



پانزدهمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران

همراه با

نخستین کنفرانس مهندسی فوتونیک ایران، دانشگاه اصفهان

۱۰-۸ بهمن ماه ۱۳۸۷

15th Iranian Conference on Optics and Photonics and
1st Iranian Conference on Photonics Engineering
University of Isfahan, 27-29 January 2009.



خطی سازی منحنی ضریب تزویج مربوط به یک تزویج کننده موجبری بلور فوتونی

^{۱,۲} ملیحه خطیبی مقدم، ^۱ میر مجتبی میر صالحی، ^۱ امیر رضا عطاری

^۱ گروه برق دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

^۲ مرکز پژوهشی مخابرات و کامپیوتر دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

چکیده- در این مقاله در یک بلور فوتونی دوبعدی متشکل از سوراخهای هوا با آرایش مثلثی تزویج دو موجبر موازی را بررسی می‌کنیم. موجبرهای بلور فوتونی مورد نظر با فاصله دو ردیف از یکدیگر قرار گرفته اند و تحلیل تزویج در آنها توسط روش بسط موج صفحه ای صورت می‌گیرد. با توجه به این نکته که تساوی فاصله و پهنای کانالهای تزویج شده وابسته به خطی بودن منحنی ضریب تزویج است، خطی سازی این منحنی هدف ما در این مقاله می‌باشد. بنابراین به بررسی تاثیر شعاع سوراخهای ناحیه موجبری پرداخته و در نهایت ساختاری بهبود یافته را پیشنهاد می‌دهیم.

کلید واژه - بلور فوتونی، شکاف باند، موجبر، تزویج.

کد PACS - ۲۷۰,۰۲۵۰

Linearization of the Coupling Coefficient Curve of a Photonic Crystal Waveguide Coupler

^{1,2}Malihe Khatibi Moghadam, ¹Mir Mojtaba Mirsalehi, ¹Amir Reza Attari

¹Electrical Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran,

²Communications and Computer Research Center, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Abstract- In this paper, we investigate linear coupling in a photonic crystal waveguide coupler. The coupler is formed by two closely-spaced linear waveguides in a two-dimensional photonic crystal of air holes in a triangular lattice. The coupling between waveguides is studied using the plane wave expansion method. In order to have the selected channels with equal width and spacing, we need a linear coupling coefficient curve. Linearization of this curve is the goal of our study. Hence, we analyze the effects of air holes radii in the waveguide region and propose an improved structure.

Keywords: Photonic Crystal, Band Gap, Waveguide, Coupling.

PACSNo: 270.0250

۱- مقدمه

و منحنی‌های مربوط به آن و در بخش سوم بعد روشی برای بهبود ساختار را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۲- تحلیل تزویج موجبری در یک بلور فوتونی سوراخ‌دار با آرایش مثلثی

به علت سادگی ساخت و کاهش چشمگیر میزان محاسبات لازم برای تحلیل در بلورهای فوتونی دوبعدی نسبت به نوع سه بعدی آن، تحقیقات وسیعی بر روی ساختارهای دوبعدی صورت گرفته است. شکل ۱ یک تزویج کننده موجبری در یک بلور فوتونی دوبعدی با آرایش مثلثی متشکل از سوراخهای هوا را نشان می‌دهد. این ساختار متشکل از دو موجبر موازی است. موج نوری با توان P_i به این ساختار وارد و از دو خروجی توانهای P_{o1} و P_{o2} خارج می‌شود. بلور فوتونی از نوع سیلیکون با ضریب شکست $3/4$ و شعاع $0/3a$ است که a ثابت شبکه می‌باشد. این ساختار دارای شکاف باند نوری در بازه فرکانسی $0/278a - 0/211a$ برای مودهای عرضی الکتریکی (TE) می‌باشد. فرکانس عموماً به صورت نرمالیزه بیان می‌شود و c سرعت انتشار نور در خلاء است. برای ایجاد تزویج کننده موجبری، دو موجبر بافاصله یک یا چند ردیف در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. در بلور فوتونی مورد مطالعه در این مقاله، در صورتی که دو موجبر همانطور که در شکل نشان داده شده است، با فاصله دو ردیف از یکدیگر قرار گیرند ویژگیهای مطلوبی از خود نشان می‌دهند. منحنی‌های پاشندگی مودهای هدایت شونده در این ساختار که با استفاده از روش بسط موج صفحه‌ای^۲ (PWE) محاسبه شده‌اند، در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

