

Performance of an Integrated Structure of Photonic Crystal-Microdisk in a Functional Nano-Particles Sensor

S. Roghaye Hamidi, Ahmadreza Daraei*, Atefeh Mohsenifard

Department of Physics, Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Received: 28.11.2018 Final revised: 02.02.2020 Accepted: 04.05.2020

Doi link: [10.22055/JRMBS.2020.15612](https://doi.org/10.22055/JRMBS.2020.15612)

Abstract

In this paper, the design and simulation of a functional nano-particles nano-sensor is presented by combining the structure of an optical microdisk resonator and photonic crystal in the form of an array of cubic air-holes along the circular path near microdisk's periphery. The use of optical microdisk resonator will result in the manipulation and concentration of the whisperings gallery modes, plus etching cubic air-holes on a circular pathway of intensified whisperings gallery modes that is more effective to control modes. Finally, the design of slots with a depth of about a fraction of the thickness of the disk, which links the neighboring air-holes in the same circular path, helps to create special conditions for making the nano-particles sensor device. In this combined structure, small modal volume with very high quality factor modes is provided to confine optical modes for sensing. We report values as $0.075(\lambda/n)^3$ for the modal volume in the centralized slot area for modes with a quality factor larger than 10 million, using finite element method simulation. Sensing properties of the structure are analyzed using variation of wavelength of the modes for different disk geometries, photonic crystal array, and the dimensions of the linked slots, and access to an acceptable sensitivity 109 nm/RIU (nm/refractive index unit) is possible.

Keywords: Nano-Particle, Nano-Structure, Nano-Sensor, Photonic Microdisk, Tapered Cavity properties

کارایی یک ساختار تلفیقی از بلور فوتونی-میکرو دیسک در طراحی یک حس گر کاربردی نانوذرات

رقیه حمیدی، احمدرضا دارائی*، عاطفه محسنی فرد

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

دریافت: 1397/09/07 ویرایش نهائی: 1398/11/13 پذیرش: 1399/02/15

DOI: [10.22055/JRMBS.2020.15612](https://doi.org/10.22055/JRMBS.2020.15612)

چکیده

در این مقاله، با تلفیق ساختار یک مشدد نوری میکرو دیسک و یک بلور فوتونی به فرم یک آرایه از حفره‌های مکعبی هوا بر مسیری دایروی در نزدیکی پیرامون آن، به طراحی و شبیه‌سازی یک نانوحس گر کاربردی برای نانوذرات پرداخته می‌شود. استفاده از مشدد نوری میکرو دیسک، به تولید و تمرکز مدها به صورت مُد نجوایی می‌انجامد و تعبیه حفره‌های مکعبی هوا بر مسیری دایروی در ناحیه تمرکز مدهای نجوایی، برای کنترل بهتر مدها مؤثر واقع می‌شود. سرانجام طراحی شیارهایی با عمقی به اندازه کسری از ضخامت دیسک که حفره‌های مکعبی هوا را در همان مسیر دایروی متصل می‌سازد، به تولید شرایط ویژه برای ساخت وسیله حس گر نانوذرات کمک می‌نماید. در این ساختار ترکیبی، محبوس سازی مدهای نوری برای حس گر، در حجم مُدی کوچک و با فاکتور کیفیت بسیار زیاد، مهیا گردیده است. نتایج حجم مُدی به میزان $0.075(\lambda/n)^3$ در ناحیه یک نانوشیار مرکزی برای مدهای با فاکتور کیفیت بزرگ تر از ده میلیون، قابل حصول با استفاده از شبیه‌سازی با روش المان محدود، گزارش می‌گردد. خصوصیات حس گر ساختار با استفاده از تغییر طول موج مدها برای هندسه‌های مختلف دیسک، آرایه بلور فوتونی و مقادیر ابعاد شیارهای متصله مورد آنالیز قرار گرفته و دسترسی به حساسیت قابل قبولی به میزان $109\text{nm}/\text{RIU}$ (نانومتر بر واحد ضریب شکست)، مقدور است.

