معرفی کلی فیلتر نوری

نویسندگان: صالح کریم پور – s_karimpoor@yahoo.com

آرام قادری – Amde2002@gmail.com

چکیده: فیلترهای اپتیکی دستگاه‌هایی هستند که به‌صورت انتخابی طول‌موج‌های مختلف نور را انتقال می‌دهند. در این مقاله فیلترهای نوری رزونانسی از نوع میکرو کاواک که مبتنی بر کریستال‌های فوتونیکی است موردبررسی قرار می‌دهیم؛ و کاربرد آن را در تشکیل انواع فیلترها را مجزا کرده و از آن‌ها در روش‌های طراحی و ایجاد باند ممنوعه مورداستفاده قرار می‌دهیم.

کلیدواژه: اثر تونل زنی، فیلتر نوری، کاواک رزونانسی، میکرو کاواک.

1- مقدمه

با ظهور بلورهای فوتونی، تحول وسیعی در عرصه و ساخت قطعات نوری در ابعاد نانومتری ایجاد شد که برای کاربردهای مختلف مانند ساختن آینه‌ها، موجبرها، میکرو کاواک‌ها و انواع فیلترها استفاده می‌شود. بلورهای فوتونی متشکل از دو یا چند ماده با ضریب شکست مختلف هستند که به‌صورت متناوب در کنار یکدیگر قرارگرفته‌اند. ساختارهای بلور فوتونی برای استفاده در مدارات مجتمع نیز مطرح می‌شود مزیت ادوات نوری ساخته‌شده بر پایه بلورهای فوتونی، سرعت عملکرد بالا، طول عمر طولانی، ابعاد بسیار کوچک‌تر آن‌ها در مقایسه با ادوات نوری رایج، ضریب کیفیت بالاتر و بازده خروجی مناسب علیرغم کوچک شدن ابعاد است. به‌طور اساسی سه نوع مختلف طول‌موج وجود دارد. نوع تشدید و نوع تزویج عددی و نوع پراش. آن چیزی که به‌تازگی بیشتر موردتوجه قرارگرفته است مطالعات بر روی بازدهی بالا در سرعت‌بالا و حفظ انتشار نور در ساختارهای فوتونی است. کاواک‌ها در بلورهای فوتونی طوری طراحی می‌شوند که فرکانس تشدید آن در داخل باند ممنوعه شبکه که مدهای نوری با ضریب کیفیت بالا را ایجاد می‌کند قرار می‌گیرد. انعطاف‌پذیرترین نوع فیلتر طول‌موج در بلورهای فوتونی فیلترهای نوع تشدید است. نقص نقطه‌ای در بلور فوتونی می‌تواند در نقش یک کاواک کوچک برای ایجاد تشدید یک طول‌موج خاص عمل نماید. برای اینکه یک فرکانس تشدید را هدف قرار دهیم. اندازه نقص باید با دقتی از مرتب نانومتری کنترل شود. به این منظور طراحی نقص‌های تزویج شده از اهمیت بسیار زیادی برخورداراست.

2- فیلترهای نوری رزونانسی

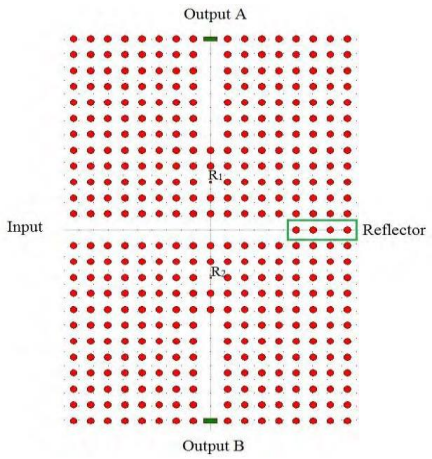
2-1- فیلتر نوری رزونانسی از نوع میکروکاواک

انواع فیلترهای نوری مبتنی بر کریستال‌های فوتونیکی در مقالات علمی ارائه‌شده است. از میان فیلترهای متنوع انتخاب طول‌موج بلورهای فوتونی، فیلتر فرود و فزون با بهره‌گیری از اتصال بین مدهای میکرو کاواک تولیدشده از نقص نقطه‌ای و مدهای موجبر ایجادشده به به‌وسیله نقص خطی بیشترین توجه را به خود جلب نموده‌اند.