مودهای موجبری در این ساختار دارای تقارن زوج و فرد نسبت به صفحه عمود بر حد واسط دو موجبر می‌باشند. این مودها در یک ناحیه فرکانسی که در شکل ۲ با نام ناحیه تزویج معرفی شده است دارای ثابتهای انتشار متفاوتی هستند. در یک فرکانس مشخص این ثابتهای انتشار به ترتیب k_{even} و k_{odd} نامیده می‌شوند. در فرآیند تزویج زمانی که اختلاف فاز دو مود برابر با مضرب فردی از π می‌شود، تداخل دو مود سبب می‌شود کل توان در یکی از دو موجبر قرار گیرد. بنابراین با توجه به رابطه فاز و ثابت انتشار، حداقل میزان طول مورد نیاز برای وقوع این امر از رابطه (۱) بدست

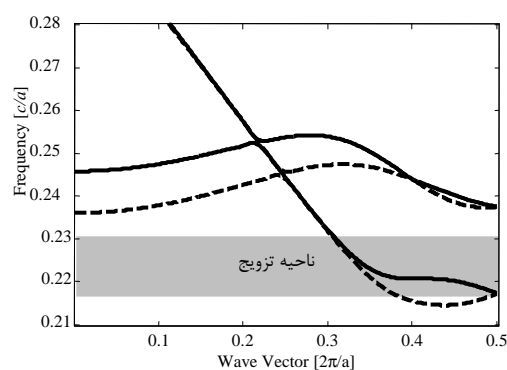
در سالهای اخیر شبکه‌های دی‌الکتریک متناوب که به بلورهای فوتونی معروفند، در طراحی قطعات مختلف نوری مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. قابلیت‌های مختلف این ساختارها در کنترل انتشار نور، سبب شده است محققان در دو حوزه آزمایشگاهی و تئوری به تحلیل و طراحی آنها بپردازند [۱]

وجود شکاف باند نوری در یک بلور فوتونی مهمترین ویژگی آن محسوب می‌شود. ایجاد نقایص نقطه‌ای و خطی در شبکه یک بلور فوتونی قابلیت هدایت موج را در شکاف باند فراهم می‌آورد [۱]. تزویج کننده‌های موجبری یکی از قطعات قابل ساخت توسط بلورهای فوتونی هستند که متشکل از دو موجبر خطی موازی و مجاور در یک شبکه بلور فوتونی می‌باشند. توان اعمال شده به ورودی یک موجبر پس از طی طول مشخصی که آن را طول تزویج^۱ می‌نامند، به موجبر مجاور منتقل می‌شود [۲-۳].