کلیدواژگان: نانوذرات، نانو ساختار، نانوحس گر، میکرو دیسک فوتونی، کاواک باریک شده

مقدمه

فوتونیک، بسیار مورد توجه هستند [8-1]. یک بلور فوتونی، از ساختار تناوبی در یک، دو و یا سه بعد از مواد با ضریب شکست‌های متفاوت تشکیل می‌گردد که می‌تواند در بازه فرکانسی خاصی دارای گاف نواری باشد، طوری که امواجی که دارای فرکانسی در این بازه باشند می‌توانند در ساختار باقی مانده و محبوس گردند. از خصوصیات بلورهای فوتونی، می‌توان به محبوس سازی مدهای نوری در حجم مُدی کوچک و

مطالعه اندرکنش سیستم‌های نانوذره‌ای با نور و بالاخص کاربردهای صنعتی آن، در دهه گذشته بسیار مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. از طرف دیگر در این زمینه، بلورهای فوتونی که ساختارهایی با هندسه گوناگون هستند نیز به خاطر بروز دادن خصوصیات ویژه نوری، برای دست‌کاری نور بر مبنای اصول

* نویسنده مسئول: daraei@phys.usb.ac.ir

به این ترتیب با این گونه تلفیق مشدد دیسک-بلور فوتونی با حفره‌های هوای مکعبی به علاوه شیارهای متصل‌کننده، کنترل و تمرکز مدها در ناحیه دلخواه (نانوکاوک) بهتر صورت می‌پذیرد، که در بخش‌های بعدی با جزئیات بیشتر به سازوکار آن و نتایج مستخرج از آن پرداخته می‌شود.

ساختار حس گر نانوذرات مورد مطالعه

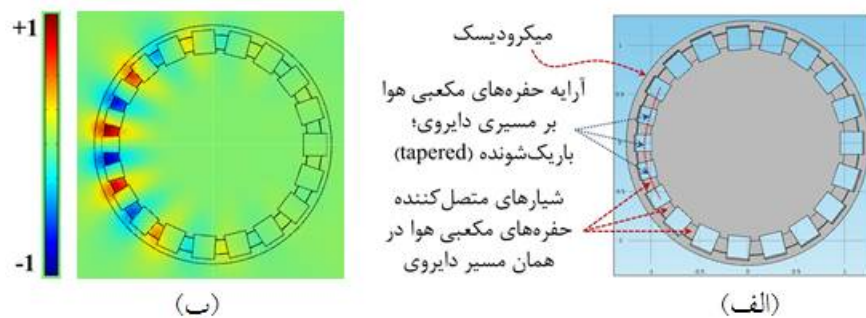
یک مشدد نوری میکرو دیسک ساده، به فرم استوانه‌ای با ارتفاع کمتر از نصف طول موج مدهای مورد مطالعه، ساختار هندسی پایه نمونه مورد شبیه‌سازی در این مقاله را در مرحله اول، تشکیل می‌دهد. مدهای نوری محبوس در میکرو دیسک که در ناحیه نزدیک جداره داخلی دیواره دیسک تمرکز می‌یابند، تحت نام مُد نجوایی شناخته می‌شوند. میکرو دیسک با هندسه‌های مختلف جداره‌ها می‌توانند در کنترل تمرکز مدی نقش داشته باشند. البته نفوذ و تمرکز مدهای مورد بحث در ناحیه‌ای از فضای دیسک به صورت موج‌های میراشونده، می‌تواند جهت استفاده به عنوان حس گرهای زیستی، مورد بهره‌برداری باشند [12]. برای این منظور، با حکاکی شیمیایی (سونش) یک سری شیار در مسیر تشکیل این مُدهای نجوایی، این نواحی از امواج الکترومغناطیسی متمرکز، انباشته می‌گردند. بهینه‌سازی ساختار و در نتیجه حس‌گری، به توسط بهینه‌سازی شعاع دیسک برای انتخاب شماره مُد نجوایی، تغییر مکان شعاعی حفره‌های مکعبی هوا بر مسیری دایروی در نزدیکی پیرامون دیسک و نیز تغییر پهنا و عمق شیارها، صورت می‌پذیرد.