می‌توان از ویژگی باند ممنوعه فوتونیکی برای طراحی آیینه‌های نوری و فیلترهای حذف طیف استفاده کرد. با افزودن یک‌لایه نقص در کریستال‌های فوتونیکی تک‌بعدی می‌توان فیلتر نوری باند باریک طراحی کرد. در کریستال‌های فوتونیکی دوبعدی یک روش برای تحقق عمل فیلترینگ استفاده از تشدیدکننده‌های حلقوی است که در این فیلترها عمل گزینش طول‌موج توسط به حلقه تشدیدکننده انجام می‌شود که بین موجبر ورودی و خروجی قرارگرفته است استفاده از کاواک‌های رزونانسی و ساختار شبه متناوب نیز از دیگر مکانیسم‌های رایج در طراحی فیلترهای نوری است. از مزایای این روش می‌توان به مینیاتوری بودن ساختار و ساخت آسان و ساده و کارایی بالای به‌عنوان یک فیلتر اشاره کرد؛ و همچنین بازدهی این ساختار با تغییر موقعیت کاواک‌ها و تغییر شعاع مرکزی میکرو کاواک بهبود بخشید؛ و می‌توان به‌راحتی به یک جز مناسب در استفاده‌های سیستم ارتباط نوری تبدیل شود.

2-2- عملکرد فیلترهای نوری کاواک رزونانسی

فیلترهای تشدید نسبت به انواع دیگر فیلترها ازجمله فیلترهای براگ، فابری‌پرو و گریتینگ موجبرهای آرایه‌ای به دلیل انتخاب طول‌موج کارآمد، قیاس پذیری، فاصله کانالی باریک و انعطاف‌پذیری در مدل‌های طراحی برای مدارات مجتمع فوتونی مفید عنصری ضروری به شمار می‌آید.



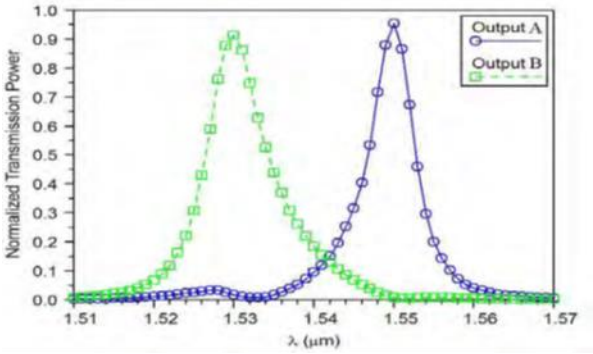
شکل 1 :نمایش ساختار فیلتر با دو خروجی و محل نقص‌ها

همان‌طور که از شکل مشاهده می‌کنیم موجبرهای انتقال و موجبرهای فرود عمود بر هم قرارگرفته‌اند؛ که در دو قسمت موجبر دو تا نقص با اندازه‌های متفاوت قرارگرفته‌اند. در این ساختار برای افزایش بهره توان از دو ایده بهره گرفته‌شده است. همان‌طور از شکل پیداست وجود چهار میله در راستای ادامه موجبر افقی می‌تواند به‌عنوان ی انعکاس‌دهنده خوب عمل نماید تا از تلفات نور جلوگیری کند؛ و مودهای لازم را جهت تشدید در هر کاواک به مسیر اصلی برگرداند. همچنین موقعیت میله کناری اطراف میکرو کاواک‌ها برای افزایش بازده بسیار تأثیرگذار هستند به‌طوری‌که هرچه به مرکز نزدیک‌تر باشد بازده بالاتر است.