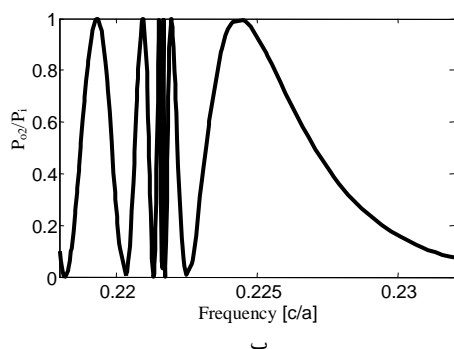
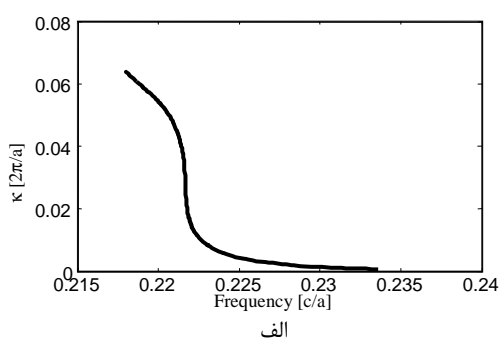
ساختارهای اپتیکی متفاوتی از جمله مالتی‌پلکسرها/دی‌مالتی‌پلکسرها [۴]، فیلترهای نوری [۵]، سوئیچها [۶] و تقسیم کننده های توان [۷] بر اساس تزویج کننده‌های موجبری بلور فوتونی قابل طراحی هستند. به غیر از تقسیم کننده‌های توان در اکثر این کاربردها موج نوری هدایت شده در یک موجبر در یک بازه فرکانسی مشخص و محدود جدا شده و به موجبر دوم انتقال می‌یابد [۳].

منحنی مشخصه در مورد تزویج کننده‌های موجبری، منحنی ضریب تزویج است که تغییرات آن عکس طول تزویج می‌باشد. در یک تزویج کننده موجبری در صورتی که طول دو موجبر موازی به اندازه کافی باشد، می‌توان چند کانال فرکانسی را به موجبر دوم تزویج کرد که در این حالت فاصله و پهنای کانالهای جدا شده باید مساوی باشند. عامل تعیین کننده در این موضوع خطی بودن منحنی ضریب تزویج است. در این مقاله با تحلیل ساختار و تغییر شکل هندسی آن به بهبود منحنی ضریب تزویج به منظور خطی سازی آن می‌پردازیم. در بخش دوم ساختار یک تزویج کننده موجبری

² Plane Wave Expansion¹ Coupling Length



شکل ۲: مدهای موجبری ساختار مربوط به دو موجبر تزویج یافته. خط چینها مدهای فرد و خطوط توپر مدهای زوج هستند.



شکل ۳: الف) منحنی ضریب تزویج بر حسب فرکانس. ب) توان نسبی خروجی دوم

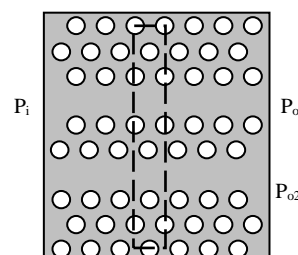
۳- بهبود ساختار تزویج کننده موجبری

باتوجه به شکل ۳-الف، منحنی ضریب تزویج یک منحنی غیرخطی است که متعاقباً منحنی اختلاف فاز بر حسب فرکانس نیز غیر خطی شده و سبب می شود طیف فرکانسی کانالهای تزویج شده به صورت شکل ۳-ب باشد. در نواحی فرکانسی مختلف تعداد و پهنای کانالها متفاوت است و در مجموع غیرخطی بودن منحنی ضریب تزویج سبب شده است فاصله و پهنای کانالها نامساوی باشند که این امری مطلوب

می آید که طول تزویج نام دارد و با L_c نشان داده می شود. این مقدار معمولاً به صورت ضریبی از ثابت شبکه بیان می شود.

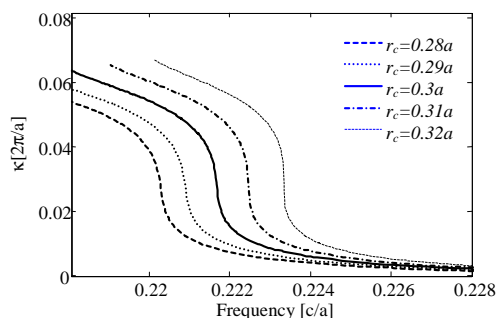
$$\Delta\phi = L \cdot \Delta k, \Delta\phi = \pi \Rightarrow L_c = \frac{\pi}{\Delta k} = \frac{\pi}{|k_{even} - k_{odd}|} \quad (1)$$