نیز داشتن فاکتور کیفیت بالای مدها، اشاره نمود [11-9]. این ویژگی‌ها باعث بهبود بیشتر کارآیی ادواتی شده که برای کاربردهای ویژه خود، به محبوس کردن مدهای نوری در حجم کوچک، نیاز دارند. حس گرهای نوری سیستم‌های نانوذره‌ای از جمله این ادوات هستند که دارای گستره مصارف بسیاری از جمله حس گرهای زیستی، شیمیایی و غیره می‌باشند [12-16]. ساختارهایی که برای این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند، دارای هندسه و فیزیک متنوعی هستند. در اینجا، حس گرهایی مورد توجه هستند که بر پایه محیط بلورهای فوتونی دارای ساختار کاواک نوری استوار بوده و بر مبنای تغییر ضریب شکست محیط در اثر حضور سیستم‌های نانوذره‌ای و در نتیجه تغییر طول موج مدهای فوتونی کار می‌کنند و به خاطر داشتن حساسیت بالا، بسیار مطلوب هستند [12-13].

در این مقاله، به ارائه ساختار یک حس گر نانوذرات بر پایه یک مشدد میکرو دیسک پرداخته شده که با کاواک نوری متشکل از یک آرایه از حفره‌های هوای مکعبی در یک مسیر دایروی، تلفیق یافته است. این آرایه در نزدیکی پیرامون میکرو دیسک طوری طراحی و سونش¹ شده که تشکیل یک بلور فوتونی تک‌آرایه حلقوی شامل کاواک را می‌دهد. شیارهایی با عمقی برابر با کسری از ضخامت دیسک، این حفره‌های هوای مکعبی را به هم متصل می‌سازد، و برای کاربرد به عنوان یک نانوحس گر ذرات، طراحی و شبیه‌سازی می‌شوند. طرح‌واره‌ای از یک نمونه طراحی شده و مُد نجوایی² شبیه‌سازی شده در این مقاله، در شکل 1الف، نشان داده شده است. همان طوری که در شکل 1ب دیده می‌شود،

² whispering gallery mode

¹ etching



شکل 1 الف. طرح‌واره‌ای از تلفیق ساختار یک مشدد نوری میکرو دیسک و یک بلور فوتونی به‌فرم آرایه‌ای از حفره‌های مکعبی هوا بر مسیری دایروی در نزدیکی پیرامون آن، به‌علاوه شیارهای متصل‌کننده برای کنترل و تمرکز بهتر مدهای نجوایی. ب) تمرکز میدان مدهای نجوایی در نواحی دلخواه.

شبیه‌سازی ساختار، آنالیز داده‌ها و نتایج

برای شبیه‌سازی در این مقاله، در ابتدا به‌بینه‌سازی ساختار پایه نمونه، شامل یک میکرو دیسک ساده، جهت انتخاب مدهای محبوس‌شده از نوع نجوایی، معطوف شده است. برای تطبیق‌پذیری با ادوات، مدها به‌ناحیه حدود پنجره سوم مخابراتی (1550nm) تنظیم طیفی شدند. در اینجا، از مد عرضی الکترومغناطیسی که با علامت $TE_{p,m}$ مشخص شده (p عدد مرتبه شعاعی و m عدد مرتبه سمتی)، برای مد مرتبه اول شعاعی (p=1) و مرتبه بالاتر سمتی (m=10 و 11)، استفاده گردیده است. تغییرات طول‌موج این مدهای نجوایی محبوس‌شده برای شعاع‌های مختلف ساختار هندسی میکرو دیسک، مورد بررسی و بهینه‌سازی قرار گرفت [12-13]. پس از این مرحله، در مسیر دایروی در نزدیکی پیرامون دیسک و در مسیر تشکیل مدهای نجوایی، یک آرایه از حفره‌های مکعبی هوا، به فرم حکاکی شیمیایی (سونش شده) در نظر گرفته شد. بدین وسیله، با تلفیق این دو مجموعه فوتونیک، که متشکل از امتزاج یک مشدد میکرو دیسک میزبان و یک بلور فوتونی تک‌آرایه حلقوی در نزدیکی جدا‌داره دیسک