2-3- کاربرد کاواک رزونانسی

در مخابرات نوری فیلترهای میان‌گذر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. یک موج نوری ممکن است در اثر انتقال در داخل فیبر نوری در فواصل زیاد به علت پدیده پراش دچار پهن‌شدگی شود که این هم به‌نوبه خود منجر به بروز تداخل میان کانال‌های مجاور می‌شود. لذا از فیلترهای نوری برای رفع پهن‌شدگی موج استفاده می‌شود. دیگر کاربرد فیلترهای نوری در سیستم‌های مالتی پلکس طول‌موج است که در این سیستم‌ها چندین کانال نوری با طول‌موج‌های مختلف درون یک فیبر نوری ارسال می‌شوند و فیلترهای نوری برای جداسازی این کانال‌ها بکار می‌رود. از DWDM و WDM فیلترهای نوری در سیستم‌های نوری اهمیت بالایی برخوردارند.

علاوه بر حذف نویز از کانال، فیلترهای نوری برای جداسازی کانال‌های نوری نیز بکار می‌رود.

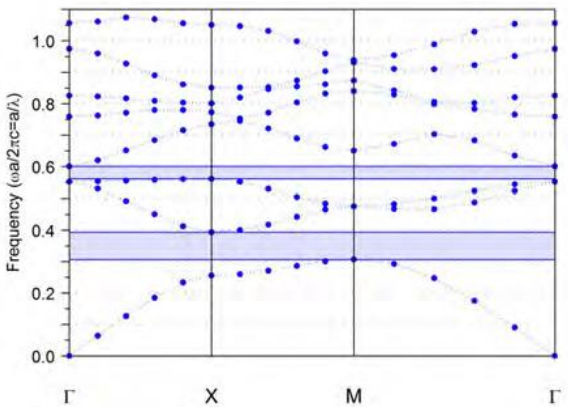


نمودار توان انتقالی ساختار در بازه‌های طول‌موج

2-2- مراحل و روش های مورد استفاده در طراحی

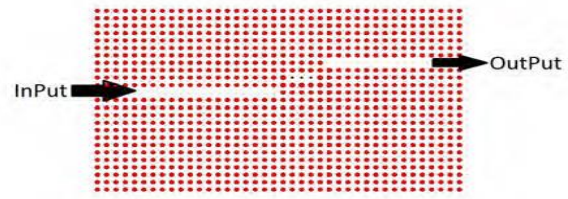
قبل از انجام هر عملی در طراحی فیلتر مبتنی بر کریستال‌های فوتونیکی دوبعدی باید ساختار باند کریستال موردنظر و محدوده باند ممنوعه آن محاسبه و استخراج شود تا مشخص شود که آیا ساختار موردنظر برای طول‌موج کاری ما مناسب می‌باشد یا نه. برای محاسبه ساختار باند و استخراج باند ممنوعه فوتونیکی در حال حاضر بهترین راه استفاده از روش‌های عددی می‌باشد. یکی از این روش‌های عددی روش بسط می‌باشد که معمولاً فرکانس‌های ویژه (PWE) امواج مسطح ساختارهای متناوب را در حوزه فرکانس با حل عددی معادلات ماکسول محاسبه می‌کند با رسم این فرکانس‌های ویژه در یک نمودار دوبعدی برحسب بردارهای شبکه ساختار باند و باند ممنوعه فوتونیکی کریستال فوتونیکی به دست می‌آید.

www.kahrobaonline.ir



شکل 2: ساختار باند فوتونیکی کریستال فوتونیکی بکار رفته برای طراحی فیلتر

در شکل زیر یک نمونه از فیلتر با یک ورودی و یک خروجی با محاسبات اعداد به این صورت در نظر گرفته‌شده است. این فیلتر از 3 قسمت عمده تشکیل‌شده است. یک موجبر ورودی افقی و یک موجبر خروجی افقی که یک بین آن‌ها قرارگرفته است که عمل کاواک رزونانسی فیلترینگ توسط همین کاواک رزونانسی انجام می‌شود. سلول‌های داخل کاواک رزونانسی که در شکل 3 بارنگ سیاه مشخص‌شده‌اند نقش مهمی در طول‌موج خروجی فیلتر دارند. در طراحی اولیه ساختار شعاع این سلول‌ها 50nm در نظر گرفته‌شده است. طیف خروجی فیلتر برای این شعاع در شکل 4 ارائه‌شده است که نشان می‌دهد فیلتر در دارای 1561 خروجی با دامنه 70٪ می‌باشد. طول‌موج 1.2 nm می‌باشد لذا پهنای باند فیلتر در این طول‌موج ضریب کیفیت فیلتر معادل 1300 به دست می‌آید که مقدار قابل قبولی برای فیلترهای نوری مبتنی بر کریستال‌های فوتونیکی دوبعدی است.



