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

طراحی و مدل سازی بلور فوتونی چند پاره به عنوان فیلترهای چندگانه

زهرا سادات عزیزی[۱]، سیده مهری حمیدی[۱] و محمد مهدی طهرانچی[۱و۲]

[۱] پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، ولنجک، تهران

۲ گروه فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، ولنجک ، تهران

چکیده - بلورهای فوتونی با مد تشدیدی، در ساخت فیلترهای نوری اهمیت بالایی دارند. طرح‌های بسیار برای بیشتر کردن ناحیه‌ی ممنوعه و مد تشدیدی با پهنای طول موجی مناسب در بلور فوتونی ارائه شده است. در همین راستا از ساختارهای بلوری چند پاره برای ایجاد مدهای تشدید استفاده می‌شود. برای بالابردن کارایی، دو ساختار با حداقل تعداد لایه، طراحی شده که هرکدام دارای دو مد تشدید در حالت تابشی میدان الکتریکی عرضی یا طولی هستند. قابلیت این طرح، امکان تنظیم فاصله و جایگاه مدهای تشدید قبل از ساخت بوسیله‌ی تغییر کمیت‌های موثر و بعد از ساخت با تغییر زاویه‌ی تابش است.

کلید واژه- بلور فوتونی یک بعدی، بلور فوتونی چند پاره، نوار ممنوعه، فیلتر.

The design and modeling of photonic crystal heterostructures as the multi-channel filter

Zahra sadat Azizi[1], Seyedeh Mehri Hamidi[1] and Mohammad Mehdi Tehranchi[1,2]
[1]Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran
[2]Depatrment of Physics, Shahid Beheshti University, Tehran

Abstract- Now days there is an interesting to producing narrow band pass filters by use of photonic crystals (PCs). There is two kinds of categories for PCs based on their radiant mode. Many plans for expansion and the restricted area to narrow wavelength photonic crystal bandwidth resonance mode are presented. To this end, we used the heterostructures PCs to create resonant modes. This design feature is the narrow width of the resonant modes, and you can adjust the distance and position of the resonant modes before and after construction of the building by changing the parameters of the emission angle of incident light.

Keywords: Keywords: 1D-Photonic crystal, Photonic crystal heterostructur, Photonic band gape, Filter.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، طراحی و ساخت فیلترهای نوری بر پایه‌ی بلورهای فوتونی مورد توجه فراوان قرار گرفته است[1]. بلور فوتونی از ساختاری منظم در یک، دو و یا سه بعد فضایی در ابعاد طول موج نور (چند صد نانو متری) تشکیل شده‌اند. به خوبی می‌دانیم که برای هر یک از این ساختارهای متناوب یک نوار انرژی تعریف می‌شود. انتشار نور شدیداً تحت تاثیر شکل نوار انرژی آن‌هاست. در گاف نوار فوتونی[1](PBG) انتشار نور غیر ممکن است. با ایجاد یک لایه نقص در ساختار بلور فوتونی می‌توان یک مد نقص یا مد تشدید در داخل گاف ایجاد کرد[2]. به علاوه روش دیگر برای تولید مد یا مدهای تشدیدی، در کنار هم گذاشتن چند بلور فوتونی متفاوت برای طراحی یک ساختار بلوری چند پاره است [3; 4]. از این خاصیت می‌توان در ساخت فیلتر های نوری استفاده کرد.

از سوی دیگر در تابش مایل نسبت به صفحه‌ی فرودی، میزان عبور دو مد تابشی TM و TE برخلاف تابش عمودی، که به دلیل یکسان بودن شرایط مرزی در معادلات ماکسول تبهگن است، متمایز است. بنابراین در بررسی خاصیت فیلتری یک ساختار هر دو مد تابشی را باید بررسی نمود. از آنجا که مطالعات زیادی در طراحی بلورهای فوتونی تک بعدی انجام شده، و از طرف دیگر ساخت این بلورها ساده‌تر از سایر بلورهای فوتونی است، در این مقاله، این دسته از بلورهای فوتونی را انتخاب کرده‌ایم. برای بالابردن کارایی قطعه‌ی ساخته شده، طرحی ارائه کردیم که در آن علاوه بر گستردگی بالای ناحیه‌ی ممنوعه، چندین مد تشدیدی با فاصله‌ی مناسب و عرض عبوری باریک داشته باشیم. در ادامه کمیتهایی که با تنظیم آنها امکان دسترسی به مدهای تشدید متفاوت با فاصله‌ی قابل تنظیم بین آنها برای حالت تابشی TE معرفی می‌شوند.