در این مقاله، مد فوتونی نجوایی ساختار هندسی میکرو دیسک برای این مورد بهینه شد [12] و سپس این ساختار پایه مشدد نوری، با به‌کارگیری یک آرایه از حفره‌های مکعبی هوا در یک مسیر دایروی، که به‌صورت تلفیقی از یک مشدد میکرو دیسک با تک‌آرایه بلور فوتونی حلقوی ظاهر می‌شود، بهبود داده شده است [13]. سپس، این آرایه حفره‌های مکعبی هوای سونش شده در نزدیکی پیرامون میکرو دیسک به‌توسط سونش شیارهایی با عمقی برابر با کسری از ضخامت دیسک به‌هم مرتبط می‌شوند. به‌این ترتیب، با بهره‌مندی از این آرایش هندسی، تمرکز مدی بسیار بهتر با حجم مدی V_m بسیار کوچک حاصل می‌گردد. در این مقاله، حجم مدی V_m توسط رابطه 1 معرفی می‌گردد [11]:

$$V_m \equiv \left(\int_V \varepsilon(\vec{r}) |\vec{E}(\vec{r})|^2 d^3\vec{r} \right) / \max(\varepsilon(\vec{r}) |\vec{E}(\vec{r})|^2) \quad 1$$

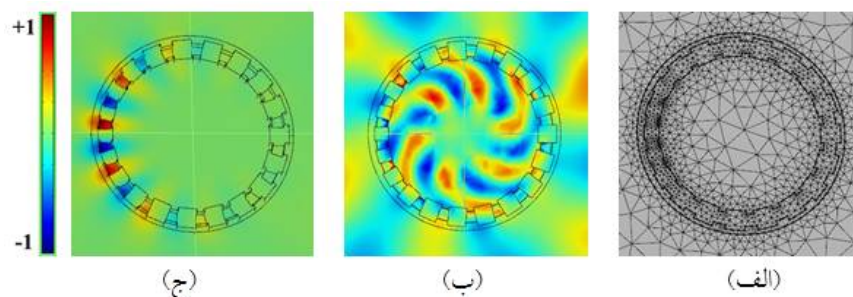
که در آن، $\varepsilon(\vec{r})$ ثابت دی‌الکتریک و $\vec{E}(\vec{r})$ میدان الکتریکی مد است.

مشترک‌های حفره‌های هوا-دی‌الکتریک و نیز شیارها برای امواج الکترومغناطیسی، به فرم محاسباتی رسانای الکتریکی کامل⁴ است. دامنه محاسباتی در کرانه‌های سیستم به صورت شرط مرزی لایه تطبیقی کامل⁵ محصور و بریده شده است که لایه جاذب کامل برای امواج در کرانه‌ها محسوب می‌گردد.

یک نمونه مشبک‌سازی مورد استفاده در شبیه‌سازی با روش المان محدود، FEM، در شکل 2الف نشان داده شده است. در شکل 2ب، یک نمونه الگوی توزیع میدان مدی (برش مقطعی مد) به نمایش گذاشته شده است که پراکندگی زیاد و عدم دستیابی به مد محبوس جایگزیده در آن به چشم می‌خورد. شکل 2ج بعد از بهینه‌سازی پارامترهای ساختار، ناحیه‌ای با میدان‌های الکترومغناطیسی تقویت‌یافته که مورد مطالبه بوده، حاصل شده است.

است، مدهای تشدیدی نجوایی جایگزیده تر شدند. سپس، در ادامه طراحی ساختار و به منظور کاربردی حس‌گری نانوذرات، حفره‌های مکعبی هوای مذکور به توسط شیارهایی که با عمقی به اندازه کسری از ضخامت دیسک حکاکی شده‌اند، به هم متصل گردیدند. این امر باعث می‌شود تا امواج میرایی که بیشتر در ناحیه شیار مرکزی نانوکاوک تمرکز یافته‌اند، برای حس‌گری مورد استفاده قرار گیرند.

در این مقاله، جهت شبیه‌سازی از روش المان محدود¹ استفاده گردیده است. در این روش، حداکثر اندازه اجزاء شبکه‌بندی² مثلثی، به میزان کسری از طول موج در محیط، به اندازه $\lambda/10$ استفاده شده است. فیزیک مورد استفاده در شبیه‌سازی، شامل حل معادله موج الکترومغناطیسی هلمهولتز بر اساس دامنه بسامدی³ است. شرایط مرزی برای حل معادله، همان شرایط مرسوم پیوستگی مؤلفه مماسی میدان الکتریکی در فصل



شکل 2. الف: یک مشبک‌سازی نمونه، در نواحی مختلف ساختار برای شبیه‌سازی و بدست آوردن الگوی توزیع مدی در ب و ج. ب: پراکندگی امواج چشمگیر بوده، در حالی که در ج: تمرکز مدی در ناحیه شیار بین حفره‌های مکعبی هوا در مسیر دایروی پیرامون میکرو دیسک و در سمت چپ آن مشهود است.

