

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



مطالعه تزویج نوری تنظیم پذیر حرارتی مابین موجبر نیمهرسانای بلور فوتونی و بلور فوتونی مدرج دو بعدی

سمیه اسکویی عبدل'؛ جمال بروستانی'

^۱ گروه فیزیک حالت جامد و الکترونیک، دانشکده فیزیک دانشگاه تبریز ، تبریز

در این کار، تزویج نوری موجبر بلور فوتونی نیمهرسانا با بلورفوتونی مدرج دارای تغییرات تدریجی ثابت شبکه را بررسی میکنیم. با استفاده از روش محاسباتی تفاضلات متناهی در حوزهی زمان بازده تزویج را در دماهای مختلف یک نیمرسانای ذاتی بدست میآوریم. موجبر بلور فوتونی از جایگزین کردن تک میلهی آلومینا به ایندیم آنتیموان ساخته شده است. محاسبات تنظیم پذیری حرارتی مناسبی را در بازده تزویج نشان میدهد و با افزایش دما، بازده بهبود می یابد.

كليد واژه- بلور فوتونى، بلور فوتونى مدرج، تزويجگر، روش تفاضلات محدود در بازهى زمانى، موجبر بلور فوتونى.

The study of thermal tunable coupling between a semiconducting photonic crystal waveguide and graded index photonic crystal

Somayeh Oskooi¹; Jamal Barvestani¹

¹ Department of solid state physics & electronic, Faculty of Physics, University of Tabriz, Tabriz

In this work, we study the light coupling between semiconducting photonic crystal waveguide and graded index photonic crystal. Using the finite difference time domain method, we evaluate the coupling efficiency at various temperatures for an intrinsic semiconductor. Photonic crystal waveguide is constructed by replacing one row of alumina rods by InSb rods. Calculation shows a proper thermal tunability of coupling efficiency and the efficiency is improved by increasing the temperature.

Keywords: Photonic crystal, graded index photonic crystal, Coupler, Finite Difference Time Domain, Photonic crystal Waveguide

۱– مقدمه

در سالهای اخیر بلورهای فوتونی به خاطر خواص جالبشان در کنترل انتشار نور در مقیاس طول موج، بسیار مورد توجه بوده است[۱]. موجبرهای بلور فوتونی(PCW)، که از ایجاد یک نقص خطی در بلور فوتونی بدست میآید، از اهمیت زیادی در مدارات مجتمع فوتونی برخوردار است. یکی از مشکلات اصلی در این راستا، عدم تـزویج مناسـب بین مد خروجی سایر مدارات و موجبر بلور فوتونی می-باشد که مربوط به تفاوت مقياس آنهاست. بنابراين دستیابی به تلفات پایین تزویج چالش بزرگی در بحث بلور فوتونی میباشد. میتوان با استفاده از ترویج گرهای بلور فوتونی مدرج بازده تزویج را تا حدی بهبود بخشید. چندین ساختارهای بلور فوتونی مدرج (^۲GRIN PC) جهت تحقق تزویج در سالهای پیش ارائه شده از جمله: بلور فوتونى مدرج داراى تغييرات تدريجي ضريب شکست[۲]، بلور فوتونی مدرج دارای تغییرات تدریجی شعاع [٣]. اما ساخت بلور فوتوني مدرج با تغيير شعاع میلهها به دقت زیاد و با تغییر ضریب شکست به مواد بیشتری نیاز خواهد داشت. در این مطالعه شعاع و ضریب شکست ثابت میباشد و ثابت شبکه به طور تدریجی تغییر مى كند. با استفاده از اين تزويج كر، تزويج ميان امواج نور و موجبر بلور فوتونى نيمهرسانا را در تغييرات دمايي مطالعه خواهيم کرد.

۲- روش محاسبات شبیهسازی

تفاضل متناهی در حوزه زمان که به صورت خلاصه از آن با نام FDTD یاد می کنند، روش مورد استفاده در این کار میباشد. الگوریتم تفاضل متناهی در حوزه زمان اولین بار توسط یی^۳ در سال ۱۹۶۶ ایجاد شد. در روش FDTD که روش پیادهسازی شده در این پروژه میباشد، ساختار مورد نظر به شبکهای مربعی تقسیم بندی شده و تقریب

⁴ Finite Difference Time Domain

پلهای برای پارامترهای محیط در نظر گرفته می شود. همچنین میدانهای الکترومغناطیسی گسسته سازی شده و معادلات ماکسول با تقریب تفاضلی آنها جایگزین و میدانهای الکترومغناطیسی در طول زمان محاسبه می-شوند. این روش به صورت شرطی پایدار است و عموماً مشکل همگرایی ندارد. این روش نیاز به منابع محاسباتی و حافظهی بالایی مخصوصاً در سه بعد دارد.

