

اسپلیتر بلور فوتونی مبتنی بر موجبر

زهرة درانی^{۱*}، زینب زارع^۲

۱. کارشناسی ارشد، فیزیک، مری، دانشگاه پیام نور

۲. دکتری فیزیک، دانشگاه جامع علمی و کاربردی، مرکز فرهنگ و هنر فاضل فرهیخته، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۳

Photonic - Crystal Splitters based on Waveguide

Z. Durrani^{1*}, Z. Zare²

1. M.A., Physics, Instructor, Payame Noor University

2. Ph.D. of Physics, University of Applied Science and Technology, Fazel Art and Culture Center Shiraz, Shiraz, Iran

Received: 2019/06/16 Accepted: 2020/03/03

Original Article

مقاله پژوهشی

Abstract

A photonic crystal waveguide is provided in this article. The structure is two-dimensional array of silicon bars arranged in a triangular arrangement. Rods is placed in the air background and the x-z surface. The waveguide structure is created by removing the silicon bars. In this splitter, band gap arrangement was investigated by FDTD method. The waveguide can play the role of a splitter. With this array, a two-port and three-port splitter has been created. The two-dimensional Splitter leads the waves in two channels. The three-port splitter permits electromagnetic waves to be emitted with a 180° phase shifted between output signals. In this three-port splitter, the measured transmission spectra shown that the guided mode can be separated into three different lights. Since the splitter is made up of the photonic crystal structure, it has fewer losses. This issue is an important matter in the photonic circuitry.

Keywords

Splitters, Two Dimensional Photonic-Crystal, Waveguide.

چکیده

یک موجبر بلور فوتونی در این مقاله ارائه شده است. این ساختار آرایه دو بعدی از میله‌های سیلیکونی است که در آرایش مثلثی چیده شده است. میله‌ها در زمینه هوا و در صفحه X-Z قرار گرفته است. ساختار موجبر با حذف میله‌های سیلیکون ایجاد شده است. آرایش شکاف باند در این اسپلیتر با روش FDTD بررسی شده است. این موجبر می‌تواند نقش اسپلیتر را ایفا کند. با استفاده از این آرایه اسپلیتر دو پورته و سه پورته ایجاد می‌شود. اسپلیتر دو بعدی، موج ورودی را به دو کانال هدایت می‌کند. اسپلیتر سه پورته به امواج الکترومغناطیسی اجازه می‌دهد تا با یک شیفت فاز 180° درجه بین سیگنال‌ها خروجی انتشار یابد. با اندازه‌گیری طیف انتقال در این اسپلیتر سه پورته نشان داده شده که هدایت شده می‌تواند به سه پرتو متفاوت تفکیک شود. این اسپلیتر چون از ساختار بلور فوتونی تشکیل شده است، تلفات کمتری دارد که این موضوع یک اصل مهم در مدارات فوتونی به شمار می‌رود.

واژه‌های کلیدی

اسپلیتر، بلورهای فوتونی دوبعدی، موجبر.