پارامتر دیگری که در بسیاری از موارد به منظور تحلیل ساختار مورد استفاده قرار می گیرد، ضریب تزویج نام دارد و از رابطه $\kappa = \frac{|k_{even} - k_{odd}|}{2}$ بدست می آید. افزایش ضریب تزویج و کاهش طول تزویج معادل یکدیگر هستند و هر دو این پارامترها تابعی از فرکانس می باشند. منحنی مربوط به ضریب تزویج در شکل ۳-الف نشان داده شده اند. در ساختار مذکور اگر توان P_i به موجبر اول وارد شود در فرکانسهایی که شرط تزویج را برآورده کند، توان ورودی به موجبر دوم منتقل می شود. بنابراین طیف توانهای P_{o1} و P_{o2} تابعی از ضریب تزویج و طول ساختار است و مقادیر نرمالیزه آنها برابر با $P_{o2}/P_i = \sin^2(\kappa L)$ و $P_{o1}/P_i = \cos^2(\kappa L)$ می باشند. اگر ساختاری با طول $300a$ در نظر بگیریم، شکل ۳-ب توان نسبی خروجی دوم را نشان می دهد. همانطور که دیده می شود فاصله و پهنای کانالهای تزویج شده نابرابر هستند. در بخش بعد به بررسی تأثیر پارامترهای ساختاری بر روی پهنای فاصله و طول تزویج می پردازیم.

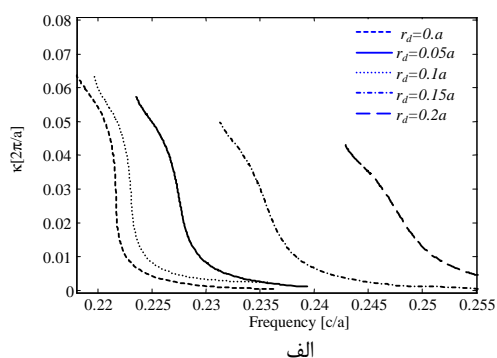


شکل ۴: ساختار یک تزویج کننده موجبری در یک بلور فوتونی سوراخدار با آرایش مثلثی. خط چینها ابر سلول در نظر گرفته شده برای تحلیل را نشان می دهد.

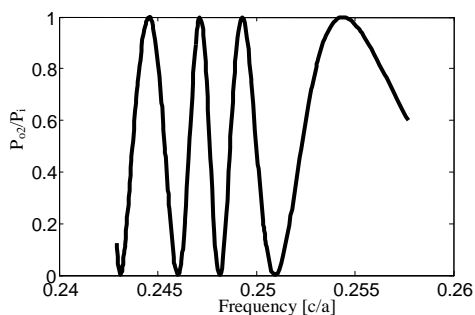
با ایجاد سوراخهایی با شعاع $0.2a$ در ناحیه موجبری، منحنی ضریب تزویج خطی می‌شود و در صورتی که طول ساختار به میزان کافی باشد، پهنا و فاصله کانالهای تزویج شده برابر شده که این موضوع امری ضروری در جداسازی کانالهای فرکانسی در سیستمهای مخابرات نوری می‌باشد.



شکل ۵: منحنی ضریب تزویج برای مقادیر مختلف r_c ($r_d = 0$) و $(r' = 0.3a)$



الف



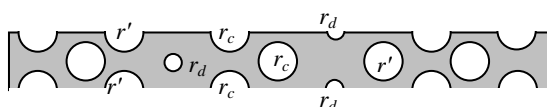
ب

شکل ۶: الف) منحنی ضریب تزویج برحسب مقادیر مختلف r_d ($r_c = 0.3a$) و $r_d = 0.2a$ (ب) طیف توان نرمال شده خروجی دوم به ازای $r_c = 0.3a$

مراجع

- [1] J. D. Joannopoulos, S. G. Johnson, in: *Photonic Crystals: The Road from Theory to Practice*, Kluwer Academic Publisher, (2002).
- [2] M. Vorobeichik, Orenstein, N. Moiseyev, *Intermediate-mode-assisted optical directional couplers via embedded periodic structure*, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 34, 1772 (1998).