مهم ترین نکته در این روش, شبیه سازی انتشار امواج در فضای سلول محاسباتی به فضای بینهایت برای نزدیک شدن حل عددی به واقعیت فیزیکی مسأله است. که در این مورد از شرط مرز جاذب با نام PML استفاده می شود. از سال ۱۹۹۴ فعالیت قابل توجهی در این زمینه به وجود آمده است که این امر مدیون کار اولیه ای است که برنگر در معرفی مواد جاذب بسیار موثر برای شرط مرزی جاذب نموده است .ابتکار برنگر در این است که امواج تخت با هر زاویه تابش و نوع قطبش و فرکانس با این ماده در مرز بیشتری که از تجزیه میدانها به دو مؤلفه به دست می-آید، توانست اینکار را انجام دهد. بنابراین در یک M ایدهآل نباید هیچ موج بازتابیده ای باقی بماند.

۳- شکل ساختار

موجبر بلور فوتونی مورد بررسی در این بخش متشکل از شبکهی مربعی از میلههای آلومینا با ثابت دیالکتریک (٤=٩/۶۱) و شعاع ۲۲۵ در زمینه ی هوا با ثابت دی-الکتریک (ε=۱) می باشد. که ثابت شبکهی آن ε=۳۰μm بوده و شامل ۱۱ لایه در جهت x و ۲۹ لایه در جهت y می باشد. برای ایجاد موجبر یک ردیف از جنس میله ها را به ایندیم آنتیموان تغییر دادهایم. ثابت دیالکتریک نیمه-رساناها با تغییرات دمایی، تغییر میکند. در این بخش از طريق تغييرات دمايي بازده تزويج بين اين موجبر بلور فوتونی و نوری با پهنای ۱۰۵ را بوسیله تزویج گر بلور فوتونی مدرج دارای تغییرات تدریجی ثابت شبکه را مورد بررسی قرار میدهیم. تزویج گر دارای شبکهی مربعی از میلههای آلومینا با ثابت دیالکتریک (٤٩/٦١) و شعاع ۲۲۵/۲۲۵ زمینهی هوا (٤=۱) می باشد. که ثابت شبکهی آن در جهت y دارای تغییرات تدریجی بوده و در جهت x ثابت و برابر a میباشد. این بلور به صورت نمادین در

¹ Photonic Crystal Waveguide

² Graded Index Photonic Crystal

³ Yee

شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می-شود، ثابت شبکه در مرکز ساختار دارای کمترین مقدار (۱/۴۵) و در لبهها دارای بیشترین مقدار (۱/۴۵) است. گام افزایشی ثابت شبکه برابر با ۱/۱۵ در نظر گرفته شده است. این تزویج گر شامل ۷ لایه در جهت x و ۲۸ لایه در جهت y میباشد. همچنین در مرزهای سیستم ۱۲ لایه PML



شکل ۱- تصویری نمادین از ساختار تزویج نـوری متشـکل از PCW و GRIN PC

۴- تئوری

جهت مطالعهی تنظیم پذیری دمایی بازده ترویج، از معادلهی هلمهولتز میدان الکتریکی شروع میکنیم. معادلهی موج میدان الکتریکی به صورت زیر میباشد:

$$\nabla \times [\nabla \times E(\mathbf{r})] = \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 \varepsilon(\omega) \mathbf{E}(\mathbf{r})$$
(1)

در رابطه فوق @ فرکانس ، c سـرعت نـور و (@)ع تـابع دی الکتریک محیط است. تابعیـت (@)ع در رابطـهی زیـر داده میشود[۵].

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_s \left(1 - \frac{\omega_p^2(T)}{\omega^2} \right) \tag{7}$$

در این رابطـه ε_s ضـریب اسـتاتیک و $(m_p(T))$ فرکـانس پلاسمایی میباشد، فرکانس پلاسمایی با توجه به رابطـهی زیر به شدت وابسته به دما میباشد.

$$\omega_p(T) = \left(\frac{N(T)e^2}{\varepsilon_s \varepsilon_0 m^*}\right) \tag{(7)}$$

در اینجا چگالی حاملین ذاتی برای ایندیم آنتیموان به صورت زیر داده می شود [۶]:

$$N(T) = 5.76 * 10^{20} T^{3/2} \exp(-\frac{0.26}{2k_B T})$$
 (f)

e بار الکتریکی الکترونها، $m^* = \cdot/\cdot \lambda m$ جرم مؤثر حاملین آزاد، e_0 گذردهی خلاء، K_B ثابت بولتزمن، T دما در کلوین میباشد. برای ایندیم آنتیموان $\varepsilon_s = \lambda/\gamma$ است.

