



نوردهمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و پنجمین کنفرانس مهندسی فوتونیک ایران

۵ تا ۳ بهمن ماه ۱۳۹۱ - دانشگاه سیستان و بلوچستان



بهینه سازی خواص نور کند در موجبر بلور فوتونیک با نقص خطی توسط الگوریتم پرندگان

سید محمد میرجلیلی^۱، کامبیز عابدی^۱ و سید علی میرجلیلی^۲

mo.mirjalili@mail.sbu.ac.ir, k_abedi@sbu.ac.ir, Seyedali.mirjalili@griffithuni.edu.au

^۱تهران، اوین، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده برق و کامپیوتر ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳

^۲آسترالیا، بریزبن، نیشن، دانشگاه گریفیث، دانشکده اطلاعات و تکنولوژی ارتباطات

چکیده - موجبرهای بلور فوتونی با نقص خطی یکی از مشهورترین ساختارهایی است که در طراحی بافرهای نوری بکار می‌روند. در این نوع ساختارها، سوراخ‌های هوایی که در ردیف‌های نزدیک به مرکز موجبر قرار دارند، اثر زیادی بر روی خواص نور کند دارند. در این مقاله، برای کنترل پاشندگی و کاهش سرعت نور در موجبرهای بلور فوتونیک با نقص خطی، بهینه‌سازی بر روی شعاع سوراخ‌های هوایی انجام گرفته است. برای اولین بار به منظور دستیابی به بهترین مقادیر برای شعاع‌های مذکور، از الگوریتم پرندگان (PSO) که یکی از بهترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی در هوش مصنوعی است، استفاده شده است. نتایج عددی نشان می‌دهند حاصلضرب تاخیر در پهنای باند نرمالیزه شده (NDBP) ساختار، ۲۰٪ بهبود یافته است.

کلید واژه - PSO، موجبر بلور فوتونیک، نور کند، NDBP.

کد PACS - ۲۵۰.۰۲۵۰، ۰۳۳۰.۰۲۳۰، ۰۲۱۰.۰۲۱۰

Slow light Properties Optimization in line defect photonic crystal waveguide using Particle Swarm Optimization

Sayed mohammad mirjalili¹, Kambiz abedi¹, and Seyedali mirjalili²

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Electrical and Computer Engineering, Shahid Beheshti University, G. C. 1983963113, Tehran, Iran

² School of Information and Communication Technology, Griffith University, Nathan, Brisbane, QLD 4111, Australia

Abstract- Line defect Photonic Crystal Waveguides are popular structures in designing optical buffers. In these structures, air holes which are nearer to the center of waveguide have much effect on slow light property. In this literature, in order to control the dispersion and slow the light speed down in line defect PCW, radiuses of these air holes are optimized. Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm is one of the best proposed heuristic optimization algorithms in Artificial Intelligence.

PSO is used to obtain the best value of these radiuses. Calculation results show that there is 20% improvement in Normalized Delay-Bandwidth Product (NDBP).

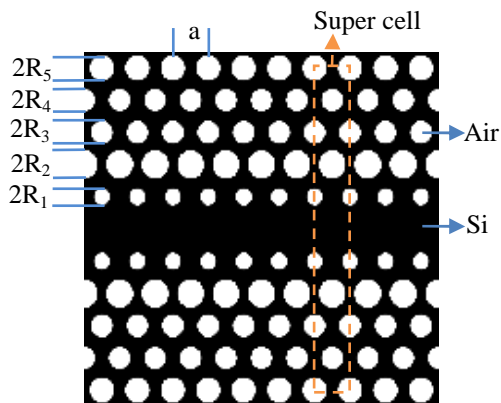
Keywords: PSO, Photonic Crystal waveguide, slow light, NDBP.

PACS No: 210.0210, 230.0230, 250.0250

با توجه به مطالب فوق الذکر می‌توان دریافت که در این زمینه هیچ تحقیقی با تمرکز بر روی فرایند بهینه‌سازی سیستماتیک، انجام نشده است. به عبارت دیگر همه‌ی کارهای گذشته با تغییر پارامترها به صورت تصادفی انجام گرفته‌اند در حالی که در این مقاله تکنیک هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی بکار گرفته شده است. الگوریتم بکار رفته برای بهینه‌سازی، الگوریتم پرندگان (PSO) است که توسط آن NDBP (پهنای باند و ضریب شکست گروه) بهبود یافته است.