حفره‌های-هوای مکعبی در ساختار تلفیقی بلور فوتونی-میکرو دیسک، واقع در مسیر دایروی مدهای تشدیدی نجوایی را بهینه‌سازی نمود. وقتی یک نمونه

برای مقاصد حس‌گری مواد بیولوژیکی و شیمیایی، این ناحیه با شدت مدی بیشینه را می‌توان مشخصه‌یابی کرد. برای این منظور، می‌توان ابعاد بخش شیار بین

⁴ Perfect Electric Conductor

⁵ Perfectly Matched Layer (PML)

¹ Finite Element Method (FEM)

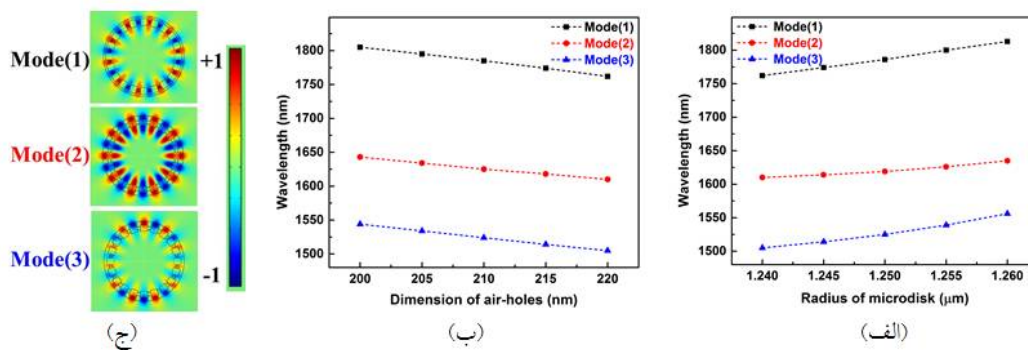
² mesh

³ Electromagnetic Waves, Frequency Domain

محقق است که معمولاً با افزایش شعاع دیسک و شماره سمتی مد، خط سیر مدهای نجوایی به دیواره دیسک فشرده‌تر شده و در نتیجه، کاهش حجم مدی را نیز در پی خواهد داشت. در مرحله طراحی ساختار با 20 حفره مکعبی هوا در حاشیه میکرو دیسک، در حالی که شعاع میکرو دیسک ثابت است، افزایش ابعاد حفره منتج به کاهش حجم مدی می‌شود. در ادامه، با وجود شیارهایی بین حفره‌های مکعبی هوا در مسیر دایروی مورد اشاره، تغییرات طول موج و الگوی توزیع شدت مد محبوس شده بررسی گردیدند. شکل 3ب و ج، نتایج این تغییرات را نشان می‌دهند. باید اذعان شود که مدهای مورد بررسی به گونه‌ای باید انتخاب گردند که کماکان بعد از تغییرات در یکی از پارامترها، همچنان در نواحی مورد نظر به طور مطلوبی به صورت متمرکز، باقی بمانند.

از این گونه نانو ذرات مورد آزمایش در این ناحیه قرار می‌گیرد، باعث تغییر در ضریب شکست این بخش از ساختار می‌شود و در نتیجه طول موج مشخصه مد، مقداری به سمت طول موج‌های بزرگ‌تر انتقال می‌یابد. مرسوم است که این جابه‌جایی طول موج به‌ازای تغییر در ضریب شکست، با رابطه $S \equiv \Delta\lambda/\Delta n$ برای حس‌گری (S)، با واحد تخصیصی نانومتر بر تغییر واحد ضریب شکست (nm/RIU)، معرفی گردد.

