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

طراحی و مشخصه یابی نانوتشدیدگر پاندا در بلور فوتونی دوبعدی جهت کاربری در بایو حسگر دو طرفه

آسیه کلاته[۱] و سیده مهری حمیدی[۲]

[۱] دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

[۲] پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

چکیده - در این تحقیق، از تشدیدگر بلور فوتونی سیلیسیمی که مرکب از سه نانو حلقه شش ضلعی است، در ترکیب تشدیدگر حلقوی پاندا جهت کاربری در حسگر بایو فوتونیک دو طرفه استفاده شده است. یک پیک افت مستقیم در ۱۵۵۰ نانو متر ثابت می کند که نانوتشدیدگر حلقوی پاندای پیشنهاد شده یک فیلتر افت کانال خوب است و یک انتخاب خوب برای کاربردهای حسگر نانو مکانیکی است. نتایج حاصل از تحقیق نشان دهنده توانایی ثبت پاسخ دو طرفه از تشدیدگر در طول موج کاربردی ۱۵۵۰ نانومتر با نغییر ضریب جفت شدگی نانوتشدیدگرها در بلور فوتونی دو بعدی است.

کلید واژه- نانوتشدیدگر حلقوی پاندا ، بلور فوتونی، فیلتر افت کانال، حسگر دوطرفه.

Design and characterization of panda ring resonator in two dimensional photonic crystal as dual channel biosensors

Asieh Kalateh[1] and Seyyedeh Mehri hamidi[2]

1Faculty of electrical and computer engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
Laser and Plasma Research institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abstract- Si based two dimensional photonic crystal consists of three nanoring resonator in panda configuration has been designed and investigated. A forward-dropped peak at 1550 nm proves that the proposed triple nano-ring resonator is a good channel drop filter,which makes it a good candidate for filter and dual channel nanomechanical sensor applications. It is realized that the symmetrical resonance output of this resonator enhance its suitability as a biosensor as this characteristic makes sensing multiple biomolecules.

Keywords: Nano ring panda resonator, photonic crystal, Filter, Dual channel biosensor.

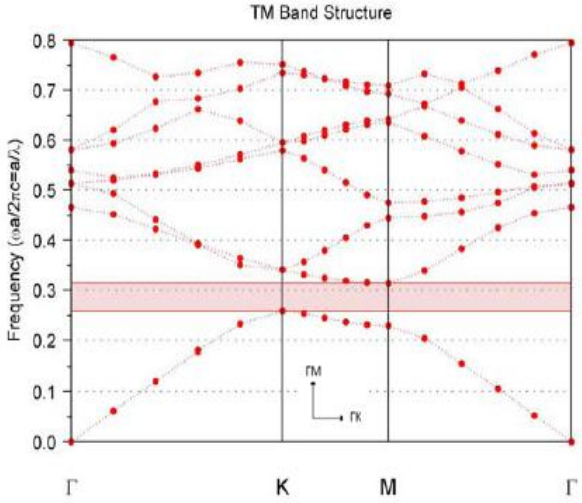
[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]

۱- مقدمه

بلور های فوتونی نانو ساختارهایی هستند که امکان کنترل انتشار امواج الکترومغناطیسی را در یک محدوده فرکانسی مشخص فراهم می کنند. بطور واضح تر، انتشار موج در محدوده فرکانسی مشخصی در نانو ساختارهای بلور فوتونی تحت عنوان محدوده باند نواری (PBG[۱]) ممنوع است. ایجاد نقص در بلورهای فوتونی می‌تواند یک درجه بالاتر از هر دو محدودیت نوری و مکانی را به وجود آورد. در این راستا میکرو کاوک ها یا نانو کاوک ها به عنوان نوعی نقص ساختاری می‌توانند به عنوان فیلترهای فوق فشرده با ضریب کیفیت[۲] بالامورد استفاده قرار بگیرند [۱،۲]. از جمله کاربردهای مهم این نوع فیلترها در مالتی پلکسرهای تقسیم طول موجی در سیستم های ارتباطی است [۳،۴،۵] که طول موجهای کاربردی در آنها از اهمیت بسزایی برخوردارند. توانایی در مهندسی این طول موجها، علاوه بر محدوده باند نواری در بلور فوتونی، به تغییر شکل و جفت شدگی کاواک ها در بلور وابسته است. در این راستا، نانو کاواک های مختلفی با ضرایب جفت شدگی متفاوت مورد تحقیق قرا گرفته اند [۶]. اما بهره گیری از نانوکاواک‌ها با هندسه پاندا (Panda) در بلورهای فوتونی دو بعدی به عنوان فیلترهای طول موجی و یا حسگرهای دو طرفه مورد بررسی قرار نگرفته است. در این مقاله ما طراحی و مدل سازی یک شبکه شش ضلعی نانو تشدیدگر پاندا را به عنوان یک حسگر دوطرفه ارایه نموده و چگونگی تغییر خروجی های حسگر با عناصر تشکیل دهنده کاواک های پاندا را بررسی نموده ایم.