۲- طراحی ساختار موجبر بلور فوتونیک

ساختار PCW مورد نظر برای بهینه‌سازی در شکل ۱ نشان داده شده است. موجبر دی‌الکتریک سیلیکونی دارای نقص خطی در شبکه‌ی مثلثی دوبعدی با ثابت شبکه‌ی a می‌باشد. متغیرهای مورد نظر برای بهینه‌سازی، شعاع‌های ردیف‌های اول تا پنجم می‌باشند. دیگر پارامترهای ساختاری ثابت در نظر گرفته شده‌اند.



شکل ۱: ساختار موجبر بلور فوتونی با سوراخ‌های پر شده از هوا.

روابط پاشندگی توسط روش بسط امواج صفحه‌ای (PWE) دو بعدی با ضریب شکست معادل، به دست آمده است. ضریب شکست پس زمینه، ضریب شکست موثر مد قطبیده شده‌ی TE در صفحه‌ی سیلیکون روی عایق (SOI) است. در این مقاله، ضریب شکست معادل برای ضخامت 400nm صفحه‌ی سیلیکون روی اکسید سیلیکون

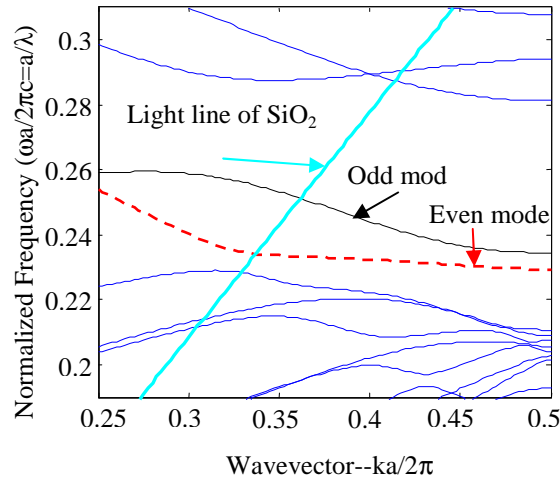
۱- مقدمه

طی سال‌های اخیر، اشتیاق برای استفاده از بلورهای فوتونی بخاطر کاربردهای فراوانشان، افزایش یافته است. نور کند در موجبر بلور فوتونیک (PCW) یکی از موضوعات جذاب برای دست یابی به نور کند در دمای اتاق است. PCWها در اپتیک غیر خطی، پردازش سیگنال در حوزه‌ی زمان و بافرهای تمام نوری نیز بکار می‌روند [۱]. از نظر تئوری و عملی، تحقیقات زیادی در زمینه نور کند در PCWها انجام شده است. معمولاً نور کند همراه با پاشندگی سرعت گروه (GVD) خیلی بالا است. به طور کلی، سرعت گروه کم، GVD زیادی دارد که باعث کاهش پهنای باند مد هدایت کننده می‌شود. بنابراین، یافتن روشی برای ماکزیمم کردن پهنای باند و مینیمم کردن GVD در ساختارهای نورکند، بسیار ضروری است. برای مقایسه‌ی عملکرد ساختارهای نورکند با طول‌ها و فرکانس‌های کاری مختلف، از پارامتر حاصل ضرب تاخیر در پهنای باند نرمالیزه شده (NDBP) استفاده می‌شود:

$$NDBP = n_g \cdot \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \quad (1)$$

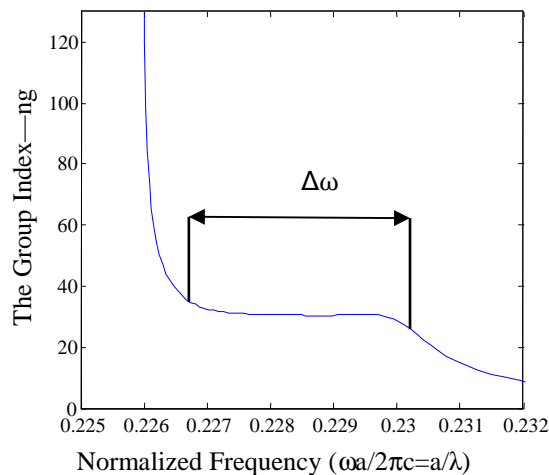
به طوری که n_g ضریب شکست گروه، $\Delta\omega$ پهنای باند نرمالیزه شده و ω_0 فرکانس مرکزی نرمالیزه شده موج نوری است. معمولاً بین پهنای باند و ضریب شکست گروه مصالحه‌ای وجود دارد. بنابراین برای ماکزیمم کردن NDBP، لازم است هر دو پارامتر افزایش یابند. نمودن مقادیر بهینه برای این دو پارامتر یک کار چالش برانگیز است که در این مقاله به آن پرداخته می‌شود.