۵- نتایج شبیهسازی

با استفاده از روش ابر سلول بر مبنای بسط موج تخت، مدهای موجبری در بلور فوتونی دو بعدی با تقارن شبکه مربعی و هندسهی میلههای دایروی را محاسبه کردهایم. فرکانس نرمالیزه ($\frac{\partial a}{2\pi c}$) هرکانس نرمالیزه (ω =۲۲/۳۸THz) فرکانس نقص موجبر بلور فوتونی میباشد. همچنین این مد با استناد به مرجع [۴] پس از این که از داخل سـاختار بلـور فوتونی مدرج عبور میکند، به تدریج حالت جمع شدگی پیدا می کند و کانونی می شود و از طریق موجبر هدایت می شود. یک منبع نور با پالس گاوسی با پهنای ۱۰۵ در سمت چپ تزویج گر قرار دادیم. حال با تغییر دما، می توان فرکانس پلاسمایی و در نتیجه ثابت دیالکتریک نقص خطی را تغییر داد. شایان ذکر است که این تغییرات دمایی در فرکانس تراهرتـز ثابـت دیالکتریـک آلومینـا را تغییر نمیدهد. بنابراین بهجز نقص خطی بقیهی ساختار ضریب دی الکتریک ثابتی خواهند داشت. شکل ۱ نمایشی از اندازهی شدت میدان الکتریکی نور ورودی به ساختار و نور خروجی از موجبر در دماهای مختلف مے،-ىاشد.





شکل ۱- شدت میدان الکتریکی نور ورودی(خطچین قرمـز) و در خروجی موجبر(خـط آبـی) در دماهـای الـف) ۳۳۱ ب) ۳۳۵ ج)۳۳۹ د)۳۴۲/۸۰۵ کلوین



شکل ۳- نمودار توزیع فضایی میدان مربوط به تزویج گـر بلـور فوتـونی مدرج با تغییرات تدریجی ثابت شبکه در دمای۳۴۲/۸۰۵ کلوین

بازده تزویج در حالتهای مختلف در جدول ۱ لیست شده η_2 است(η_1 : نسبت شدت نـور خروجی بـه نـور ورودی، η_2 : شدت نور خروجی در حضور مـوجبر نسـبت بـه حالـت عادی)[۴].



جدول ۱ بازده تزویج در دماهای مختلف

T (K)	$\eta_{1} = \frac{\int Ez ^{2}_{PCW+GRIN}}{\int Ez ^{2}_{GRIN}}$	$\eta_{2} = \frac{\int Ez ^{2} PCW + GRIN(output)}{\int Ez ^{2}_{PCW + GRIN(input)}}$
۳۳۰	•/•42a(dB)	·/.•/۴
۳۳۱	۰/۱۹(dB)	7.1/λ
۳۳۲	•/۵۶(dB)	:/.۵/۴۳
۳۳۳	$\cdot / \lambda \mathcal{F}(dB)$	'.λ/ΨY
۳۳۴	۱/۱۶(dB)	
۳۳۵	۱/۲(dB)	%\\/Y•
۳۳۶	۱/۳۹(dB)	΄. ۱۳/۳λ
۳۳۷	۱/۲۱(dB)	1/18/ ۵ ۳
۳۳۸	۱/۸۲(dB)	%.\V/&۴
۳۳۹	۲/۱۴(dB)	`/.Y • /۶Y
84.	۲/۳۷(dB)	XXXX/X 1
241	۲/۵۳(dB)	X4/F1
242	۲/٧۶(dB)	`/.Y\$/\$•
۳۴۲/۸	۳/۱(dB)	/.٣٠/١

با توجه به نمودار بالا، بیشینهی بازده تزویج برای دمای K[°] ۲۴۲/۸ اتفاق می افتد و در این دما شدت میدان الکتریکی نیز بیشترین مقدار خود را دارد.

۶- نتیجهگیری

تغییرات دمایی تزویج نوری بین یک موجبر نیمرسانای بلور فوتونی و بلور فوتونی مدرج بررسی شد. نتایج نشان می دهد که بازده تزویج در چنین سیستم هایی می تواند بصورت حرارتی بعد از ساخت وسیله تنظیم گردد.

مراجع

- S. John, Strong localization of photons in certain disordered dielectric super-lattices, Phys. Rev. Lett. 58 (1987)
- H. Kurt and D. S. Citrin. A Novel Optical Coupler Design With Graded-Index Photonic Crystals. IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, 19, 19, (2007)
- [3] H. T. Chien, C. C. Chen, Waveguide coupler formed by a Graded Photonic Crystal. JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY (2009)
- [4] A. O. Cakmak, E. Colak, H. Caglayan, H. Kurt, and E. Ozbay. *High efficiency of graded index photonic crystal as an input coupler*. J. Appl. Phys. 105, 10370 (2009)
- [5] P. Halevi, F. Ramos-Mendieta, Phys. Rev. Lett. 85 (9) 1875 (2000).
- [6] H. C. Hung, C. J. Wu, and S. J. Chang, Journal of Appl. Phys., 110, 093110 (2011).