بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

طراحی و شبیه‌سازی مقسم توان بلور فوتونی مبتنی بر سیال نوری

مرتضی جان‌فزا[۱] و محمدعلی منصوری بیرجندی[۲]

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان

چکیده - یک مقسم توان بلور فوتونی با یک ورودی و دو خروجی موازی در یک شبکه بلور فوتونی مثلثی متشکل از حفره‌های هوا در بستر *Si*، طراحی و شبیه‌سازی شده است. توان هر خروجی بیش از ۴۳ درصد توان ورودی است و پهنای باند نور ورودی، ۵۰ نانومتر برای طول موج‌های بین ۱۵۰۰ تا ۱۵۵۰ نانومتر می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از روش تفاضل محدود در حوزه زمان بصورت دوبعدی (*2D FDTD*) نشان می‌دهد که در این بازه، میانگین توان خروجی برای هر خروجی بیش از ۴۵ درصد توان ورودی است. در ساخت این مقسم توان از دو خم موجبر ۶۰ درجه با اتصال *Y* شکل استفاده شده است.

کلید واژه- بلور فوتونی، خم موجبر، سیال نوری، مقسم توان

Design and Simulation of Photonic Crystal Power Splitter Based on Optofluidic Infiltration

Morteza Janfaza[1] and Mohammad Ali Mansouri-Birjandi[2]

Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Sistan and Balouchestan, Zahedan

Abstract- A power splitter with one input and two outputs is designed in a two dimensional photonic crystal with triangular lattice and simulated using air holes in a dielectric substrate. Power of each output branch is more than 43% and the bandwidth incident light is 50 nm, between from 1500 nm to 1550 nm. Simulation results calculated using two dimensional finite difference time domain (2D FDTD) method exhibits an average output power more than 45% of incident light power in the bandwidth range for each output branch. Two 60° waveguide bends is used in this power splitter with Y-configuration.

Keywords: Optofluidic Infiltration, Photonic Crystal, Power Splitter, Waveguide Bends

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]

۱- مقدمه

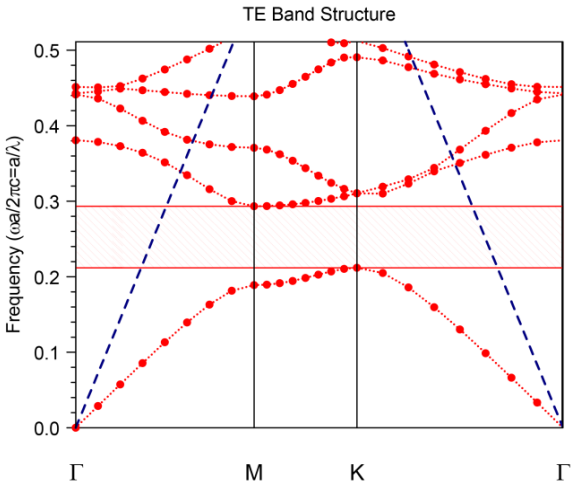
یکی از قطعات اصلی در سیستم‌های مخابرات نوری مدرن، مقسم توان می‌باشد که می‌تواند کاربردهای زیادی داشته باشد. مقسم‌های توان انواع مختلفی دارند از جمله می‌توان به مقسم‌های توان با استفاده از تزویج‌گرهای جهتی [۱]، اتصال Y شکل [۲]، و اتصال T شکل [۳] اشاره کرد. اخیراً از بلورهای فوتونی برای طراحی مقسم-های توان در مدارهای مجتمع مبتنی بر بلور فوتونی استفاده می‌کنند که توجهاتی زیادی را به خود جلب کرده است[۴] .

در سال‌های اخیر، ساختارهای زیادی برای مقسم توان پیشنهاد و طراحی گردیده است [۵] که هر چند در برخی از آن‌ها میزان انتقال نور ورودی به خروجی بازده قابل توجهی داشته است، لیکن بیشتر آن‌ها به دلیل استفاده از میله‌های دی‌الکتریک در بستر هوا از لحاظ ساخت دچار مشکل خواهند بود. یکی از این ساختارها که بازده خروجی بسیار قابل توجهی از خود نشان می‌دهد، طراحی انجام شده توسط کوآن ژو و همکارانش است که توان نور در هر خروجی ۴۹/۷ درصد است و بر اساس موجبرهای کاواک تزویج شده کار می‌کند[۶].