در مقالات منتشره، پیشنهادات متعددی برای افزایش NDBP داده شده است که از آن جمله می‌توان به استفاده از حلقه بجای سوراخ [۲] و تغییر محل سوراخ‌ها [۳] اشاره نمود. در این مقاله نشان داده می‌شود که ساختار PCW با نقص خطی توانایی رسیدن به NDBP زیاد را دارد، بدون این که تغییری در ساختار پایه ایجاد شود.



شکل ۲: منحنی پاشندگی PCW. خط نوری SiO₂ با در نظر گرفتن n=1.44 رسم شده است.

پهنای باند در موجبرهای بلور فوتونی به ناحیه‌ای از منحنی n_g برحسب فرکانس نرمالیزه محدود می‌شود که در آن ناحیه n_g تقریباً ثابت و دارای تغییرات $\pm 10\%$ باشد [۲]. در شکل ۳ این محدوده نشان داده شده است. آقای Kuramochi و همکارانش نشان دادند که رابطه‌ی تلفات و ضریب شکست گروه به صورت n_g^2 است [۶]. بنابر این داشتن n_g خیلی زیاد، مطلوب نیست.



شکل ۳: منحنی ضریب شکست گروه n_g مد زوج، محدوده‌ی پهنای باند جایی است که در آن n_g $\pm 10\%$ تغییرات دارد.

۳- بهینه سازی توسط الگوریتم پرندگان

PSO الگوریتم محاسباتی اکتشافی است که توسط آقایان Kennedy و Eberhart پیشنهاد شده است [۷ و ۸]. این الگوریتم الهام گرفته شده از رفتارهای جمعی دسته‌ی

بکار رفته ، ۳/۱۸ است.

شکل ۲ رابطه‌ی پاشندگی، برای PCW را نشان می‌دهد. این موجبر دو مد هدایت کننده‌ی زوج و فرد را در گاف باندی خود دارد. تمام مدهایی که زیر خط نوری SiO₂ قرار می‌گیرند، در جهت عمودی بدون تلفات هستند. ظاهراً هر دوی این مدها زیر خط نوری SiO₂ قرار می‌گیرند. با توجه به این که مد زوج، در محدوده وسیع‌تری از بردار موج دارای منحنی پاشندگی خطی‌تری است، بنابراین مد زوج، به عنوان مد اصلی انتخاب می‌شود.

از آنجایی که NDBP رابطه‌ی مستقیم با ضریب شکست گروه n_g دارد، از رابطه زیر بدست می‌آید [۴]:

$$n_g = \frac{C_0}{v_g} = C_0 \frac{dk}{d\omega} \quad (2)$$

به طوری که ω پاشندگی، k بردار موج، C_0 سرعت نور در محیط آزاد و n_g ضریب شکست گروه است. از جمله پارامترهایی که در بحث نورکند بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد پارامتر GVD می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود [۴]:

$$\beta_2 = \frac{d^2k}{d\omega^2} = \frac{dn_g}{d\omega} \frac{1}{C_0} \quad (3)$$

GVD قابل قبول از مرتبه‌ی $10^6 \text{ ps}^2 / \text{km}$ است [۵]. بنابر این ساختار نهایی باید این شرط را تضمین نماید.

در ساختار مورد نظر برای طراحی، به ترتیب سوراخ‌های ردیف اول تا پنجم اثر بیشتری بر خواص نور کند دارند. بنابراین کنترل پاشندگی و نور کند با تغییر شعاع این سوراخ‌ها انجام می‌شود.

۴- نتایج و بحث

در این بخش ابتدا مساله طراحی PCW به صورت ریاضی برای الگوریتم PSO مدل می‌شود. سپس نتایج این الگوریتم و تحلیل‌های مربوطه ذکر خواهد شد.

