بررسی موجبر جداکننده توان بهینه بلور فوتونیک

تهمینه جلالی[1]

۱- استادیار- گروه فیزیک- دانشگاه خلیج فارس- بوشهر- ایران

jalali@pgu.ac.ir

چکیده: در این مقاله، جداکننده توان بلور فوتونیک با اتصال Y شکل به منظور استفاده در ابزارهای مخابراتی طراحی، بهینه¬سازی و شبیه¬سازی شده است. به منظور افزایش میزان عبور موجبر از حفره ای با ضریب شکست متفاوت در محل اتصال استفاده شده است. با استفاده از روش¬های FDTD تعمیم یافته و MMP عبور پرتو از جداکننده توان شبیه¬سازی شده است. با توجه به هندسهٔ موجبر بلور فوتونیک، قطبش الکتریکی عرضی در نظر گرفته شده است. این داده‌ها از تکنیک End-Fire در آزمایشگاه ETH به دست آمده‌اند. انتشار پرتو در جداکننده توان ساخته شده از بلور فوتونیک را بوسیلهٔ روش¬های شبیه¬سازی FDTD دوبعدی تصحیح شده و MMP مدلسازی کرده و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می¬کنیم. بررسی محاسبات عددی ساختار بهینه نشان می¬دهد نتایج آزمایشگاهی در توافق خوبی با روش¬های FDTD دوبعدی و روش نیمه تحلیلی MMP قرار دارد و میزان عبور به حدود ۴۴/۸٪ در هر شاخه رسیده است.

کلمات کلیدی: بلور فوتونیک، جداکننده توان، روش تفاضل متناهی دامنه زمان، روش چندقطبی چندگانه، شبیه‌سازی، موجبر.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۲۶

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۰۸

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر تهمینه جلالی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران – بوشهر – خیابان شهید ماهینی – دانشگاه خلیج فارس – دانشکده‌ی علوم

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.4.7.7]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.13- No.4-Winter 2016

۱- مقدمه

پیشرفت‌های تکنولوژی در طراحی و تولید قطعات الکترونیکی مینیاتوری و پرسرعت، دانشمندان را بر آن داشت تا فوتون را جایگزین الکترون کنند. این تغییر رویکرد و کاربردهای فراوان ابزارهای اپتوالکترونیک منجر به تولد شاخه‌ای جدید در علم موسوم به فوتونیک گردیده است. در این راستا پژوهش‌های بسیاری بر روی بلورهای فوتونیک به عنوان کاندیدی مناسب جهت ساخت المان‌های فوتونیک معادل با هر المان الکترونیکی، طراحی و ساخت مدارهای مجتمع فوق فشرده فوتونیک انجام شده است[۱و۲]. بلورهای فوتونیک ساختارهایی هستند که در بازه‌های بسامدی خاصی، امواج الکترومغناطیسی توانایی عبور (گاف نواری فوتونیک) ندارند[۱]. بلورهای فوتونیک موادی با ساختار تناوبی در یک، دو و سه بعد هستند. در حال حاضر از این ابزار قدرتمند در نمایشگرها، دیودهای نورافشان، سلول‌های خورشیدی، حسگرهای نوری، لیزرهای دیودی و ... استفاده می‌شود. استخراج نور به کمک بلورهای فوتونیک روشی موثر برای افزایش کارآیی LEDهای صفحه‌ای است[۴]. کاواک‌های بلور فوتونیک نور را قویا در حجم کوچکی محبوس می‌کنند و در فیزیک و مهندسی کاربردهای بسیاری از جمله، برهم‌کنش بین الکترون و فوتون، اپتیک غیرخطی، پردازش اطلاعات کوانتومی، لیزرهای با آستانه پایین و فیلترهای با دقت بالا، دارند. علاوه بر آن استفاده از تار نوری و لیزرها بر پایه بلورهای فوتونیک در مخابرات مورد توجه بسیار قرار گرفته است[۵]. اخیراً بلورهای فوتونیک مغناطیسی در انتشاردهنده‌های دورانی، ایزولاتورها و مبدل‌های نوری فوق سریع برای پردازش لیزری تصویر نیز به کار برده شده‌اند[۶].