مقدمه

بلورهای فوتونی ساختارهای متناوب دی‌الکتریک هستند که خواص نیمه هادی را برای هدایت و به تله انداختن نور به کار می‌گیرند [۳]. بلورهای فوتونی در محدوده فرکانسی خاصی از امواج الکترومغناطیسی، باند توقف دارند. با شکستن ساختار متناوب بلور فوتونی و ایجاد نقص، خاصیت شگفت‌انگیزی در بلور فوتونی ایجاد می‌شود که در کاربردهای مختلف قابلیت استفاده دارد [۴ و ۵]. سیگنال‌های سریع در ساختارهای نوری طیف گسترده‌ای دارند؛ بنابراین پراکندگی آنها در محدوده وسیع است. این بلورها در برابر امواج نوری همان رفتاری را دارند که نیمه رساناها در مقابل امواج الکترونی شبکه از خود نشان می‌دهند. ویژگی اصلی بلورهای فوتونی که بیشتر به صورت مصنوعی ساخته می‌شوند، دوره‌ای بودن ثابت دی‌الکتریک در آنهاست. این ویژگی به ایجاد نوار ممنوعه فرکانسی در بلور منجر می‌شود، به طوری که امواج الکترومغناطیسی که با فرکانس منطقه ممنوعه تابش می‌شوند، قادر به عبور از بلور نمی‌باشند [۸۶-۶]. با تغییر دادن پارامترهای فیزیکی نظیر ثابت دی‌الکتریک و یا عرض لایه‌ها، می‌توان یک نقص بلوری ایجاد کرد. نقص در بلورهای فوتونی مشابه ناخالصی در بلورهای نیمه رسانا می‌باشد. همان طور که ورود ناخالصی در بلور کامل یک نیمه رسانا منجر به ایجاد تراز انرژی جایگزیده در نوار ممنوعه انرژی می‌شود، وجود نقص در بلور فوتونی موجب ایجاد مدهای نقص در داخل نوار ممنوعه بلور می‌گردد که چنین مدهای مجبور است در ناحیه نقص محدود گردد. نقص در بلور فوتونی همانند کاواکی عمل می‌کند که دیواره‌هایش نور را کاملاً منعکس می‌کند. ساختارهای بلور فوتونی ظرفیت فوق‌العاده مناسبی در روابط پراکندگی نوری، تقارن مدهای الکترومغناطیسی دارند و بنابراین بعد جدیدی در کنترل نور فراهم می‌کند. در این ساختارها انتشار نور و اثر متقابل نور و ساختار متناوب اطراف با تئوری بلاخ توصیف می‌شود [۱۲-۹].

در دهه اخیر، با استفاده از بلورهای فوتونی ساختارهای برای کنترل نور ایجاد شده است. مشخصات ویژه این ساختارها شامل شکاف باند، انتقال، انعطاف پذیری بالا و امکان ساخت نانو ساختار است که می‌تواند ایجاد موجبر [۱۶-۱۳]، اسپلیترهای توان [۱۷-۱۶]،

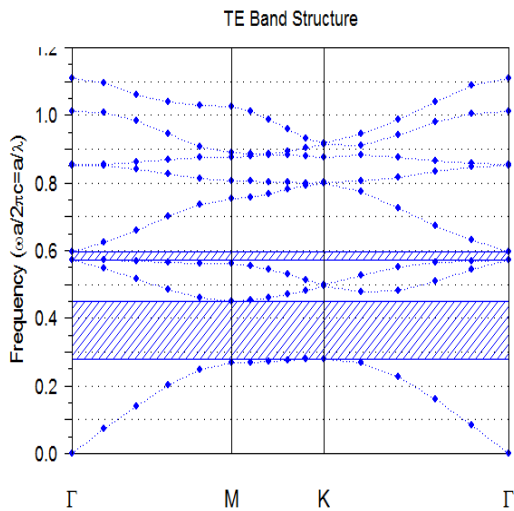
نانوتشدیدکننده، فیبر و آینه نماید [۱۷]. بلورهای فوتونی گستره کاربرد وسیعی در ارتباطات و دستگاه‌هایی با کاربرد حسی دارند [۱ و ۲]، شکست منفی در بلورهای فوتونی کاربردهای جالبی از جمله کاواک نیز دارد [۱۹]. در مدارات نوری مجتمع، موجبر بلورهای فوتونی به دلیل تلفات کم استفاده زیادی دارد. بنابراین با استفاده از موجبر بلور فوتونی می‌توان موجبرهای جدا کننده توان و خم‌کننده‌هایی بدون تلف و بدون انعکاس و با کمترین پراکندگی ساخت [۲۰]، که در مدارها و اجزاء اپتوالکتریک کاربرد دارد. یکی از کاربردهای مهم در این زمینه وسیله‌ای است که بتواند انرژی ورودی را به دو یا چند کانال تقسیم کند [۱۶]. اسپلیتر یکی از اجزاء مهم در الکترونیک نوری مدرن و سیستم‌های نوری به شمار می‌رود [۱۷].