الف. فرموله کردن مسئله

مسئله به صورت زیر برای PSO فرمول بندی شده است:

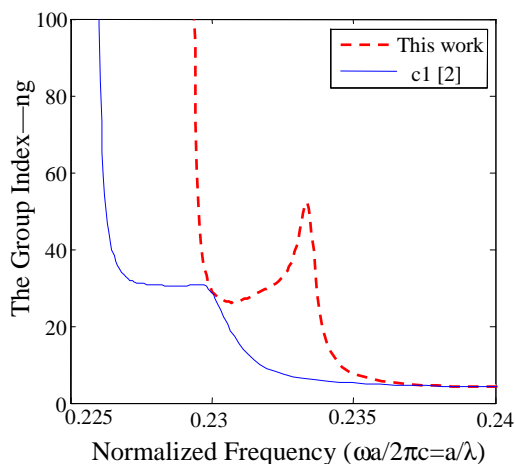
$$\text{Consider : } \vec{x} = [x_1 x_2 x_3 x_4 x_5] = [R_1 R_2 R_3 R_4 R_5]$$

$$\text{Maximize : } f(\vec{x}) = NDBP = \frac{n_g \Delta \omega}{\omega_0}$$

$$\text{Subject to : } GVD < 10^7 \text{ ps}^2 / \text{km}$$

$$\text{Variable range : } 0.2a \leq x \leq 0.49a$$

توجه شود که GVD جواب نهایی، حتما باید در محدوده-ی مجاز باشد.



پرنندگان است. این الگوریتم از تعدادی ذره (جواب‌های کاندید شده) استفاده می‌کند که برای رسیدن به بهترین جواب، در اطراف فضای جستجو پرواز می‌کنند. در ضمن همه‌ی آن‌ها بهترین موقعیت (بهترین جواب) را در مسیر خود، ردیابی می‌کنند. به عبارت دیگر ذرات بهترین جواب خود و بهترین جوابی که دسته پرنندگان تا کنون پیدا کرده اند را در نظر می‌گیرند.

هر ذره در PSO باید موقعیت کنونی، سرعت کنونی، فاصله تا بهترین جواب، pbset فاصله تا بهترین جواب سراسری پیدا شده تاکنون و gbest را برای اصلاح کردن موقعیت خود در نظر بگیرند. بدین صورت هر ذره موقعیت خود را به امید پیدا کردن جوابی بهتر در هر گام از الگوریتم، به روزرسانی می‌کند. PSO به صورت ریاضی در ادامه مدل شده است:

$$v_i^{t+1} = wv_i^t + c_1 \times rand \times (pbest_i - x_i^t) + c_2 \times rand \times (gbest - x_i^t) \quad (4)$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1} \quad (5)$$

به طوری که v_i^t سرعت ذره ی i در مرحله t ، w تابع وزن، c_j ضریب شتاب، $rand$ عددی تصادفی بین ۰ و ۱، x_i^t وضعیت کنونی ذره i در مرحله t ، $pbest_i$ بهترین جوابی که ذره i تاکنون به دست آورده است و $gbest$ بهترین جوابی است که تاکنون اعضای گروه به دست آورده‌اند. اولین قسمت رابطه‌ی ۴، wv_i^t ، توانایی جستجوی کامل فضای جستجوی مساله را برای PSO فراهم می‌آورد.

قسمت دوم، $c_1 \times rand \times (pbest_i - x_i^t)$ و قسمت سوم، $c_2 \times rand \times (gbest - x_i^t)$ ، تفکر شخصی و همکاری ذرات را پیاده سازی می‌کنند.

الگوریتم PSO با قرار گیری تصادفی ذرات در فضای مسئله شروع می‌شود. در هر مرحله (iteration)، سرعت ذرات توسط رابطه‌ی ۴ محاسبه می‌شود. بعد از معین شدن سرعت ذرات، موقعیت توسط رابطه‌ی ۵ به روز رسانی می‌شود. فرایند تغییر موقعیت ذرات، تا زمانی که شرط نهایی تضمین شود، ادامه می‌یابد. در قسمت بعدی ابتدا مسئله‌ی طراحی PCW، برای PSO فرموله می‌شود و به دنبال آن، نتایج و تحلیل‌ها آورده شده است.

شکل ۴: منحنی ضریب شکست گروه n_g برای ساختار بهینه شده و ساختار c1 ارائه شده در [۲].