موجبرها و جداکننده‌های توان فوتونیک نقش کلیدی را در ارتباط بین المان‌های فوتونیک به عهده دارند و مجتمع کردن بلورهای فوتونیک در مقیاس بسیار ریز با قرار دادن تعداد بسیاری قطعات فوتونیک را در تراشه میسر می‌سازند[۷-۹]. برای داشتن خمش‌های تیز در موجبرها، تضاد ضریب شکست بالا را لازم داریم. در موجبرهای دی‌الکتریک معمولی، شعاع خمیدگی چندین میلی‌متر است، هرچند در بلور فوتونیک به دلیل جایگزیدگی نور توسط ساختار تناوبی موجبر اجازه خمش نور را در ابعاد نانو می‌دهد. در میان ابزارهای متنوع بلورهای فوتونیک، جداکننده‌های توان یکی از ابزارهای پرکاربرد با تنوع بسیار است. مقالات بسیاری در زمینه طراحی، ساخت و بهینه سازی اتصالات T و Y منتشر شده است [۱۰-۱۶]. اغلب در این ساختارها، از محل انحنا، جفت‌شدگی اتصالات اتلاف وجود دارد و تکنیک‌های مختلف بهینه‌سازی به منظور افزایش میزان عبور از شاخه‌ی خروجی وجود دارد. در این جا با قرار دادن حفره‌ای در محل اتصال فضای اتصال Y کاهش می‌یابد و منجر به افزایش عبور می‌گردد.

در حوزه تکنولوژی می‌توان هزینه بسیار بالای طراحی و ساخت قطعات بلورهای فوتونیک را بطور قابل ملاحظه‌ای با شبیه‌سازی و بهینه‌سازی کاهش داد. متأسفانه شبیه‌سازی و بررسی ابزارهای مجتمع فوتونیک چندکاره نیز به واسطهٔ ابعاد بزرگ نسبت به طول موج، نیاز به حافظهٔ زیاد و زمان شبیه‌سازی طولانی دارد. این بزرگترین چالش شناخته شده برای روشهای عددی مرسوم برای محاسبات اپتیکی می‌باشد. برای طراحی المان‌های فوتونیک معمولاً از تکنیک‌های محاسباتی مانند روش تفاضل متناهی بازه زمان (FDTD)، روش چندقطبی چندگانه (MMP) ، ر.وش المان متناهی (FEM) و ... استفاده می‌گردد که هر روش معایب و مزایای خود را دارد [۱۹]. روش FDTD[1] تکنیک محاسباتی می‌باشد که در حوزه‌های مختلفی ازجمله مهندسی، فیزیک و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور شبیه‌سازی آنتن‌ها، مدارات الکترونیکی، نانوذرات، ابزارهای بلورهای فوتونی و... روش FDTD بررسی و استفاده شده است[۸-۱۲]. از مزایای روش FDTD می‌توان به سادگی به هنگام شدن الگوریتم و رفتار قابل کنترل واگرایی با در نظر گرفتن نقاط نمونه فضایی اشاره کرد [۲۰].

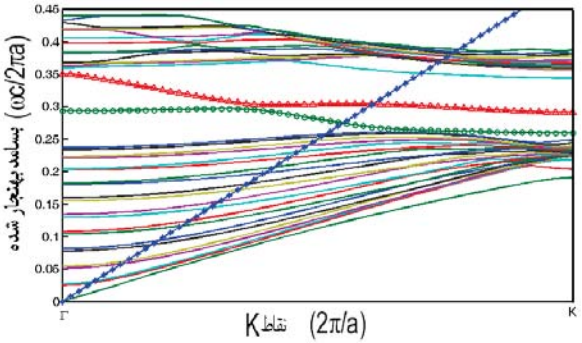
در این مقاله، ابزار جداکننده توان بسیار مجتمع با اتصال Y به منظور استفاده در ابزارهای مخابراتی طراحی، بهینه‌سازی و شبیه‌سازی شده است. با استفاده از روش‌های FDTD تعمیم یافته و MMP عبور پرتو از جداکننده توان را شبیه‌سازی کرده و نشان می‌دهیم که نتایج شبیه‌سازی در توافق خوبی با نتایج آزمایشگاه می‌باشد[۳و۶]. ساختار این مقاله بدین صورت می‌باشد، ابتدا موجبر بلور فوتونیک معرفی و بهینه‌سازی آن ارائه می‌گردد. سپس روش عددی به طور مختصر توضیح داده می‌شود و نهایتا نتایج شبیه‌سازی و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی ارائه می‌گردد.