۲- طراحی بلور فوتونی با بیش از یک مد تشدید در نوار ممنوعه

یکی از مهمترین مشخصه های یک بلور فوتونی که مستقیما بر روی عملکرد و گاف نواری آن اثر می‌گذارد، چیدمان و تعداد، لایه‌هایی است که در کنار هم قرار می‌گیرند. ابتدا چیدمان طراحی شده برای داشتن یک گاف نواری با دو مد تشدید در میانه‌ی آن در مد تابشی TE شرح داده می‌شود. سپس چیدمانی که در گاف نواری خود دو مد تشدید در مد تابشی TM دارد را معرفی می‌کنیم.

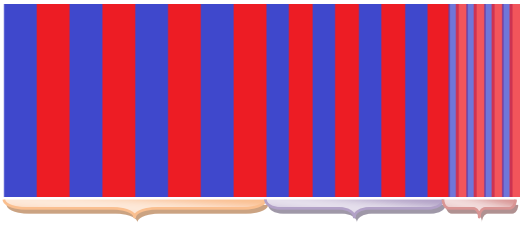
همواره با داشتن یک لایه‌ی نقص در میان یک بلور فوتونی، می‌توان در گاف نواری آن یک مد نقص را تولید کرد. و به همین ترتیب با تکرار این لایه‌ی نقص می‌توان به تعداد مدهای تشدیدی بیشتر دست یافت. روش دیگر ایجاد مد نقص، تغییر ثابت‌های شبکه بلوری (ضخامت عناصر سلول واحد) از میانه ساختار است که به این چینش نو، بلور فوتونی چند پاره[2] می‌گویند. به عبارت دیگر در این جا با در کنار هم قرار دادن چند زیر ساختار در بلور فوتونی، یک مد تشدیدی در داخل ناحیه‌ی ممنوعه ایجاد می‌کنیم. ساختمان بلور فوتونی از کنار هم قرار گرفتن دو یا چند ساختار یک بعدی بلوری مشابه تشکیل شده است. وجود حداقل یک نقطه‌ی برخورد[3] بین لبه‌های نوار ممنوعه‌ی هریک از زیر ساختارها شرط لازم برای بدست آوردن این خاصیت از بلورهای چندپاره است. برای دستیابی به کاربری های بیشتر سازه، داشتن تعداد مدهای تشدید بیشتر مطلوب است. پیشنهادی که برای تولید این مدها در این مقاله ارائه کردیم، افزایش تعداد زیر ساختار ها با نسبت خاص است. هر یک از بلورهای فوتونی دارای مشخصاتی مشابه هستند؛ با این تفاوت که لایه هایی که در هر سلول واحد در زیر ساختار دوم است دارای طول اپتیکی کاهش یافته با ضریب f است و به همین ترتیب لایه‌ی سوم رابطه‌ای مشابه با لایه‌ی دوم دارد.

[1] Photonic band gap

[2] heterostructure

[3] Crossing point

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]



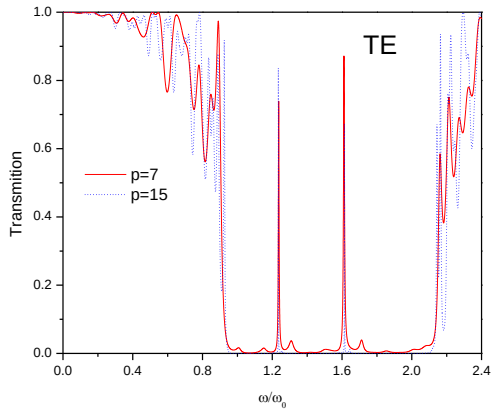
شکل ۱. شماتیک ساختار سه بخشی بلور فوتونی چند پاره با دو مد تشدید.