با اجرای الگوریتم PSO به تعداد ۲۰ بار روی این مسئله، بهترین نتیجه حاصل شد که در جدول ۱ آورده شده است. ذره‌هایی که GVD آن‌ها در محدوده‌ی مجاز نباشد، مقدار تابع هدف آن‌ها، عددی کوچک و منفی (-100) در نظر گرفته شده است.

نتایج بهینه حاصله از الگوریتم پرندگان با نتایج مرجع [۲] مقایسه شده است. در مرجع مذکور، مولفان به ردیف اول و دوم موجبر حلقه‌هایی با شعاع داخلی r_1 و r_2 اضافه کرده‌اند که باعث بهبود NDBR شده است ولی این کار نشان می‌دهد که اضافه کردن حلقه ضروری نیست و می‌توان بدون داشتن حلقه، به ساختار بهینه رسید. نتایج حاصله نشان می‌دهند که ساختار مورد نظر در مقایسه با ساختار C1 در مرجع [۲]، ۲۰٪ بهبود در پارامتر NDBP حاصل شده است. شکل ۴، n_g ساختار بهینه شده و ساختار c1 ارائه شده در [۲] را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که n_g و پهنای باند، هر دو افزایش یافته‌اند. در شکل ۵ ابرسلول c1 در [۲] و بهینه‌سازی شده توسط PSO، نشان داده شده است. از مزایای دیگر ساختار بهینه شده می‌توان به پهنای باند ۲۶nm اشاره نمود که به صورت متقارن حول طول موج مرکزی ۱۵۵۰nm قرار گرفته است.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، PCW دارای نقص خطی با در نظر گرفتن شعاع ۵ ردیف به عنوان پارامترهای ساختاری، بهینه شده است. استفاده از الگوریتم PSO برای اولین بار در این زمینه بکار گرفته شد. نتایج حاصله نشان دادند که NDBP، ۲۰٪ بهبود یافته است.

مراجع

- [1] T. Baba, "Slow light in photonic crystals," Nature Photonics, vol. 2, no. 8, pp. 465–473, Aug. 2008.
- [2] Y. Zhai, H. Tian, and Y. Ji "Slow Light Property Improvement and Optical Buffer Capability in Ring-Shape-Hole," vol. 29, no. c, pp. 3083–3090, 2011.
- [3] F.-C. Leng, W.-Y. Liang, B. Liu, T.-B. Wang, and H.-Z. Wang, "Wideband slow light and dispersion control in oblique lattice photonic crystal waveguides.," Optics express, vol. 18, no. 6, pp. 5707–12, Mar. 2010.
- [4] D. Wang, J. Zhang, L. Yuan, J. Lei, S. Chen, J. Han, and S. Hou, "Slow light engineering in polyatomic photonic crystal waveguides based on square lattice," Optics Communications, vol. 284, no. 24, pp. 5829–5832, Dec. 2011.
- [5] L. H. Frandsen, A. V. Lavrinenko, J. Fage-Pedersen, and P. I. Borel, "Photonic crystal waveguides with semi-slow



شکل ۵: سمت چپ، ابرسلول ساختار c1 در [۲]، سمت راست ابرسلول ساختار بهینه شده.

ب. نتایج محاسباتی و بحث

برای اجرای الگوریتم PSO، ۱۵ ذره با $C_2=2$ ، C_1 در نظر گرفته شده است. برای این ذرات بیشترین سرعت، ۶ و بیشترین تعداد مراحل برای اجرا ۱۰۰ در نظر گرفته شده است. در طول اجرا، w به صورت خطی از ۰/۹ تا ۰/۴ کم می‌شود. در نهایت، شرط متوقف سازی الگوریتم، رسیدن به بیشترین تعداد مراحل، در نظر گرفته شده است.

جدول ۱: نتایج محاسبه شده

	C1 [2]	This work
R_1	0.325a	0.23256a
R_2	0.383a	0.38335a
R_3	0.336a	0.31004a
R_4	0.336a	0.30709a
R_5	0.336a	0.34525a
r_1	0.76 R_1	0 R_1
r_2	0.32 R_2	0 R_2
a(nm)	370	359
ω_0	0.2284	0.2318
n_g	30.8	32.4
$\Delta\omega$	0.0034	0.0039
NDBR	0.458	0.549

- light and tailored dispersion properties.," Optics express, vol. 14, no. 20, pp. 9444–50, Oct. 2006.
- [6] E. Kuramochi, M. Notomi, S. Hughes, A. Shinya, T. Watanabe, and L. Ramunno, "Disorder-induced scattering loss of line-defect waveguides in photonic crystal slabs," Physical Review B, vol. 72, no. 16, pp. 2–5, 2005.
- [7] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks, vol. 4, pp. 1942–1948, 1995.
- [8] R. Eberhart and J. Kennedy, "A new optimizer using particle swarm theory," MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, pp. 39–43.