۲- موجبر جداکننده توان بلور فوتونیک

بلورهای فوتونیک دارای نوار ممنوعه‌ای هستند که اجازهٔ انتشار نور در این بازه را نمی‌دهند (شکل ۱). با ایجاد نقص خطی در بلور فوتونیک، نور مجاز به عبور با طول موج‌های مشخص می‌گردد. در بلور فوتونیک دوبعدی نور در راستای عمود بر صفحه بلور به کمک انعکاس داخلی کل جایگزیده می‌گردد. در حالی که جایگزیدگی در صفحه وابسته به خواص گاف نواری فوتونیک است. ساختار بلور فوتونیک صفحه‌ای شامل لایه‌های عمودی نیمه‌رسانا است که در آن حفره عمیقاً مته‌کاری شده¬اند. مدلسازی دوبعدی این ابزارها احتیاج به زمان بسیار کوتاهتری در قیاس با سه بعدی دارد و برای بهینه‌سازی بلور با تکرار شبیه‌سازی مناسب است. در عمل، به دلیل محدودیت‌های محاسباتی، شبیه¬سازی دوبعدی را به سه‌بعدی ترجیح می¬دهیم. استفاده از جایگزیدگی ضریب گذردهی از میان موجبر صفحه¬ای در بعد سوم را مورد توجه قرار داده و از گذردهی موثر برای شبیه¬سازی موجبر بره بلور فوتونیک استفاده شده است تا بتوان شبیه سازی دو بعدی را به مدل واقعی در سه بعد نزدیک کرد [۱۸].

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.4.7.7]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.13- No.4- Winter 2016



شکل (۱): ساختار نواری بلور فوتونیک، نوار ممنوعه و مدهای موجبر به وضوح قابل مشاهده هستند

برای ایجاد خمیدگی در ساختار به گونه‌ای که بازتابهای ناخواسته به حداقل برسد، طراحی مناسبی مورد نیاز است که با مدلسازی ساختار و تغییرات مورد نیاز در اتصالات بهینه‌سازی انجام می‌پذیرد. می‌توان با جابجا کردن حفره‌های نزدیک به خمیدگی یا تغییر قطر آنها و یا با اضافه نمودن حفره‌ای اختیاری، ساختار را بهینه کنیم. به منظور داشتن گاف نواری ممنوعه پهن در طول‌موج مخابراتی (۱۵۵۰ نانومتر) فاکتور پرشدگی ۳۴٪ انتخاب شده است و بلور از ماده‌ی InPGaAs\InP تشکیل یافته است. جداکننده ساختار شش وجهی و خمشی با زاویه‌ی ۶۰° دارد. اندازه کل قسمت جداکننده حدود ۵×۵ ثابت شبکه است. جداکننده و طیف عبور اتصال بدون هیچ بهینه‌سازی در شکل‌های ۲الف و ۵ آورده شده است که توان عبوری در هر شاخه بسیار پایین است. ناحیهٔ هدایت کننده در حالت اتصال موجبرها پهن‌تر از موجبر تک مد است. در نتیجه مدها افزایش می‌یابند و در آن ناحیه، چند مدی می‌گردند [۴]. مدهای اصلی و مرتبه بالاتر بطور ویرانگر با یکدیگر در جداکنندهٔ غیربهینه تداخل می‌کنند و به خوبی در موجبر هدایت نمی‌شوند (شکل ۳و۵). برای کاهش این تداخل‌ها و افزایش عبور باید حجم اپتیکی کاواک در ناحیه‌ی اتصال Y شکل می‌نیمم شود، تا مدهای مرتبه‌های بالاتر کاهش یابند. یک حفرهٔ کوچک در وسط محل اتصال قرار داده می‌شود. با تغییر اندازه این حفره در محل اتصال می‌توان ماکزیمم عبور در هر شاخه را بدست آورد. این حفره دارای عامل پرشدگی، حدود ۱۴/۸٪ می‌باشد (شکل‌های ۲ب و ۳). برای افزایش عبور، اندازه حفره باید تغییر کند و با توجه به محدودیت نظری، توان عبور جداکننده در هر شاخه ماکزیمم ۴۴/۴٪ می شود (شکل ۶). در این کار، با توجه به هندسهٔ بلور فوتونیک، قطبش الکتریکی عرضی (TE^{2}) در نظر گرفته شده است.