از کنارهم قرار گرفتن این زیرساختارها یک ساختار چند پاره (شکل ۱) از بلور فوتونی بدست می‌آید.

در این مقاله طیف عبوری را با استفاده از مدل متداول ماتریس انتقال[۴] [5] محاسبه کردیم. نمودار مد TE طیف عبوری از ساختاری با ضرایب شکست $n_1 = 1.5$ و $n_2 = 2.5$، ضخامت اپتیکی $n_1 d_1 = n_2 d_2 = 0.25\lambda_0$، ثابت دی‌الکتریک $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1.5$، تعداد تکرار سلول واحد هرکدام از زیر ساختارها $p = 15$ و با ضریب کاهشی $f = 0.7623$ بررسی شده است. در اینجا، زیرساختار سوم بلور فوتونی را، با همین نسبت طولی در کنار زیر ساختار دوم قرار دادیم.

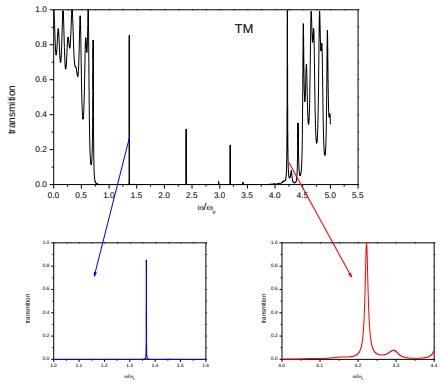
در شکل ۲ نمودار طیف عبوری برای حالت تابش TE را برای ساختار فوق الذکر رسم کرده‌ایم. در این شکل، زاویه‌ی فرود را ۴۵ درجه اختیار کردیم. در این طیف دو مد تشدید بسیار باریک در فرکانس‌های $\omega_{r1} = 1.2349\omega_0$ و با پهنای $0.0021\omega_0$ دیگری در $\omega_{r2} = 1.6115\omega_0$ و پهنای $0.0094\omega_0$ در فاصله‌ی $\Delta\omega_r = 0.3766\omega_0$ از یکدیگر داریم. برای اجرای ساده تر طرح در زمان ساخت آن، محاسبات را برای تعداد لایه های کمتر ($p = 7$) برای هر زیر ساختار تکرار کردیم. نتایج بدست آمده، نشان می‌دهد با داشتن لایه‌های کمتر از نظر تئوری، تغییرات چندانی در نتایج وجود ندارد؛ در این حالت نیز طیف دو مد تشدید بسیار باریک در فرکانس‌های $\omega_{r1} = 1.2373\omega_0$ با پهنای $0.0026\omega_0$ و دیگری در $\omega_{r2} = 1.6141\omega_0$ با پهنای $0.0020\omega_0$ در فاصله‌ی $\Delta\omega_r = 0.3767\omega_0$ از یکدیگر داریم.

[۴] Transmission matrix method



شکل ۲. نمودار طیف عبوری مدTE بلور فوتونی شکل ۱.

طراحی فیلتر حالت تابشی TM مشابه روش قبل انجام می‌شود. از آنجایی که نوار ممنوعه‌ی این نوع باریکتر است، برای داشتن دو مد تشدید در حالت TM باید از لایه‌های مغناطیسی استفاده نماییم. پارامترهای ساختاری دو زیر بلور فوتونی به این ترتیب هستند: در زیر ساختار اول طول اپتیکی $n_1 d_1 = n_2 d_2 = 0.25\lambda_0$، $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1.5$، $n_1 = 3.5, n_2 = 1.46$ و $p = 5$ و برای زیر ساختار دوم $n_3 d_3 = n_4 d_4 = 0.1424\lambda_0$، $\varepsilon_3 = 2.25, \varepsilon_4 = 1$، در حالی که $n_3 = 1.5, n_4 = 1.8$ و $p = 15$ را درنظر گرفتیم. تا اینجا از چهار ماده‌ی متفاوت در هر زیر ساختار استفاده کردیم. زیر ساختار سوم را با ضریب کاهشی $f = 0.6172$ و با $p = 5$ مشابه زیر ساختار دوم قرار می‌دهیم. نمودار طیف عبوری این آرایش در شکل ۳ نمایش داده شده است. در شکل ۳ ناحیه‌ی ممنوعه‌ی بزرگ دو مد تشدید با ضریب عبور بالا و پهنای بسیار کم در آن بدست آمده است.