در این مقاله یک اسپلیتر براساس ساختار موجبری بلورهای فوتونی ساخته شده است. در ادامه ابتدا ساختار را طراحی و سپس آن را تحلیل می‌کنیم.

طراحی موجبر بلور فوتونی

یکی از مهم‌ترین قسمت‌های سیستم انتقال، خط ارتباط آن است. خط دو سیمه به دلیل تضعیف کم برای انتقال فرکانس‌های رادیویی پایین مناسب است. در فرکانس‌های حدود گیگاهرتز به دلیل تضعیف زیاد خط دو سیمه از کابل هم‌محور استفاده می‌کنند. کابل‌های هم‌محور نیز در فرکانس‌های میکروویو فقط برای ارتباط در فاصله‌های کم (حدود چند متر) استفاده می‌شود و در فرکانس‌های بالا و فواصل زیاد، از نوع سوم خط ارتباط که موجبر نامیده می‌شود استفاده می‌کنند.

موجبر، لوله‌ای تو خالی و فلزی سخت یا قابل انعطاف است که المانی بسیار مهم در مدارات نوری به جهت هدایت نوری است. مقطع موجبرها مستطیلی، مربعی، دایروی و یا بیضوی است که متداول‌ترین آنها موجبرهای مستطیلی است و برای انتقال یا انتشار نور استفاده می‌شود. موجبرها قابلیت کاربرد در طیف وسیعی از فرکانس‌ها را دارد. ولی چون در فرکانس‌های پایین ابعاد آنها بزرگ و در فرکانس‌های بالا با ابعاد کوچکتری ساخته می‌شوند عملاً به جز موارد استثنائی و محدود،



شکل ۲. نقشه ساختار باند در موجبر بلور فوتونی دوبعدی

ساختار باند توقف در مد TE در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به ساختار ناحیه باند توقف برای فرکانس نرمالیزه در $0.45 \leq \frac{a}{\lambda} \leq 28$ و $0.57 \leq \frac{a}{\lambda} \leq 0.6$ ایجاد شده است. با توجه به مقدار ثابت شبکه $a = 0.65 \mu m$ و فرکانس نرمالیزه شده طول موج قابل استخراج است.

$$\frac{a}{\lambda} = f \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{a}{f} = \frac{1}{0.28} = 3.6 \mu m \quad (2)$$

$$2.22 \leq \lambda \leq 3.6, 1.67 \leq \lambda \leq 1.75$$

طول موج کاری این موجبر با توجه به نتایج به دست آمده از اشکال بالا قابل استخراج است. از این اشکال محدوده‌ای از طول موج‌ها به دست می‌آید. جهت تعیین بهترین طول موج میزان انتقال در موجبر را به ازای طول موج‌های مختلف را با شبیه‌سازی به دست می‌آوریم. نتایج در شکل ۳ آمده است.

برای فرکانس‌های حدود ۱۰۰ گیگاهرتز استفاده بیشتری دارند.

در موجبر دو بعدی بلور فوتونی یک ساختار مثلی از دایره‌های الکتریک بکار برده شده است. میله‌های دی‌الکتریک دایروی هستند چون وجود میله‌های دایروی میزان تلفات پراکندگی را کاهش می‌دهد و به طور موثرتری انتشار مد میدان الکتریکی را کنترل می‌کند.

فاصله بین دو مرکز میله $a = 1 \mu m$ است که ثابت شبکه نامیده می‌شود. شعاع هر میله $r = 0.4 * a$ و جنس میله‌های دی‌الکتریک از سیلیکون با ثابت دی‌الکتریک ۱۱٫۹۶ است. با این شرایط می‌توان ضریب شکست را طبق رابطه زیر به دست آورد.

