical Systems, 2006. MEMS 2006 Istanbul. 19th IEEE International Conference on, IEEE**, 2006, pp. 834-837.
- [۶] 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).

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 تضعیف‌کننده بسامدی  $A=6\mu m$  و  $B=8\mu m$  است که حالت‌های ایجاد شده ناشی از این انتخاب برای گاف نوری دوم در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: 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.

| بازه بسامد    | موجبر با فیلترکننده | موجبر با خروجی بالا | موجبر تضعیف‌کننده |
|---------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| 4.9-5.2 (THz) | موجبر $W_1$         | -                   | موجبر $W_2$       |
| 5.3 (THz)     | -                   | موجبر $W_1$         | موجبر $W_2$       |
| 5.4 (THz)     | موجبر $W_2$         | موجبر $W_1$         | -                 |
| 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)     | -                   | موجبر $W_2$         | موجبر $W_1$       |

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 و ۵.۸) 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 تضعیف‌کننده 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 تضعیف نور با ایجاد سه موجبر خمیده کوپل شده به دو