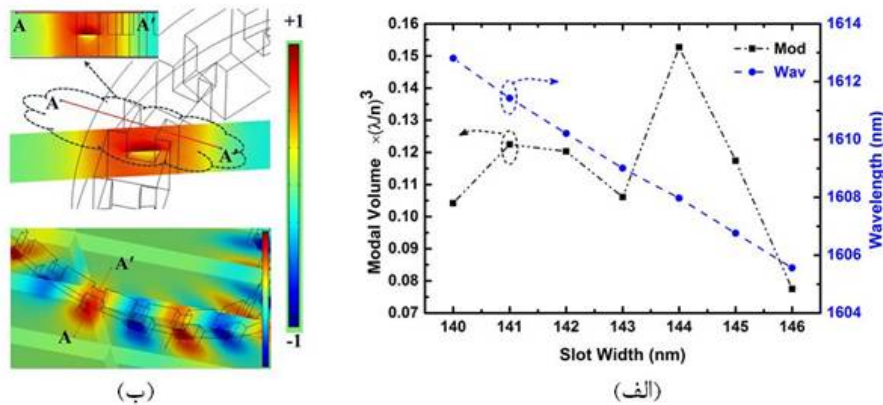
همان‌گونه که اشاره گردید، در مراحل اولیه باید طول موج مدهای تشدیدی نجوایی بهینه و مطلوب، تعیین شوند. برای این هدف، نمونه‌ای از نمودار تغییرات طول موج مدهای مورد نظر با تغییرات شعاع میکرو دیسک، در شکل 3الف نشان داده شده است. البته



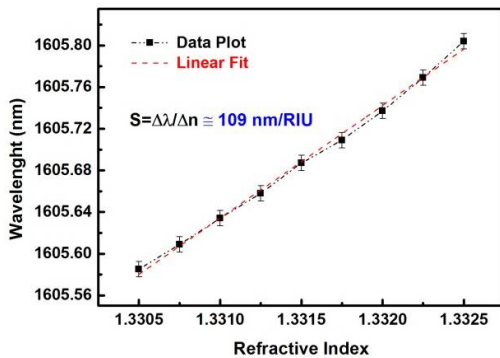
شکل 3. نمودار تغییرات طول موج سه مد مورد محبوس شده با تغییرات، الف: شعاع میکرو دیسک، ب: ابعاد حفره‌های مکعبی هوا و ج: الگوی توزیع شدت مربوط به سه مد مورد نظر.

برحسب پهنای شیار، در شکل 4الف آورده شده است. شکل 4ب، توزیع مدی را نشان می‌دهد که تمرکز مدی افزایش یافته‌ای را در ناحیه شیار معرفی می‌نماید. در وسط شکل 4ب، یک مقطع برشی از توزیع مدی دیده می‌شود و در قسمت بالاتر شکل، برش A-A' مربوطه به تفکیک آورده شده، که در آن تمرکز مدی مطلوبی در ناحیه شیار، دیده می‌شود.

با تغییر و بهینه‌سازی پهنای شیار، اندازه تعدادی از حفره‌ها و نیز برهم زدن تقارن حفره‌ها، آن‌طوری که مثلاً در شکل 2ج دیده می‌شود، تمرکز مدی افزایش یافته و یا به عبارتی دیگر کاهش بیشتر حجم مدی برای یک مُد نجوایی، تا حدود $0.075(\lambda/n)^3$ را بر اساس رابطه 1 نتیجه می‌دهد؛ که در آن، λ طول موج مد مربوطه و n ضریب شکست مؤثر میکرو دیسک است. یک نمودار نوعی از تغییرات حجم مدی و طول موج مد



شکل 4. الف: تغییرات حجم مدی و طول موج مد $TE_{1,10}$ برحسب تغییرات پهنای شیار. ب: توزیع مد محبوس؛ در وسط شکل، یک مقطع برشی از توزیع مدی دیده می‌شود و در بالا، برش A-A' مربوطه به تفکیک درج شده که معرف تمرکز مدی مطلوب در ناحیه شیار است.



شکل 5. نمودار تغییرات طول موج مد برحسب تغییرات ماده زیستی یا شیمیایی پرکننده شیار و اعمال منحنی فیت خطی بر آن؛ نمودار معرف حساسیت (S) قابل قبولی به میزان 109 nm/RIU (نانومتر بر واحد ضریب شکست) است.