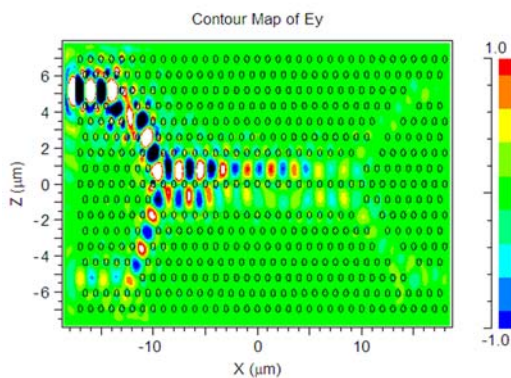
$$n = \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} = \sqrt{11.96} = 3.4$$

شکل ۱ شماتیک اسپلیتر براساس موجبر بلور فوتونی را نشان می‌دهد. این اسپلیتر ۱ ورودی و ۳ خروجی دارد.

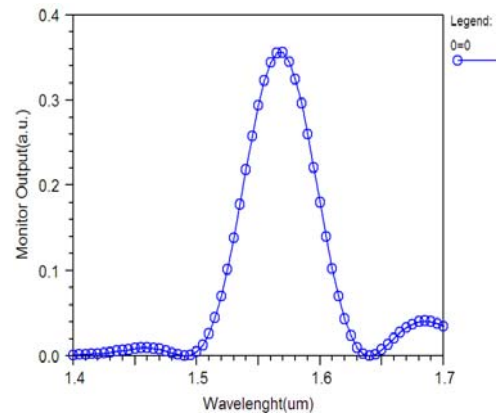


شکل ۱. شماتیک اسپلیتر براساس بلور فوتونی دو بعدی

با استفاده از روش بسط موج صفحه‌ای PWE منحنی پراکندگی ساختار اسپلیتر را به دست آوردیم.



(الف)



شکل ۳. تغییرات انتقال در برابر طول موج

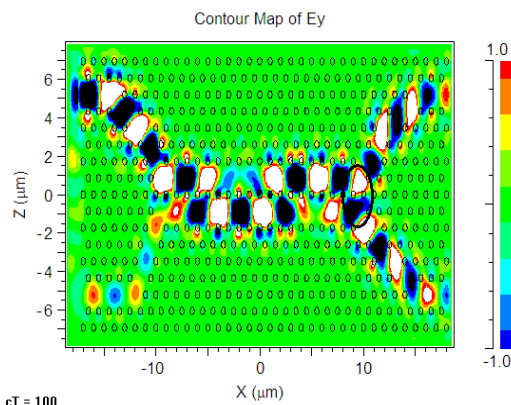
در طول موج ۲٫۶ میکرومتر حداکثر انتقال را داریم، بنابراین این طول موج را برای کار انتخاب می‌کنیم.

نتایج شبیه‌سازی

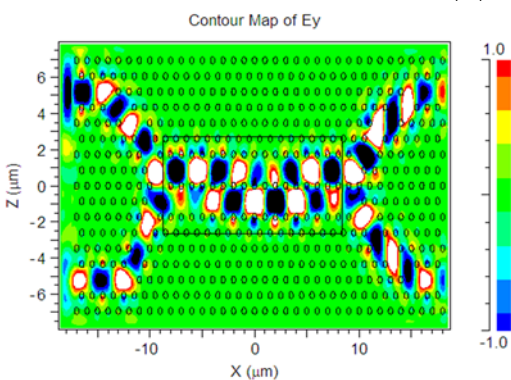
اسپلیترهای موج الکترومغناطیسی اهمیت زیادی در بلورهای فوتونی دارند. جهت بررسی قضایای انتقال، روش FDTD برای کوپلینگ نور به داخل موجبر و نحوه انتشار استفاده شد. یک موج گوسین دو بعدی در موجبر جهت تحریک استفاده می‌شود. با استفاده از قانون اسنل جهات انتشار به دست می‌آید.