شکل۳. نمودار مد TM طیف عبوری از بلور فوتونی چند پاره.

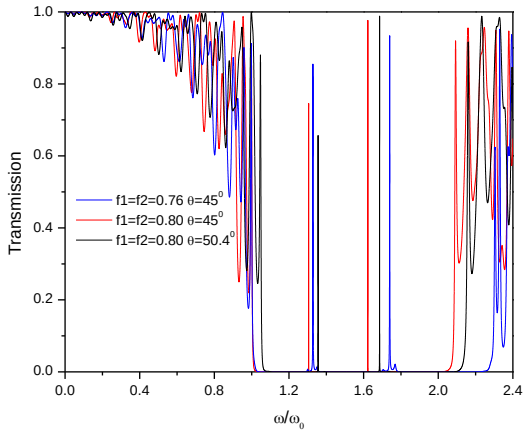
با تغییر ضرایب شکست لایه‌ها، تعداد دوره‌ی تناوب هر زیر ساختار و تغییر ضریب کاهشی، می‌توان پهنای گاف

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]

نواری و جایگاه مدهای تشدید نسبت به یکدیگر را تنظیم نمود.

۳- کوک پذیری ساختار

طیف عبوری مد تابش TE را برای زوایای مختلف و در ضرایب کاهشی متغیر بررسی کردیم. که به ازای تغییرات بسیار کوچک این ضرایب می‌توان مدهای تشدیدی متفاوت را بدون برهم ریختگی‌های ناخواسته در طیف عبوری، با فواصل گوناگون نسبت به هم ایجاد نمود. در شکل ۴، سه مقدار مختلف در زاویه‌ی فرودی و ضریب کاهشی رسم شده است.



شکل ۴. تغییرات مد تشدید به ازای ضریب کاهشی و زاویه.

در زاویه‌ی ۴۵ درجه با افزایش ضریب کاهشی، فاصله‌ی دو مد تشدید از $0.4107\omega_0$ کاهش یافته و به $0.3188\omega_0$ رسیده؛ و هر دو به سمت طول موج‌های کمتر جا به‌جا شده اند. اثر تغییر زاویه در دو نمودار قرمز و مشکی برای یک مقدار از ضریب کاهشی نشان داده شده است؛ در این دو با افزایش زاویه، فاصله‌ی دو مد تشدید افزایش یافته و دو مد تشدید به سمت طول موج‌های بلندتر جا به جا شده اند.

۴- نتیجه‌گیری

بنابراین با این طراحی در بلور فوتونی چند پاره، می‌توان با تغییر نسبت ابعاد زیر ساختارها نسبت به یکدیگر قبل از ساخت و با تغییر زاویه‌ی فرودی بعد از ساخت قطعه، دو مد تشدیدی به وجود آمده، را در مکان دلخواه تنظیم نمود. این مهم در طراحی و ساخت فیلترهای چند منظوره سازنده خواهد بود.

مراجع

[1] P, Lodaht. *Controlling the dynamic of spontaneous emission from quantum dot by photonic crystals*. Nature 430 654, 2004.

[2] Qin Q, Lu H and zhu S N. *Resonance transmission modes in dual-periodical dielectric multilayer films.* Appl.phys.Lett.82 4654, 2003.

[3] G.Q.Liang, P.Han, H.Z. Wang. *Narrrow frequency & sharp angular defect mode in one-dimensional from a photonic hetrostructure*. Opt. Letter29(2)192-194, 2004.

[4] Hai-Xia Qiang, Li-Yong Jiang, Xiang-Yin Li, Wei Jia. *Different kinds of band-pass filters based on one-dimensional photonic crystal heterostructures.* Optik 122 1836-1839, 2011.

[5] M. born, E. Wolf. *Principles of optics.* Pergamon, London, UK, 1980.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-08]