۳- محاسبات عددی

ابتدا از روش FDTD برای مدلسازی انتشار پرتو در این موجبر استفاده می‌کنیم. در این روش با شبکه‌بندی فضای محاسباتی و اختصاص خواص اپتیکی مناسب به هر سلول، ساختار مورد مطالعه و میدان‌های برهم‌کنش‌کننده تعریف می‌گردند [۱۹-۲۱]. در روش FDTD، فضای شبیه‌سازی به سلول‌های مکعبی تقسیم می‌گردد و بر روی هر سلول مؤلفه‌های میدان الکتریکی و مغناطیسی به ترتیب گذاشته می‌شوند. سپس با استفاده از تفاضل متناهی بر معادلات ماکسول وابسته به زمان، مجموعه‌ی روابط برای محاسبه‌ی مؤلفه‌های مختلف میدان الکترومغناطیسی برحسب مقادیر آنها در زمان قبل به دست می‌آیند. در الگوریتم یی، ابتدا میدان‌های را با استفاده از شرایط اولیه‌ی مقداردهی می‌شوند و سپس در بازه‌ی زمانی مقدار جدید برای هر کدام از مؤلفه‌ها با داشتن میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی مجاور در گام زمانی عقب‌تر به دست می‌آیند. پس از اتمام شبیه‌سازی، با داشتن مقادیر میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی در تمامی سلول‌ها، می‌توان کمیت‌های فیزیکی مورد نظر را به دست آورد. در روش FDTD برای شبیه‌سازی مسائل با مرزهای باز از شرط مرزی لایه‌ای جاذب ساختگی با عنوان لایه‌ی کاملا جور شده (PML^{3}) استفاده می‌شود، تا بتوان فضای محاسباتی را کوتاه کرد. همچنین با استفاده از PML از انعکاس امواج الکترومغناطیسی به درون ساختار از لبه‌های فضای محاسباتی جلوگیری می‌شود.

با توجه به ساختار بلور فوتونیک، معادلات ماکسول دوبعدی را برای حالت قطبش الکتریکی عرضی در نظر می‌گیریم. فضای شبیه‌سازی به سلول‌های مربعی و زمان نیز با پله‌ی زمانی گسسته تقسیم‌بندی می‌گردند. سپس تابع را روی مرزهای شبکه در هر پله زمانی نوشته می‌شود. رابطه‌های پله‌ای زمان 2D-FDTD برای مد TE بدین صورت نوشته می‌شود.

$$E_x\big|_{i,j}^{n+1}=\frac{\varepsilon_{i,j}-\sigma_{i,j}\,\Delta t/2}{\varepsilon_{i,j}+\sigma_{i,j}\,\Delta t/2}E_x\big|_{i,j}^{n}+\frac{\Delta t}{\varepsilon_{i,j}+\sigma_{i,j}\,\Delta t/2}\frac{H_z\big|_{i,j+1}^{n}-H_z\big|_{i,j}^{n}}{\Delta y} \qquad (۱)$$

$$E_y\big|_{i,j}^{n+1}=\frac{\varepsilon_{i,j}-\sigma_{i,j}\,\Delta t/2}{\varepsilon_{i,j}+\sigma_{i,j}\,\Delta t/2}E_y\big|_{i,j}^{n}-\frac{\Delta t}{\varepsilon_{i,j}+\sigma_{i,j}\,\Delta t/2}\frac{H_z\big|_{i+1,j}^{n}-H_z\big|_{i,j}^{n}}{\Delta x} \qquad (۲)$$

$$H_z\big|_{i,j}^{n+1/2}=H_z\big|_{i,j}^{n-1/2}-\frac{\Delta t}{\mu_{i,j}}\left(\frac{E_y\big|_{i+1,j}^{n}-E_y\big|_{i,j}^{n}}{\Delta x}-\frac{E_x\big|_{i,j+1}^{n}-E_x\big|_{i,j}^{n}}{\Delta y}\right) \qquad (۳)$$

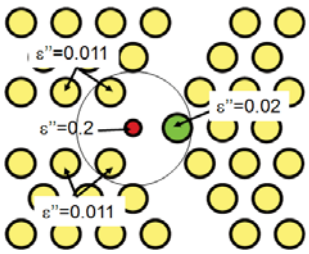
که در آن ε, μ وσ تراوایی، گذردهی وابسته به مکان و رسانایی ماده هستند. بالانویس n پله‌ی زمان گسسته را نشان می‌دهد و زیرنویس i, j مکان نقاط شبکه در راستای x, y را نمایش می‌دهند. Δt نمو زمان و Δx، Δy نمو مکان در راستای x,y بین دو نقطه‌ی مجاور شبکه هستند. در این مقاله $\Delta t = 1/c_{max}\sqrt{\Delta x^{-2}+\Delta y^{-2}}$ به عنوان پله‌ی زمانی انتخاب شده است، تا شرط پایداری را ارضا کند و c سرعت نور در خلا است. در این کد از شرایط مرزی لایه‌ی جور شده پیچشی $CPML^{4}$ استفاده شده است[۱۸]. منبع موجبر با پروفایل زمانی بسته گاوسی $e^{-(t-t_0)^2/2\sigma^2}$ اعمال شده است، که σ پهنای پالس و t_0 زمان تاخیر است. پالس به گونه‌ای انتخاب شده است تا با دامنه‌ی تقریبا صفر شروع شود و پهنای آن گستره‌ی طول‌موج مورد نظر را بپوشاند.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.4.7.7]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.13- No.4-Winter 2016