در شکل ۴ نقشه‌های انتشار با استفاده از روش شبیه‌سازی مشاهده می‌شود. شکل ۴-الف در طول موج ۱٫۷ میکرومتر است که تنها یک خروجی از پورت ۳ دارد. شکل ۴-ب در طول موج ۲٫۶ میکرومتر به دست آمده که خروجی از پورت ۲ و ۳ دارد. موج هنگام ورود به دهانه دو کانال با مقدار ماکزیمم سفید و مقدار مینیمم سیاه داخل بیضی در شکل ۴-ب مشاهده می‌شود که یک اختلاف ۱۸۰ درجه‌ای را می‌بینیم. این موضوع نشان دهنده دو خروجی متفاوت از دو کانال است.

برای داشتن یک اسپلیتر ۳ خروجی در فرکانس ۲٫۶ میکرومتر یک میله را برداشتیم. محل این میله در شکل ۵ نمایش داده شده است (مستطیل سیاه رنگ). پس از حذف این میله نتایج شبیه‌سازی، یک اسپلیتر سه خروجی را نشان می‌دهد.



(ب)



(ج)

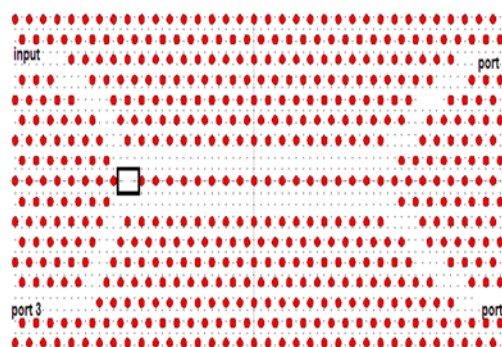
شکل ۴. الف) نقشه انتشار یک موجبر یک پورتی، ب) نقشه انتشار یک موجبر دو پورتی، ج) نقشه انتشار یک موجبر سه پورتی

شیفت فاز ۱۸۰ درجه‌ای با هم دارند. در این اسپلیتر یک جداسازی فضایی برای هریک از پورت‌ها ایجاد می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله از ساختار بلور فوتونی دو بعدی شامل دایره‌هایی با آرایش مثلثی، استفاده شده است. جنس این دایره‌ها سیلیکون با ضریب شکست ۳٫۴ است که در هوا احاطه شده است. این ساختار یک موجبر است که می‌تواند نور را منتشر کند. طول موج کاری با نقشه‌های باند توقف به دست آمده که دو محدوده توقف در این ساختار به دست آمده است. نتایج با استفاده از روش شبیه‌سازی FDTD نشان می‌دهد که در طول موج ۱٫۷ میکرو متر اسپلیتر دو پورتی ایجاد می‌شود. موج در این ساختار از مسیر موجبر به سمت دو پورت هدایت می‌شود که دو خروجی اختلاف ۱۸۰ درجه‌ای با هم دارند. با ایجاد یک نقص جدید از این موجبر یک اسپلیتر سه پورتی به دست آمد. اسپلیتر می‌تواند در مدارات فوتونی مورد استفاده قرار گیرد.

در شکل ۶ شیفت فاز ۱۸۰ در میدان بین نقاط بالا و پایین وجود دارد. مقدار ماکزیمم سفید در مقابل مقدار مینیمم سیاه قرار دارد.



شکل ۵. ساختار اسپلیتر سه پورتی با ایجاد نقص جدید.

طبق نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی FDTD این موجبر بلور فوتونی قادر به داشتن ۳ خروجی همزمان است. پورت ۳ شیفت فاز ۱۸۰ درجه با مجموع ورودی‌های پورت ۱ و ۲ دارد و پورت‌های ۱ و ۲ نیز

منابع

[۲] زهره درانی، طراحی حسگر تشدید سطح پلاسمون با استفاده از بلورهای فوتونی، اپتوالکترونیک، دوره ۱، شماره ۴، ۱۳۹۶، صفحه ۴۷-۵۲.

[۱] زهره درانی، شبیه‌سازی میکروسنسور اندازه‌گیری با استفاده از بلور فوتونی، اپتوالکترونیک، دوره ۱، شماره ۲، ۱۳۹۵، صفحه ۱۷-۲۲.