۲- طراحی و مشخصات نانوتشدیدگر حلقوی پاندا

ساختار باند بلور فوتونی دو بعدی با میله‌های سیلیکون در بستره هوا با شبکه شش ضلعی به کمک روش بسط امواج تخت ترسیم گردید (شکل ۱). با توجه به این شکل، نسبت شعاع حفره ها (r) به ثابت شبکه (a)، ۰/۳۱۳ انتخاب شده است با در نظر گرفتن اینکه شعاع و ثابت شبکه به ترتیب ۱۲۸/۵ نانومتر و ۴۱۰ نانومتر است، محدوده فرکانس نرمالیزه شده باند ممنوعه فوتونیکی از ۰/۲۶۲ تا ۰/۳۲۰، در پلاریزاسیون TM موج الکترومغناطیسی گسترده شده است.



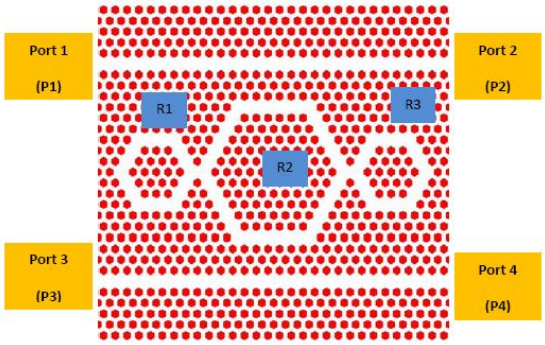
شکل۱.دیاگرام باند فوتونیک بلورهای با شبکه شش ضلعی.

جهت های متناظر ΓM و ΓK با لحاظ کردن شبکه شش ضلعی در شکل ۱ در نظر گرفته شده است. Qui یک رویکرد ترکیبی از روش تفاضل متناهی حوزه زمان (FDTD) و ضریب شکست موثر (ERI) گزارش داده است[۷]. داده های بدست آمده از این رویکرد ترکیبی،تطابق خوبی با نتایج بدست آمده از روش تقریب FDTD سه بعدی تمام برداری دارد. در این مقاله نیز، این رویکرد ترکیبی بکار گرفته شده و عملکرد فیلتر افت کانال و توزیع میدان مد تشدیدی نانو پاندا مورد بررسی قرار گرفته است.

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده، فرکانس تشدید نانو تشدیدگر از طریق جابجایی حفره های شش ضلعی در محدوده باند نواری، بدست آمده است. ضریب شکست موثر آب-سیلیسیم-عایق که در این شبیه سازی معادل با ضریب شکست موثر حفره های سازنده بلور فوتونی است، ۲/۸۲۵ در نظر گرفته شده است.

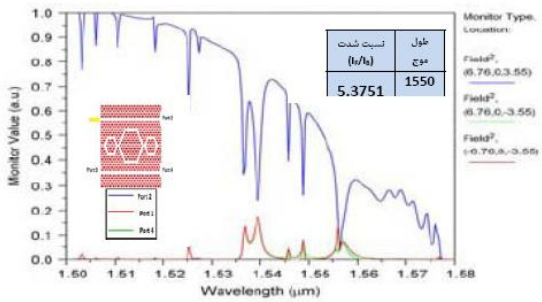
[۱] Photonic Band Gap
[۲] Quality factor

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]



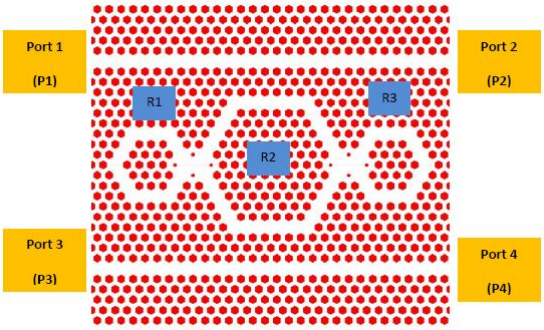
شکل۲.نانو تشدیدگر حلقوی پاندا.