همچنین از روش چندقطبی چندگانه به منظور مقایسه نتایج مدلسازی استفاده شده است. روش MMP روشی نیمه تحلیلی مرزی در بازهٔ بسامد است، که در دهه ۱۹۸۰ توسط هافنر و همکاران توسعه یافت [۲۲]. در این برنامه، تکنیک جفت شدن نقطه تعمیم یافته استفاده شده است. برای داشتن دامنه‌های همگن، فضای محاسباتی به دامنه-های کوچکتر تقسیم می‌گردد. سپس میدانهای الکترومغناطیسی در هر دامنه با چندقطبی‌ها درون یا بیرون دامنه، بسط داده می‌شوند. با اعمال شرایط مرزی روی مرزهای میان دامنه‌ها ضرایب بسط‌ها محاسبه می‌شود و کمیات فیزیکی را می‌توان با این ضرایب محاسبه می‌گردد [۲۲]. شبیه‌سازی برای هر طول‌موج به صورت مجزا انجام شده است.

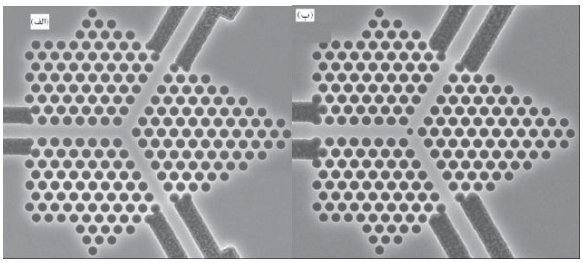
۴- محاسبات و بررسی نتایج

بره در برشی عمودی ساختاری چندلایه دارد: لایه‌ی هدایت InPGaAs با ضخامت ۴۳۴ نانومتر است، که بین دو لایهٔ ۲۰۰ نانومتری InP احاطه شده است. به منظور داشتن گاف نوار ممنوعه پهن، در طول موج اعمالی ۱۵۵۰ نانومتر و فاکتور پرشدگی ۳۴٪ انتخاب شده است. ساختار نواری با استفاده از روش بسط موج تخت محاسبه شده است (شکل ۱).

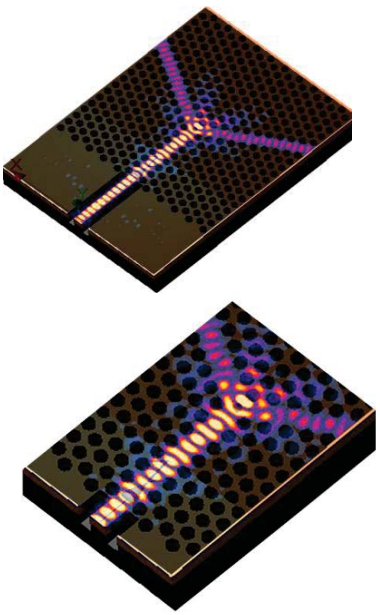


شکل (۲): بهینه‌سازی جداکننده توان با تغییر در اندازه حفره‌ها و تغییر ضریب گذردهی حفره‌ها