طراحی جدیدی از فیلتر فرود-فزون نوری مبتنی بر تشدیدگر حلقوی بلور فوتونی

^۱ زهره راشکی، ^۲ محمدعلی منصوری بیرجندی، ^۳ علیرضا طاووسی

^۱ دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، zohreh_rashki@yahoo.com

^۲ دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، mansouri@ce.usb.ac.ir

^۳ دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز، تبریز، ali_r_tavoosi@yahoo.com

چکیده - در این مقاله، یک طراحی جدیدی از فیلتر فرود-فزون نوری مبتنی بر تشدیدگر حلقوی بلور فوتونی دوبعدی ارائه داده ایم ساختار از شبکه مربعی و میله‌هایی از جنس سیلیکون با ضریب شکست $3/46$ در بستر هوا ساخته شده است. نرمالیزه کردن طیف انتقالی این فیلتر با استفاده از روش تفاضل محدود در حوزه زمان ($FDTD$) انجام شده است و برای محاسبات شبیه سازی باند ممنوعه نوری از روش بسط امواج تخت (PWE) استفاده شده است. بازده فرود 100% و پهنای باند نیم توان 15 نانومتر در بازه طول موج $1/662-1/647$ برای این فیلتر بدست آمده است. ساختار ارائه شده کوچک و ابعاد آن $12/4\mu\text{m} \times 13/6\mu\text{m}$ است که مناسب برای مدارات مجتمع نوری و سیستم های مخابرات نوری است.

کلید واژه- بلور فوتونی، تشدیدگر حلقوی، مدارات مجتمع نوری.

کد PACS - $060/0060-220/0220-230/0230-250/0250$

New Design of Optical Add-Drop Filters based on Photonic Crystal Ring Resonator

Zohreh Rashki¹, Alireza Tavousi³

¹Electronics Department, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
Zohreh_r81@yahoo.com

³Electronics Department, University of Tabriz, Tabriz, Iran
ali_r_tavoosi@yahoo.com

Mohammad Ali Mansouri Birjandi²

²Faculty of Electrical and Computer Engineering
University of Sistan and Baluchestan
Zahedan, Iran
mansouri@ece.usb.ac.ir

Abstract In this paper, a new design of add-drop filters based on two-dimensional photonic crystal ring resonator is proposed. The structure is made of a square lattice of silicon rods with the refractive index $n_1=3.46$ in coefficient of air with refractive index $n_2=1$. The normalized transmission spectra of photonic crystal ring resonator are taken using Two-dimensional (2D) Finite Difference Time Domain (FDTD) method. The photonic band gap is calculated by Plane Wave Expansion (PWE) method. Full Width Half Maximum (FWHM) bandwidth of the filter at the output transmission spectrum - from $1.647\sim 1.662\mu\text{m}$ - and dropping efficiency are 15nm , 107% , respectively. The proposed structure is small and the overall dimension is $12.4\mu\text{m}\times 13.6\mu\text{m}$ which is suitable for optical integrated circuits and optical communication systems.

Keywords Photonic Crystal, Ring Resonator, Optical integrated circuits.

PACSNo: 250/0250,230/0230,220/0220,060/0060

1 Introduction

Since 1987, the science of using Photonic crystals is rapidly developing and receives special attention by the scientific and research communities [1]. Photonic Crystals (PCs) are composed of periodic dielectric or metallo-dielectric nanostructures that have alternate low and high dielectric constant materials (refractive index) in one, two or three

dimension(s), which possesses Photonic Band Gap (PBG), where the transmission of light in certain frequency range is absolutely zero [2,3]. Photonic crystals are very suitable candidates for realization of future passive and active optical devices because of their ability to control light-wave propagation, high speed of operation, better confinement, long life period and suitability for integration [4, 5]. By introducing some defects (point and/or line and/or both) in these structures, the periodicity and thus the completeness of the band gap are disturbed and the propagation of light can be localized in the PBG region. This can lead to design of PC based optical devices in the PBG region [6]. In recent years many of optical devices made were based on PCs. i.e. multiplexers, de-multiplexers, polarization beam splitters, add-drop filters, channel-drop filters and so on [7-14]. Add-drop filters (ADFs) plays an important role in a wavelength division multiplexing (WDM) system, which enables to transmit data at multiple carrier wavelengths simultaneously throughout optical fibers for the substantial demand of the optical transmission bandwidth in optical communication networks [15]. Various channel drop filters (CDFs) exist,