شکل ۲، چیدمان نانوتشدیدگر پاندا را نشان می‌دهد. در این حالت نور می تواند از طریق یکی از چهار پورت به داخل تشدیدگر اعمال شود. از طریق انتخاب دقیق شعاع و دوره تناوب، نور وارد موجبر بلور فوتونی می‌شود و سپس از طریق ۳ نانو تشدیدگر موجود (R_1,R_2,R_3) به طرف دیگر، در موجبر بلور فوتونی مقابل، هدایت شده و خروجی از یکی از سه پورت قرار داده شده در موجبر مقابل اندازه گیری شود. به عنوان مثال نور می تواند از طریق پورت یک(P_1) وارد و بعد از جفت شدن توسط نانوتشدیدگر حلقوی، خروجی از P_2، P_3 و یا P_4 بدست می‌آید. پورت ۲ به عنوان پورت انتقالی (TR) تعریف شده در حالی که پورت ۴ و ۳ به ترتیب به عنوان پورت افت مستقیم (FD) و پورت افت معکوس (BD) مشخص شده اند.



شکل۳.طیف سه پورت خروجی شبیه سازی شده بدون تغییر شعاع.

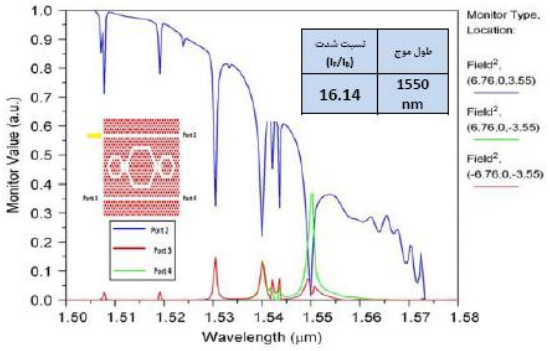
وابستگی خروجی سیستم به طول موج نور ورودی به همراه طرح نانوتشدیدگر حلقوی در شکل ۳ نشان داده شده است در این شکل، طیف خروجی پورت ها، بدون تغییر شعاع است. تغییر در ضریب جفت شدگی نانوتشدیدگرها و در نتیجه در میزان توان هدایت شده به دو پورت اصلی دیگر، به کمک تغییر شعاع میله های مرزی بین حلقه ها امکان پذیر است. به این ترتیب، با کاهش شعاع آنها میتوان یک پیک طول موجی، دقیقا در طول موج



شکل۴.نانو تشدیدگر حلقوی پاندابا کاهش شعاع های مرزی به ٪۲۵ مقدار اولیه.

۱۵۵۰ نانومتر داشت که این برای بسیاری از کاربردها حائز اهمیت است. این کاهش شعاع در شکل ۴دیده می شود که شعاع های مرزی به ٪۲۵ مقدار اولیه کاهش یافته اند.

(نور ورودی از طریق باریکه زرد رنگ از پورت ۱ مشخص شده است).حال آنچه که در شکل ۵ مشاهده می شود، یک افت طول موج در ۱۵۵۰ نانومتر است و این محلی است که نسبت شدت سیگنال های FD و BD، ۱۶/۱۴ است و این بدان معنیست که یک افت کانال مستقیم، بدست آمده است.

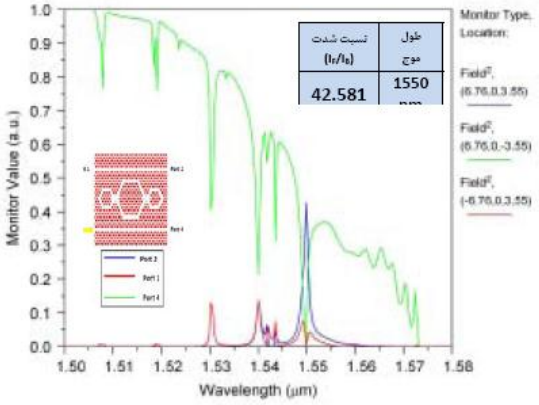


شکل۵.طیف سه پورت خروجی شبیه سازی شده وقتی نور از پورت ۱ وارد می شود.