در این مقاله، ابتدا یک خم موجبر ۶۰ درجه با بازده انتقال بالا پیشنهاد می‌شود. سپس مقسم توان مورد نظر، که از یک اتصال Y شکل و دو خم موجبر ۶۰ درجه ساخته شده، ارایه می‌شود. ساختار بلور فوتونی از شبکه مثلثی شکل با استفاده از حفره‌های هوا در بستر دی‌الکتریک از جنس سیلیکون است. در این ساختار از سیال نوری برای بهینه‌سازی طیف انتقال استفاده شده است.

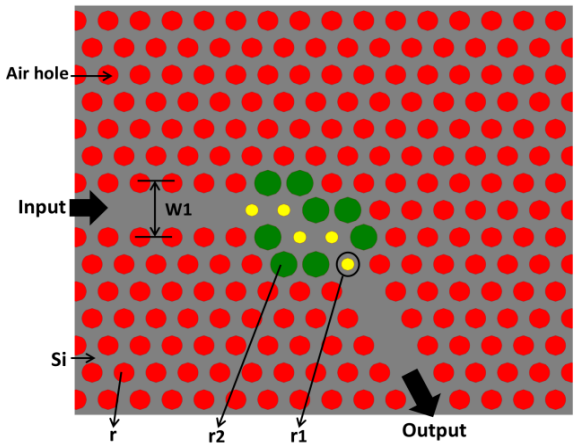
۲- طراحی خم موجبر ۶۰ درجه با تلفات کم

شکل ۱، نمودار ساختار نوار فوتونی را برای مد TE در یک ساختار بلور فوتونی نشان می‌دهد که با ایجاد حفره‌های هوا در بستر سیلیکون با استفاده از شبکه‌ی مثلثی با ضریب پرشدگی r/a =۰/۳۲ تشکیل شده است،که r شعاع حفره‌های هوا و a ثابت شبکه می‌باشد. همان‌طور که در این نمودار که با استفاده از روش بسط موج تخت (PWE) محاسبه و ترسیم شده، مشاهده می‌شود شکاف نوار فوتونی در بازه a/λ=۰/۲۱۰۷ تا a/λ=۰/۲۹۳۲ بوجود آمده است که λ طول موج نور در خلاء، و a/λ فرکانس بهنجارش شده است. شکاف نوار فوتونی ایجاد شده، اجازه می‌دهد تا فرکانس نور ورودی را در مجاورت فرکانس مرکزی a/λ= ۰/۲۵۱۹ در نظر بگیریم.



شکل ۱: ساختار نوار فوتونی شبکه‌ی بلور فوتونی مثلثی؛ خط نور با خط‌چین آبی رنگ مشخص شده است.

منحنی طیف انتقالی خم موجبر شکل ۲، که با استفاده از روش FDTD محاسبه گردیده، در شکل ۳ آمده است. با توجه به این شکل، میانگین انتقال خم موجبر برای طول موج نور ورودی، در پهنای باند بین ۱۵۰۰ تا ۱۶۰۰ نانومتر با قطبش TE، ۹۰ درصد است که دارای بیشینه ۹۶ درصد می‌باشد.

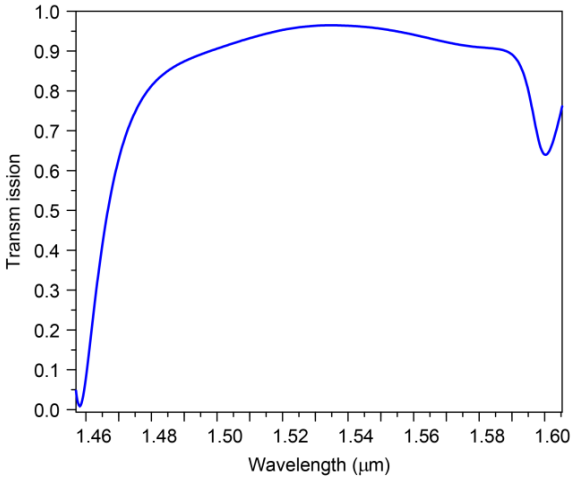


شکل ۲: خم موجبر پیشنهادی در ساختار مقسم توان.