به منظور اندازه‌گیری میزان عبور در هر شاخه جداکننده توان از لیزری با توان جداسازی ۱pm در گسترهٔ ۱۶۳۰nm-۱۴۶۵ استفاده شده است. توان خروجی لیزر حدود ۱۳dBm که با سرعت ۵۰nm/s گستره‌ی طول موج را پوشش می‌دهد. برای اندازه‌گیری توان خروجی از توان‌سنجی با آشکارسازی با اندازهٔ دهانهٔ ۵mm و جنس GaAs استفاده شده است. حساسیت طول موجی توان‌سنج در گستره‌ی ۱۶۰۰-۸۰۰nm است [۵]. برای ساخت موجبر در آزمایشگاه از روش Endfire استفاده شده است، برای اطلاعات بیشتر از این روش به مرجع [۸] مراجعه نمایید. به منظور اندازه‌گیری میزان عبور از موجبر بلور فوتونیک در آزمایشگاه از تکنیک End-fire (EF) در گروه فوتونیک مخابراتی دانشگاه ETH استفاده شده است[۱۵]. در آزمایشگاه از منبع نوری با دو لیزر همدوس استفاده شده است. این دو لیزر در گستره‌ی طول‌موجی ۱۶۳۰ nm-۱۴۷۰ کار می‌کنند. تار نوری متمرکز شده به موجبر جفت شده است و لیزرها نور را با قطبش TE به موجبر تزریق می‌کنند. بعد از انتشار نور از میان موجبر، سیگنال در خارج از موجبر به روش میکروسکوپی گردآوری و با توان‌سنج اندازه-گیری شده است. فاکتور پرشدگی موجبر توسط دستگاه SEM[۵] اندازه-گیری شده و در حدود ۳۴/۸٪ تعیین شده است[۱۵]. ابتدا موجبر قبل و بعد از بهینه‌سازی شبیه‌سازی می‌گردد(شکل ۱). پروفایل موج عبوری میدان H_z از موجبر در شکل ۳ قابل مشاهده است. تصویر SEM موجبر جداکننده توان که در دانشگاه ETH بهینه‌سازی و ساخته شده است، در شکل ۲ نشان داده شده است [۹]. میدان H_Z موج هدایت شده در موجبر جداکننده توان بلور فوتونیک غیربهینه و بهینه در شکل ۴ آورده شده است، که تداخل‌ها در جداکننده غیربهینه به وضوح مشخص است. توان عبور جداکننده توان بلور فوتونیک بهینه در هر شاخه ۴۴٪ می شود، در حالی که در جداکننده توان بلور فوتونیک غیربهینه در هر شاخه ۲۸٪ است (شکل‌های ۵،۶).



شکل (۳): الف) تصویر SEM موجبر جداکننده توان بلور فوتونیک غیربهینه ب) تصویر SEM موجبر جداکننده توان بلور فوتونیک بهینه



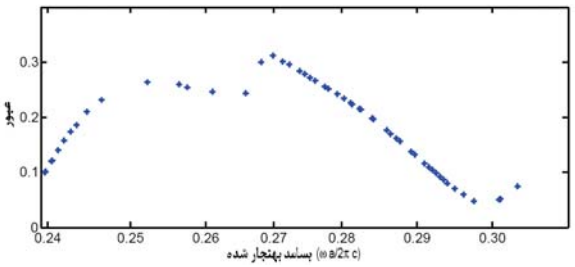
شکل (۴): میدان HZ موج هدایت شده در موجبر جداکننده توان بلور فوتونیک (چپ) غیربهینه و (راست) بهینه

در روش FDTD ابعاد شبکهٔ مربعی، ۴۳/۵nm می‌باشد. ناحیه‌ی شبیه‌سازی در فضای محاسباتی۲۰۰×۳۵۰ سلول می‌باشد و تعداد لایه‌های CPML برابر ۲۴ انتخاب شده است. چشمه موجبر در وسط

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.4.7.7]

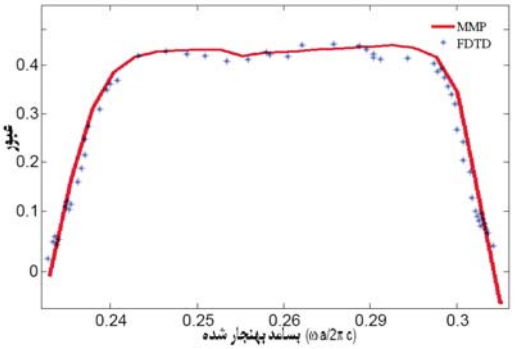
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.13- No.4- Winter 2016

ورودی موجبر اصلی قرار گرفته است و پایین‌ترین مد TE تولید شده است. شبیه‌سازی برای ۴۰۰۰۰ بازهٔ زمانی با کامپیوتر شخصی در زمان حدود ۵ ساعت انجام شده است.



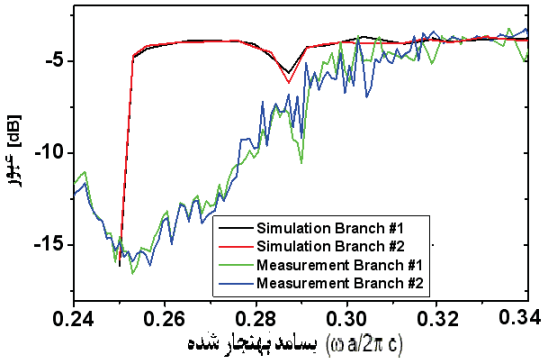
شکل (۵): میزان پرتو منتشر شده در هر شاخهٔ جداکننده توان غیربهینه با روش FDTD