در ترکیب دیگر در شکل ۶، نور در پورت ۳ وارد می‌شود. شبیه به حالت قبلی، افت طول موج در ۱۵۵۰ نانومتر است و نسبت شدت سیگنال های پورت ۲ (FD) و پورت ۱ (BD)،۵۸/ ۴۲ است

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]

مطلبی که در هر دو طرح در شکل های ۵ و ۶ نشان داده می شود، افت طول موج در یک طول موج معین است که این بسیار مهم است.



شکل۶.طیف سه پورت خروجی شبیه سازی شده وقتی نور از پورت ۳ وارد می شود.

با قرار دادن غیر متقارن R_1,R_2 و R_3 وقتی که نور از طریق پورت ۱ و پورت ۳ وارد می شود، مدل های تشدیدی متفاوت است و می توان از این به عنوان کانال دو گان معکوس پذیر (DCR) نام برد [۸]. این کار از طریق بهینه کردن نسبت شعاع حفره و ثابت شبکه انجام می‌شود. حضور رفتار DCR احتمال تشخیص مولکول های دو تایی چند گانه را در یک زمان فراهم می کند.

۳- مکانیسم حسگری دو طرفه تشدیدگر حلقوی پاندا

همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است، طرح تشدیدگر پاندا، چهار پورت دارد و در نتیجه می تواند چهار پورت ورودی/خروجی داشته باشد. بدلیل چیدمان متقارن تشدیدگر پاندا بر روی محور عمودی، حالتی که نور از طریق پورت ۲ وارد می شود شبیه همان حالتی است که نور از پورت ۱ وارد می شود. بطور مشابه، خروجی تولید شده وقتی نور از پورت ۴ وارد می شود، همان خروجی است که نور از طریق پورت ۳ وارد می شود .این بدان معنیست که چهار ترتیب متفاوت ورودی/خروجی، می تواند به دو حالتی که متقارن هستند، کاهش پیدا کند. بر اساس نمودارهای موجود در شکل های ۵ و۶ در هر دو حالت ۱ و۲، تنها خروجی پورت افت مستقیم(FD) مهم است بطوریکه یک پیک قابل ملاحظه ای نسبت به دیگر پورت ها، در ۱۵۵۰ نانومتر دارد.

با وجود اینکه خروجی های مشابه داریم، اما الگوهای تشدید موج پیوسته(CW) بطور قابل ملاحظه ای متفاوت از هم هستند که این مبین آن است که از طریق انتخاب دقیق ویژگی حفره های استفاده شده برای حس کردن دوطرفه، مولکول های چندتایی می توانند بطور همزمان حس شده و تشخیص داده شوند.

۴- نتیجه گیری:

حسگر بلور فوتونی جدید با ساختار نانوتشدیدگر حلقوی پاندا طراحی و تحلیل گردید. نتایج بیانگر فیلتر افت کانال در طول موج ۱۵۵۰ نانومتر و همچنین حسگر دو طرفه بایو است که از طریق متقارن بودن نانوتشدیدگرها حاصل گردیده است.

مراجع:

[1] Vahala KJ *Optical microcavities*. Nature 424:839,2003.

[2] Lalanne P, Sauvan C, Hugonin JP, *Photon confinement in photonic crystal nanocavities*. Laser Photonics Rev 2:514–526, 2008.

[3] Zhang Z, Qiu M, *Compact in-plane channel drop filter design using a single cavity with two degenerate modes in 2D photonic crystal slabs*, Opt Express 13:2596–2604,2005.

[4] Qiang Z, Zhou W, Soref RA ,*Optical add-drop filters based on photonic crystal ring resonators*. Opt Express 15:1823–1831, 2007.

[5] Monifi F, Ghaffari A, Djavid M, Abrishamian MS ,*Three output port channel-drop filter based on photonic crystals*, Appl Opt 48:804–809.2009.

[6] Chong Pei Ho • Bo Li ,Aaron J. Danner • Chengkuo Lee,,*Design and modeling of 2-D photonic crystals based hexagonal triple-nano-ring resonators as biosensors*, Microsyst Technol,2012.

[7] Qiu M ,*Effective index method for heterostructure-slabwaveguide-based two-dimensional photonic crystals*. Appl Phys,Lett 81:1163–1165,2002.

[8] Li B, Lee C ,*NEMS diaphragm sensors integrated with triplenano-ring resonator*, Sens Actuators A 172:61–68,2011.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]