در جداسازی کانالهای مورد نظر نمی‌باشد. در بررسی تأثیر پارامترهای هندسی بر شکل منحنی ضریب تزویج، مهمترین و بارزترین پارامترها، شعاع سوراخهای موجود در ناحیه موجبری و اطراف آن است. بنابراین یک ابرسلول از ساختار را به صورت شکل ۴ در نظر می‌گیریم. سوراخهایی کوچک با شعاع r_d را در مسیر موجبرها قرار می‌دهیم. همچنین شعاع سوراخهای ردیفهای میانی بین دو موجبر و سوراخهای مجاور را به ترتیب r_c و r' می‌نامیم و کلیه این مقادیر را به صورت متغیر در نظر می‌گیریم.



شکل ۴: ابر سلول ساختار و شعاعهای متغیر برای بهینه سازی

کاهش و افزایش شعاعهای r_c و r' تأثیری بر خطی سازی منحنی K ندارد. این موضوع در شکل ۵ که منحنی تزویج را برای مقادیر مختلف r_c نشان می‌دهند، قابل مشاهده است. در این شکل شعاعهای r_d و r' به ترتیب برابر با صفر و $0.3a$ انتخاب شده و شعاع r_c هم متغیر است. در مورد متغیر r' نیز تغییرات به صورت مشابه است. تغییر مقادیر r_c و r' تنها سبب جابجایی مودهای موجبری به فرکانسهای بالاتر شده و در شکل مودها تأثیر چشمگیری ندارد. اما بررسی پارامتر r_d نشان می‌دهد که در صورت تغییر شعاع r_d از مقدار صفر به $0.2a$ این موضوع نه تنها سبب جابجایی مودهای موجبری می‌شود، بلکه سبب تغییر شکل آنها و متعاقباً تغییر در شکل منحنی K نیز می‌گردد. در شکل ۶-الف منحنی ضریب تزویج برای مقادیر مختلف r_d نشان می‌دهد که به ازای $r_c = 0.3a$ ، منحنی ضریب تزویج در بازه فرکانسی بزرگتری خطی است. این موضوع سبب می‌شود که در طیف توان فرکانسی تزویج شده به موجبر دوم فاصله و پهناهای کانالها نسبتاً مساوی باشند. مقایسه شکل‌های ۳-ب و ۶-ب مؤید این مطلب است. در صورتی که شعاع r_d بالاتر از $0.2a$ انتخاب شود مودهای موجبری از شکاف باند خارج شده و در بازه فرکانسی محدودی خاصیت تزویج را از خود نشان می‌دهند.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله با بهبود ساختار و تغییر شعاع سوراخهای ناحیه موجبری در یک بلور فوتونی با شبکه مثلثی، به یک تزویج کننده موجبری مناسب دست یافتیم. در ساختار پیشنهادی

- [3] S. Boscolo, M. Midrio, C. G. Someda, *Coupling and decoupling of electromagnetic waves in parallel 2-D photonic crystal waveguides*, **IEEE Journal of Quantum Electronics**, 38, 47(2002).
- [4] L. W. Chung, S. L. Lee, *Photonic crystal-based dual-band demultiplexer on silican materials*, **Optical and Quantum Electronics**, 39, 677 (2007).
- [5] H. Takano, B. Song, T. Asano, S. Noda, *Highly efficient multi channel drop filter in a two dimensional hetro photonic crystal*, **Optics Express**. 14, 3491(2006).
- [6] N. Yammato, T. Ogawa, K. Komori, *Photonic crystal directional coupler switch with small switching length and wide bandwidth*, **Optics Express**, 14, 1223 (2006).
- [7] H. Ren, C. Jiang, W. Hu, M. Gao, J. Wang, *Photonic crystal power-splitter based on mode splitting of directional coupling waveguides*, **Optical and Quantum Electronics**, 38, 645 (2006).