به منظور جفت شدن نور با موجبر بلور فوتونی، از موجبر مدلسازی شده به عنوان تار نوری استفاده می‌شود(شکل ۳). چندین آشکارساز شار توان در ابتدا و انتهای ساختار متصل شده‌اند تا انتشار نور را ثبت کنند. لایه‌های CPML شامل ۸ لایه با میزان انعکاس $1e^{-6}$ می‌باشند. پهنای نوار عبور در محدوده‌ی ۰/۲۹ - ۰/۲۷ و قله‌ی مشخصه آن در بسامد حدود ۰/۲۵۴ می‌توان مشاهده کرد. در شبیه‌سازی دوبعدی از ضریب گذردهی موثر و حفره‌های نامعین استفاده شده است. در ساختار سه بعدی عمق حفره‌ها حدود ۳ µm در نظر گرفته می‌شود، همان گونه که در ساختار واقعی در آزمایشگاه وجود دارد.



شکل (۶): میزان پرتو منتشر شده در هر شاخهٔ جداکننده توان بهینه با دو روش FDTD و MMP

مطابق شکل ۷، نتایج شبیه‌سازی با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی توافق خوبی دارند. هر دو نشان می‌دهد توان موج عبوری در هر شاخه یکسان است. پهنای نوار عبوری، ناحیهٔ بسامدی بهنجارشده در آزمایشگاه و شبیه‌سازی تقریبا مساوی را نشان می‌دهد. همچنین در بسامدهای کمتر افت توان در اندازه‌گیری قابل مشاهده است که به دلیل نشت در وسیلهٔ ساخته شده می‌باشد. جابجایی طیف در حدود ۰/۲ بین نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی قابل مشاهده است. این جابجایی به دلیل میزان تغییرات ایجاد شده از قبیل تغییر فاکتور پرشدگی یا تناوب بلور فوتونیک در هنگام ساخت می‌باشد. به دلیل این که بره بلور فوتونیک دوبعدی محدود جایگزیدگی نور کاملی را ایجاد نمی‌کند، در این دی‌الکتریک نشت مشاهده می‌گردد. میزان اتلاف اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه برای این وسیله حدود ۱۰dB می‌باشد. با مقایسه نتایج حاضر با مرجع [۲۳] جداکننده توان طراحی شده کوچکتر می‌باشد و توانسته است مشکل ابعاد بزرگ ساختارهای پیش از این را حل نماید.



شکل (۷): طیف عبوری از دو شاخه جداکننده توان با شبیه‌سازی و نتایج آزمایشگاهی

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، جداکننده توان بلور فوتونیک را طراحی و بهینه‌سازی نموده‌ایم و در آزمایشگاه دانشگاه ETH ساخته شده است. از دو روش FDTD و MMP برای شبیه‌سازی انتشار پرتو نور در جداکننده توان بلور فوتونیک استفاده کرده‌ایم. هر دو روش توافق خوبی با یکدیگر دارند و نتایج آزمایشگاهی را تایید می‌کنند. در این جداکننده توان بلور فوتونیک بهینه با قرار دادن حفره در محل اتصال به میزان عبور بالایی در حدود ۴۴/۴٪ در هر شاخه رسیده‌ایم. نتایج محاسبات نشانگر این است که می‌توان قبل از ساخت قطعه بلور فوتونیک آن را شبیه‌سازی و با تغییر پارامترهای مختلف ساختار مورد مطالعه، طرح بهینه را بدست آورد.

سپاسگزاری

این کار با پشتیبانی معاونت پژوهشی دانشگاه خلیج فارس انجام شده است. همچنین از همکاری دکتر ارنی و دکتر روشر برای داده‌های آزمایشگاهی صمیمانه تشکر می‌کنیم.

مراجع

[۱] جوناپلوس، جان، مید، رابرت د.، وین، جوشا ن.، **بلورهای فوتونیک قالبی برای شارش نور**، ترجمهٔ زرگرشوشتری، مرتضی، جلالی، تهمینه، مؤسسه انتشارات دانشگاه شهید چمران ، ۱۳۸۶.

[2] Manolatou, C., Johnson, S. G., Fan, S., Villeneuve, P. R., Haus, H. A., Joannopoulos, J. D., "High-density integrated optics J. Lightwave Technol., 17, 1999.

[3] Mekis, A., Chen, J. C., Kurland, I., Fan, S., Villeneuve, P. R., and Joannopoulos, J. D., "High transmission

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.4.7.7]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.13- No.4-Winter 2016

through sharp bends in photonic crystal waveguides," Phys. Rev. Lett, 77, 1996.