خم نشان داده شده در شکل ۲، در حقیقت از سه خم تشکیل شده است که یک نقص خطی بزرگ تشکیل می‌دهد و در نتیجه پهنای باند و بهره‌ی انتقال را افزایش

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]

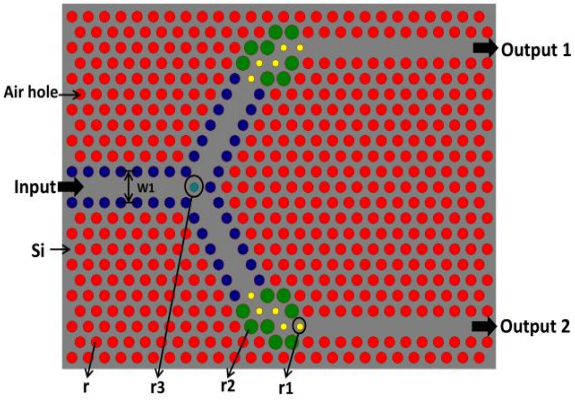
می‌دهد. در شبکه‌ی بلور فوتونی مورد استفاده برای ایجاد این خم، شعاع حفره‌های ناحیه خم برای حفره‌های کوچک‌تر، داخل خم موجبر (حفره‌های زرد رنگ) و حفره‌های بزرگ‌تر مجاور خم (حفره‌های سبز رنگ) به ترتیب r_1=۰/۲a و r_2=۰/۴۲a است.



شکل ۳: بهره‌ی طیف عبوری خم موجبر نشان داده شده در شکل ۲.

۳- طراحی مقسم توان با خم ۶۰ درجه

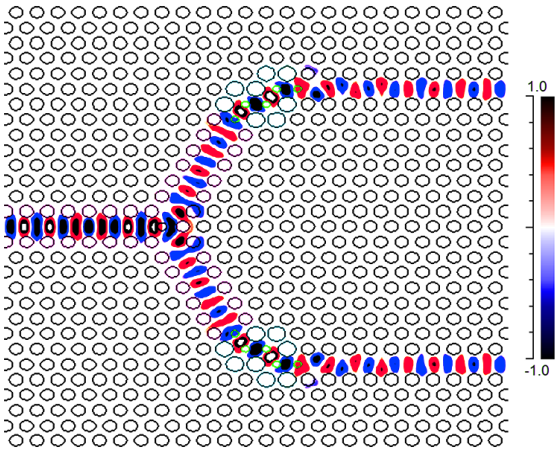
شکل ۴ ساختار مقسم توان با خم ۶۰ درجه را با استفاده از اتصال Y شکل، بطور کامل نمایش می‌دهد. در این ساختار حفره ایجاد شده در مرکز اتصال Y شکل (که با رنگ فیروزه‌ای نشان داده شده است)، برای جلوگیری از ایجاد مدهای اضافی قرار گرفته و شعاع آن r_3=۰/۲۵۵a می‌باشد. هرچند قرار دادن این حفره در مرکز اتصال Y شکل از ایجاد مدهای اضافی پیشگیری می‌کند، اما نمی‌توان به تنهایی از این روش در طراحی مقسم توان مورد نظر استفاده کنیم، چراکه به دلیل عدم انطباق مدهای هدایتی در محل اتصال Y شکل و مدهای هدایتی موجبرهای اطراف آن، توان خروجی کاهش می‌یابد. برای انجام این انطباق، باید ضریب شکست مؤثر در ناحیه‌ی Y شکل، به طور کلی افزایش یابد. برای جبران‌سازی تلفات محل اتصال، ضریب شکست ناحیه‌ی اتصال با تزریق سیال نوری در حفره‌های دو ردیف نزدیک به موجبرها (که در شکل مذکور با رنگ آبی نشان داده شده‌اند) افزایش پیدا کرده است. بدین ترتیب هم انطباق بین مدها انجام شده است، هم از ایجاد مدهای اضافی (با ایجاد یک حفره در مرکز اتصال) پیشگیری شده است.



شکل ۴: ساختار پیشنهادی برای مقسم توان با خم ۶۰ درجه و اتصال Y شکل بکمک تزریق سیال نوری (حفره‌های آبی رنگ).

استفاده از سیال‌های نوری در طراحی قطعات بلور فوتونی روش جدیدی برای طراحی قطعات بلور فوتونی است که باعث می‌شود کنترل و تنظیم ضریب شکست در بلورهای فوتونی و در نتیجه کنترل مشخصات و خواص قطعه به راحتی انجام گردد، بدون این‌که نیازی به تغییر شعاع حفره‌ها یا ایجاد رینگ‌هایی وجود داشته باشد که ساخت آن‌ها ملزم به دقت بالا در فرآیند ساخت است [۷]. این یک مزیت بسیار بزرگ در تسهیل ساخت قطعات بلور فوتونی است. در ساختار شکل ۴، ضریب شکست سیال نوری مورد استفاده ۱/۵۵ در نظر گرفته شده است.