جمع بندی و نتیجه گیری

محبوس سازی مدهای نوری با فاکتور کیفیت بسیار زیاد و حجم مدی کوچک در بلورهای فوتونی با ساختارهای هندسی گوناگون، توسط دستکاری نور بر مبنای اصول فوتونیک می‌مقدور است. استفاد از این ویژگی‌ها، منجر به بهبود بیشتر کارآیی ادواتی شده که برای کاربردهای ویژه خود، به محبوس کردن مدهای نوری در حجم کوچک، نیاز دارند. حس گرهای نوری زیستی و شیمیایی از جمله این ادوات هستند. مشدد نوری میکرو دیسک با ضخامتی کمتر از نصف طول موج

برای مصارف کاربردی نظیر عمل حس گری مواد زیستی یا شیمیایی با استفاده از این ساختار ترکیبی که شامل مشدد نوری میکرو دیسک و یک بلور فوتونی شیاردار است، ماده مورد نظر در قسمت مرکزی شیار قرار می‌گیرد. به این ترتیب، با تغییر ضریب شکست آن ناحیه، مدهای مورد بررسی دچار تغییر در طول موج خواهند شد و بر طبق حساسیت حسگری (S)، با رابطه $S \equiv \Delta\lambda/\Delta n$ ، حساسیتی به میزان 109 nm/RIU (نانومتر بر واحد ضریب شکست) در شبیه سازی به دست آمده است. شکل 5، یک نمودار تغییرات طول موج مد را برحسب تغییرات ماده زیستی یا شیمیایی پرکننده شیار، به همراه منحنی فیت، نشان می‌دهد. در قیاس با ساختاری که شامل شیار تنها است [12]، حساسیت حسگر نسبت به میکرو دیسک با دیواره قائم به میزان 3/63 برابر شده و نسبت به میکرو دیسک با دیواره منحنی، 45% بهبود یافته است. این امر، ناشی از ترکیب آرایه حفره‌های مکعبی هوا بر مسیری دایروی و شیارهای متصل کننده آن‌ها و نیز با ویژگی باریک‌شوندگی در ناحیه تمرکز مدهای نجوایی برای کنترل بهتر مدها بوده و در ارتقاء میزان حساسیت حسگر مؤثرتر واقع می‌شود.

- [2] I.A. Sukhoivanov, I.V. Guryev, Photonic crystals: Physics and practical modeling, Springer-Verlag Berlin Heidelberg **152** (2009).
- [3] K. Vahala, Optical Microcavities, *Advanced Series in Applied Physics* **5**, World Scientific Pub. Co. Pte. Ltd. (2004).
- [4] E. Yablonovitch, Photonic band-gap crystals, *Journal of Physics: Condensed Matter* **5** 16 (1993) 2443. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/5/16/004>.
- [5] J.B. Pendry, Calculating photonic band structure, *Journal of Physics: Condensed Matter* **8** 9 (1996) 1085. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/8/9/003>.
- [6] E. Yablonovitch, T.J. Gmitter, K.M. Leung, Photonic band structure: The face-centered-cubic case employing nonspherical atoms, *Physical Review Letter* **67** 17 (1991) 2295. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.67.2295>.
- [7] T.F. Krauss, M. Richard, S. Brand, Two-dimensional photonic-bandgap structures operating at near-infrared wavelengths, *Nature* **383** 6602 (1996) 699. <https://doi.org/10.1038/383699a0>.
- [8] C.M. Soukoulis, The history and a review of the modelling and fabrication of photonic crystals, *Nanotechnology* **13** 3 (2002) 420.
- [9] D. Sanvitto, A. Daraei, A. Tahraoui, M. Hopkinson, P.W. Fry, D.M. Whittaker, M.S. Skolnick, Observation of ultrahigh quality factor in a semiconductor microcavity, *Applied Physics Letters* **86** (2005) 191109. <https://doi.org/10.1063/1.1925774>.
- [10] M.I. Cheema, U.A. Khan, A.M. Armani, A.G. Kirk, Towards more accurate microcavity sensors: maximum likelihood estimation applied to a combination of quality factor and wavelength shifts, *Optics Express* **21** 19 (2013) 22817-22828. <https://doi.org/10.1364/OE.21.022817>.
- [11] K. Srinivasan, M. Borselli, O. Painter, A. Stintz, S. Krishna, Cavity Q, mode volume, and