شکل 3: ساختار فیلتر دوبعدی

3- فیلترهای نوری بر اساس اثر تونل زنی

این نوع فیلترها افزایش در نرخ انتقال و کاهش فاصله‌ها و کارایی بالا در سیستم‌های مختلف به کار می‌روند. اساس کار برنامه‌های کاربردی مانند WDM و طول‌موج دسترسی چندگانه تقسیم فرکانسی مانند DWDM بوده است.

این نوع فیلتر بر اساس دو پدیده رزونانس و تونل زنی کار می‌کند که می‌توان آن را با گسترش چندجمله‌ای از میدان الکترومغناطیسی قرارداد؛ که دارای ساختار لایه‌لایه با همان شیوه که تونل زنی برای ذرات کوانتومی رخ می‌دهد عمل می‌کند.

مکانیسم تونل زنی فوتونیک با تغییر لایه ضخامت مشخصات ضریب شکست برای فوتون‌های ناپایدار می‌توان فازهای خطی متنوعی را ایجاد کرد. یکی از ویژگی‌های مهم موردنیاز داشتن تأخیر زمانی ثابت و بدون پراکندگی است .

مراجع

[1] Busch, K, Zolkes, S, Wehrspohn, R.B, Foll, H, Photonic Crystal, Advances in Design, Fabrication and Caracterization, WILEY-VCH Verlag GmbhH & Co. kGaA, Weinheim, 2004.

[2] Ahmadi, E, Photonic crystal cavity quantum optic in the very strong coupling regim, MSc Thesis, Aug, 2010.

[3] Imada, M. Noda, S. Chutinan, A. Mochizuki, M. and Tanaka, T. Channel drop filter using a single defect in a 2-D photonic crystal slab waveguide, J. Lightwave Technol. vol. 20, no. 5, pp. 873–878, 2002.

[4] Wu, Yaw-Dong, Shih, Tien-Tsorng, Lee, Jian-Jang, Chen, Mao-Hsiung, and Kao, Hung-Fu, Optical Channel Drop Filter Based on Two-Dimensional Photonic Crystals, IEEE, OFC NFOEC, 2009.

[5] K. Sakoda, “Optical Properties of Photonic Crystals” Springer-Verlag, Berlin, (2001).

[6] Robinson,S,Nakkeeran,R,Investigation on dimensional photonic crystal resonant cavity based bandpass filter, Optik - Int. J. Light Electron Opt, (2012).

[7] M. Djavid, and M. S. Abrishamian, “Multi-channel drop filters using photonic crystal ring resonators”, Optik, Vol. 123, No. 2, pp. 167-170, 2011.

[8] Lin M and Xu J Narrow pass-band and narrow transmissionangle filter by photonic heterostructures containing negative index materials IEEE ICMMT Proceedings, pp. 1662-1664, 2010.

[9] R. Slavík and S. LaRochelle, “Large-Band Periodic Filters for DWDM Using Multiple- Superimposed Fiber Bragg Gratings,” IEEE Photonics Tech. Lett. Vol. 14, pp.1704-1706, 2002.

[10] M. Chamanzar, K. Mehrany, B. Rashidian, “Legendre Polynomial Expansion for Analysis of Linear One-dimensional Inhomogeneous Optical Structures and Photonic Crystals,” J. Opt. Soc. Am. B. Vol. 23, No. 5, 2006.

[11] G. Lenz, B. J. Eggleton, C. R. Giles, C. K. Madsen, and R. E. Slusher, “Dispersive Properties of Optical Filters for WDM Systems,” IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 34, pp.1390-1402, 1998