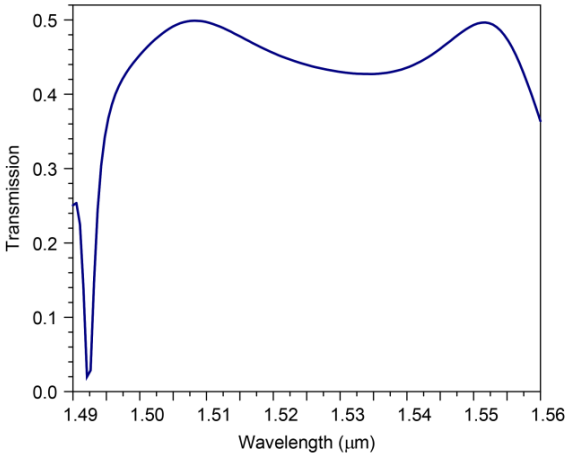
شکل ۵ نتیجه شبیه‌سازی به روش FDTD را برای الگوی توزیع میدان الکتریکی با مد TE در مقسم توان با خم ۶۰ درجه نشان می‌دهد. در این شکل ورودی موج پیوسته (CW) با طول موج ۱۵۵۰ نانومتر است.



شکل ۵: الگوی توزیع میدان الکتریکی برای ساختار شکل ۴.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]

شکل ۶ بهره‌ی طیف عبوری ساختار نمایش داده شده در شکل ۴ را نشان می‌دهد که با استفاده از روش FDTD محاسبه شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، توان خروجی برای هر دو شاخه‌ی مقسم توان در نزدیکی پنجره‌ی مخابراتی C-Band یعنی بازه‌ی ۱۵۰۰ تا ۱۵۵۰ نانومتر قرار گرفته است. در این بازه، بهره‌ی انتقال برای هر یک از خروجی‌ها بیشتر از ۴۳ درصد و میانگین توان خروجی برای هر خروجی بیش از ۴۵ درصد می‌باشد.



شکل ۶: بهره‌ی خروجی توان نوری برای ساختار شکل ۴.

۴- نتیجه‌گیری

یک مقسم توان نوری با یک ورودی و دو خروجی پیشنهاد شد که توان خروجی برای هر شاخه بیش از ۴۳ درصد توان ورودی بدست آمد و پهنای باند ۵۰ نانومتر در نزدیکی پنجره‌ی مخابراتی C-Band، یعنی طول موج‌های بین ۱۵۰۰ تا ۱۵۵۰ نانومتر را پوشش می‌دهد. در این ساختار، تلفات با بهینه‌سازی دقیق شعاع حفره‌های هوا در ناحیه‌ی خم و تنظیم ضریب شکست حفره‌های نزدیک به اتصال Y شکل کاهش پیدا می‌کند. ساخت چنین قطعه‌ای نسبت به قطعات پیشنهادی مشابه ساده‌تر است، چرا که این ساختار با استفاده از شبکه‌ی حفره‌های هوا در بستر دی‌الکتریک ساخته شده است، و علاوه بر این برای تنظیم مدهای هدایتی در اتصال اتصال Y شکل از سیال نوری استفاده شده است که لزوم ساخت با دقت بالا و در نتیجه هزینه‌های ساخت را کاهش می‌دهد. بدین ترتیب مقسم توان نوری ارایه شده نسبت به ساختارهای مشابه بهره خروجی بهتر و ساخت آسان‌تری دارد.

مراجع

[1] Park I., Lee H. S., Kim H. J., Moon K. M., Lee S. G., Park S. G., and Lee E. H., *Photonic crystal power-splitter based on directional coupling*, **Opt. Express**, 12 (2004) 3599-3604.

[2] Fan S., Johnson S. G., Joannopoulos J., Manolatou C., and Haus H., *Waveguide branches in photonic crystals*, **JOSA B**. 18 (2001) 162-165.

[3] Zhang Y., Li Z., Li B., *Multimode interference effect and self-imaging principle in two-dimensional silicon photonic crystal waveguides for terahertz waves*, **Opt. Express,** 14 (2006) 2679–2689.

[4] Joannopoulos J. D., Johnson S. G., Meade R. D., Winn J. N., *Molding the Flow of Light, Photonic Crystal*, Princeton University Press, 2008.

[5] Hou Y., Fan F., Wang X. -H., and Chang S. -J., *Terahertz Power splitter based on ferrite photonic crystal*, **Optik,** (2012).

[6] Xu Q., Xie K., Ran Y., and Tang J., *3dB power splitter design based on coupled cavity waveguides*, **Optik**, 122 (2011) 156-158.

[7] Ebnali-Heidari M., Grillet C., Monat C., and Eggleton B., *Dispersion engineering of slow light photonic crystal waveguides using microfluidic infiltration*, **Opt. Express**, 17 (2009) 1628-1635.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-30]