مدها، از جمله ساختارهای هندسی است که مدهای محبوس در آن به نام مدهای نجوایی معروف بوده و مدهای مذکور در نزدیکی جداره داخلی دیواره جانبی دیسک متمرکز می‌شوند. در این مقاله، برای کنترل و محبوس کردن بیشتر مدهای نوری در حجم کوچک، به طراحی و شبیه‌سازی ساختار یک مشدد میکرو دیسک پرداخته شده که با یک کاواک نوری متشکل از یک آرایه از حفره‌های مکعبی هوا در یک مسیر دایروی در نزدیکی پیرامون میکرو دیسک طوری طراحی و سونش شده که تشکیل یک بلور فوتونی تک‌آرایه حلقوی را می‌دهد، تلفیق یافته است. برای مقاصد کاربردی مثلاً یک نانوحس گر، شیارهایی با عمقی برابر با کسری از ضخامت میکرو دیسک، این حفره‌های هوای مکعبی را به هم متصل می‌سازند، تا مدهای مطلوب در اختیار قرار گیرند. سازوکار حس‌گری با حساسیت بالا در این‌جا، بر پایه ساختار بلورهای فوتونی شامل کاواک نوری استوار بوده و بر مبنای تغییر ضریب شکست محیط و در نتیجه تغییر طول‌موج مدهای مربوطه کار می‌کنند، استوار است. نتایج شبیه‌سازی با روش المان محدود برای این ساختارها نشان می‌دهند که حجم مدی به میزان $0,075(\lambda/n)^3$ در ناحیه یک نانوشیار مرکزی برای مدهای با فاکتور کیفیت بزرگ‌تر از ده میلیون، قابل حصول است. ویژگی حس‌گری ساختار با استفاده از تغییر طول‌موج مدها برای هندسه‌های مختلف میکرو دیسک، که با آرایه دایروی بلور فوتونی تلفیق یافته و ابعاد شیارهای متصله متغیر در نظر گرفته شدند، مورد آنالیز قرار گرفته و دسترسی به حساسیت قابل قبول بهبود یافته به میزان $109 \text{ nm}/\text{RIU}$ (نانومتر بر واحد ضریب شکست)، قابل ثبت است.

مرجع‌ها

- [1] J.M. Liu, Principles of Photonics, Cambridge University Press, (2016).

lasing threshold in small diameter AlGaAs microdisks with embedded quantum dots, *Optics Express* **14** 3 (2006) 1094-1105. <https://doi.org/10.1364/OE.14.001094>.

[12] A. Daraei, M.E. Daraei, Thin cylindrical slot in an optical microdisk cavity for sensing biomaterials, *Applied Physics A* **123** 4 (2017) 216. <https://doi.org/10.1007/s00339-016-0745-9>.

[13] S.R. Hamidi, A. Daraei, A. Mohsenifard, Proceeding of 24th Iranian Conference on Optics and Photonics (ICOP 2018)- 10th Iranian Conference on Photonics Engineering and Technology (ICPET 2018), Shahrekord University, Shahrekord, Iran, (2018) 577-580.

[14] V.M. Passaro, B. Troia, M. La Notte, F. De Leonardis, Photonic resonant microcavities for chemical and biochemical sensing, *RSC Advances* **3** 1 (2013) 25-44. [doi: 10.1039/C2RA21984K](https://doi.org/10.1039/C2RA21984K).

[15] K. Cicek, M. Eryürek, A. Kiraz, Single-slot hybrid microring resonator hydrogen sensor, *JOSA B* **34** 7 (2017) 1465-1470. <https://doi.org/10.1364/JOSAB.34.001465>.

[16] S.M. Grist, S.A. Schmidt, J. Flueckiger, V. Donzella, W. Shi, S.T. Fard, J.T. Kirk, D.M. Ratner, K.C. Cheung, L. Chrostowski, Silicon photonic micro-disk resonators for label-free biosensing, *Optics Express* **21** 7 (2013) 7994-8006. <https://doi.org/10.1364/OE.21.007994>.