[3] Ling-xi Wu, Zhou Renlong, Jie Zhan., Optical confinement of spatial frequencies in the photonic crystal waveguide, Optics Communications, 284, pp.4082-4087, 2011.

ber with low confinement loss" in the 11th International Conference on Telecommunications, ConTEL, Graz University of Technology, Austria, June 15-17, pp. 531-534, 2011.

[4] Joannopoulos, J. D. S., Johnson, G., Winn, J. N., and Meade, R. D., "Photonic crystals molding the flow of light," New Jersey, USA: Princeton University Press, 2007.

[7] Olyae, S. e. and Dehghani, A. A., "High resolution and wide dynamic range pressure sensor based on two-dimensional photonic crystal," Photonic Sensors, vol. 2, no. 1, pp. 92-96, 2012.

[5] Olyae, S., and Taghipour, F., " Design of new square-lattice photonic crystal fibers for optical communication applications, " Int. J. Physical Sci., vol. 6, no. 18, pp. 4405-4411, 2011.

[8] Olyae, S., and Dehghani, A. A., " Nano-pressure sensor using high quality photonic crystal cavity resonator, " in 8th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Signal Processing (CSNDSP), Poznan, July 18-20, pp. 1-4, 2012.

[6] Olyae, S., and Taghipour, F., " Ultra-flattened dispersion photonic crystal fi-

- [9] Shi, J., Hsiao, V. S., Walker, T. R., and Huang, T. J., " Humidity sensing based on nanoporous polymeric photonic crystals, " *Sensors and Actuators B*, vol. 129, no. 1, pp. 391–396, 2008.
- [10] Mohdnoor, M. Y., Khalili, N., Skinner, I., and Peng, G. D., " Optical Humidity Sensor Based on Air Guided Photonic Crystal Fiber, " *Photonic Sensors*, Vol. 2, No. 3, pp.277–282, 2012.
- [11] Sun, J., and Chan, C. C., "Photonic bandgap fiber for refractive index measurement," *Sensors and Actuators B*, vol. 128, no. 1, pp. 46–50, 2007.
- [12] Nair, R. V., and Vijaya, R., " Photonic crystal sensors: an overview," *Progress in Quantum Electronics*, vol. 34, no. 3, pp. 89–134, 2010.
- [13] Ling-xi Wu, Zhou Renlong, Jie Zhan, Optical confinement of spatial frequencies in the photonic crystal waveguide, *Optics Communications*, vol.284, pp. 4082–4087, 2011.
- [14] Evgeny N. Bulgakov and Almas F. Sadreev, Giant optical vortex in photonic crystal waveguide with nonlinear optical cavity, *PHYSICAL REVIEW B* 85, 165305, pp.1-6, 2012.
- [15] Ting-Hang Pei and Yang-Tung Huang, The Heterostructure Photonic Crystal Waveguide Splitter, *IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS*, VOL. 23, NO. 16, AUGUST 15, pp.1145-1147, 2011.
- [16] CHEN Yan-bin, XU Xu-ming, LI Wei, Study the coupled-cavity waveguides photonic crystal power splitter, *Advanced Materials Research* Vol. 900, pp 222-225, 2014.
- [17] Mehmet Bayindir,a) B. Temelkuran, and E. Ozbay, "Photonic-crystal-based beam splitters", *APPLIED PHYSICS LETTERS VOLUME 77*, 2000.
- [18] Zhenkai Fan^{1,2} Shuguang Li¹ Qiang Liu¹ Jianshe Li¹ Yang Xie, Plasmonic Polarization Beam Splitter Based on Dual-Core Photonic Crystal Fiber, *Plasmonics*, 2015.
- [19] HE Sai-ling, RUAN Zhi-chao, A completely open cavity realized with photonic crystal wedges, *Journal of Zhejiang University SCIENCE*, 6A (5), pp. 355-357, 2005.
- [20] THYLÉN Lars, BERGLIND Eilert, Nanophotonics and negative ϵ materials, *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, vol 7(1), pp.41-47, 2006.