[4] Schulz, S. A., O'Faolain, L., Beggs, D. M., White, T. P., Melloni, A. and Krauss, T. F., "Dispersion-engineered slow light in photonic crystals: A comparison," J. Opt. 12(10), 2010.

[5] Hong-Wei, L. and Qiang, K., "Light Extraction Enhancement of GaN LED with a Two-Dimensional Photonic Crystal Slab," CHIN. PHYS. LETT, 28, 5, 2011.

[6] Inoue M., Khanikaev A. B. and Baryshev A. V., "Nano-magnetophotonics,", Nanoscale magnetic materials and applications. Springer-Verlag, 2009.

[7] Rauscher, K., Erni, D., Smajic, J. and Hafner, C., "Improved transmission for 60° photonic crystal waveguide bends," Progr. in Electromagne. Research Symp. 43, 25, 2004.

[8] T. Jalali, A. Mohammadi, "Photonic Crystal Simulation by FDTD Method", Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers, (Accepted 2012).

[9] Strasser, P., Stark, G., Robin, F., Erni, D., Rauscher, K., Wüest, R. and Jäckel, H., "Optimization of a 60° waveguide bend in InP-based 2D planar photonic crystals", J. Opt. Soc. Am. B, 25(1), 2008.

[10] Ferrini, R., Houdre D. and Qui M., "Radiation losses in planar photonic crystals: two-dimensional representation of hole depth and shape by an imaginary dielectric constant" J. Opt. Soc. Am. B, 20(3),469-478(2003).

[11] S. Boscolo, M. Midrio, T.F. Krauss, "Y junctions in photonic crystal channel waveguides: high transmission and impedance matching," Opt. Lett. 27, 1001-1003(2002).

[12] Sh. Feng, W. Wang and Y. Wang, "Unidirectional Light Beam Splitter Based on the Square-Lattice Photonic Crystal Heterojunctions," Jpn. J. Appl. Phys. 51, 112001(2012).

[13] Yu Hou, F. Fan, X.-H. Wang, Sh.-J. Chang, "Terahertz power splitter based on ferrite photonic crystal," Optik, 124(22), 5285–5288(2013).

[14] M. Khatibi Moghaddam, M. M. Mirsalehi, A. R. Attari, "Slow light transmission in a photonic crystal power splitter with parallel outputs," Phot. Nano. Fund. Appl., 12(1), 75–82(2014).

[15] A. Ghaffari, M. Djavid, F. Monifi and M. S. Abrishamian, "Photonic crystal power splitter and wavelength multi/demultiplexer based on directional coupling," J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 10, 075203(2008).

[16] M. Djavid, A. Ghaffari, F. Monifi, and M. S. Abrishamian, "Photonic crystal power dividers using L-shaped bend based on ring resonators," J. Opt. Soc. Am. B 25, 1231-1235 (2008).

[17] S. Boscolo, M. Midrio, C.G. Someda, "Coupling and decoupling of electromagnetic waves in parallel 2D photonic crystal waveguides," IEEE J. Quantum Electron. 38 (1), 47-53(2002).

[۱۸] تهمینه جلالی، " مدلسازی بره بلور فوتونیک سه بعدی با ثابت گذردهی موثر،" کنفرانس ماده چگال ایران، شیراز، ۱۳۸۹.

[19] Mohammadi, A., Nadgaran, H. and Agio, M., "Contour-path effective permittivities for the two-dimensional finite-difference time-domain method," Opt. Express 13, 2005.

[20] Jalali, T., Rauscher, K., Mohammadi, A., Erni, D., Hafner, C., Baechtold, W., Shoushtari, M.Z., "Efficient effective permittivity treatment for the 2D-FDTD simulation of photonic crystals", J. Comput. Theor. Nanosci. 4(3), 2007.

[21] A.Taflove, S. Hagness, "Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method," Artech House, Norwood, MA (2005).

[22] Ch. Hafner, Post-modern Electromagnetics, John Wiley & Sons, Chichester (1999).

[23] Rajat Dey, "Optical Power Splitting Techniques Using Photonic Crystal Line Defect Waveguides," Ph.D Thesis, The University of Western Ontario, London, Canada, (2011).

زیرنویس‌ها

[1] Finite Difference Time domain
[2] Transverse Electric
[3] Perfectly Matched Layer
[4] Convolutional Perfectly Matched Layer
[5] Scanning Electron Microscope

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1395.13.4.7.7]