such as fiber Bragg gratings, Fabry–Perot filters, and arrayed waveguide gratings and ring resonator. Resonant CDFs, which involve waveguide-cavity interaction, are other attractive applicants for this intention [9-11]. Generally, the ring resonator based on ADF provides efficient wavelength selection, scalability, narrow line width, flexible mode design and small channel spacing [6]. In this paper a two-dimensional add-drop filters by using photonic crystal ring resonator is designed and investigated. The desired wavelength performance window is located within L-band and the U-band of optical telecommunication bands. Simulation of the designed filter is carried out by 2D-FDTD method. The Plane Wave Expansion method is employed to calculate photonic band gap. The rest of the paper is arranged as follows: in the second part of the paper, we discuss the design procedures. We discuss the simulation results in Section 3 and finally in the last section of the paper we express the conclusions.

2 Structure Design

The design in this paper is based on two-dimensional Square lattice of silicon rods (refractive index $n_{\text{si}}=3.4641$) in an air background ($n_{\text{air}}=1$). The number of rods in the x-z plane is 21×23 .

To find the best rod's radii for which the PBG is maximum in the TE polarization, we draw the gap map in terms of filling ratio (r/a). The best filling ratio that the broadest PBG occurs for it, obtains for $r/a = 0.17$.

There are two TM PBGs exist in the structure which are indicated by blue region. As TE PBG is not present in the structure, TM polarization is considered for this simulation. The normalized frequency of first reduced TE PBG is observed from $0.284 a/\lambda$ to $0.441 a/\lambda$ whose corresponding wavelength ranges from 2073 nm to 1335 nm and second PBG is from $0.704 a/\lambda$ to $0.749 a/\lambda$ whose corresponding wavelength spans from 836 nm to 786 nm. Fig.1 shows the PC's perfect lattice band

diagram which is also known as PBG and it is calculated for $r/a=0.17$.

Compared to point or line defects, ring resonators offer scalability in size, adaptability in structure design because of vast design parameters and flexibility in mode design due to their multi-mode nature. Some of these parameters are radii of scattering rods and the dielectric constant of the structure. The ring resonator coupled to a line defect waveguide from its side, traps photons at resonant frequency from the waveguide through evanescent coupling modes, and emits almost whole of them in the drop waveguide. Using this method, perfect power transfer and complete wavelength selective operation from the bus waveguide to the drop waveguide are obtained in our filters [6].

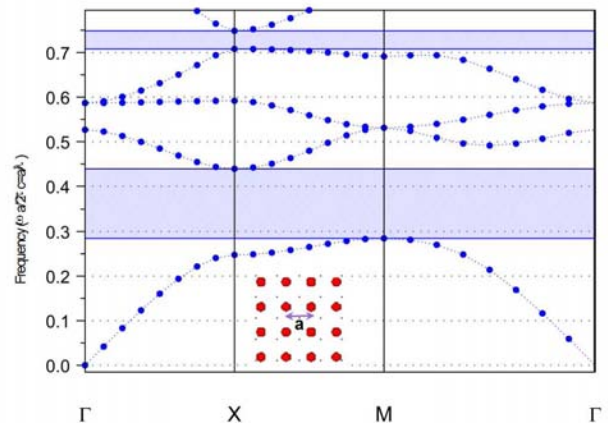


Fig1. Photonic crystal perfect lattice frequency band structure for TM polarization mode.

Fig. 2 shows the PCRR structure that was created by removing a circular row of rods and concoction two circles half.

As shown in Fig. 2, by adding the four extra scatterer rods at each corner of the ring resonator with 1.4 rods radius, which are the same as other rods, the performance of the ring resonator is improved. Back-reflections at the sharp corners of the ring lead to appear undesirable propagating mode. Adding the four extra rods, act like a right-angled reflector, minimizes the effect of these modes. The inner rods designed perfectly circular to improve the PCRR performance.

To form the circular shape of our PCRR outer rods and to optimize its efficiency, we moved defects labeled as D1 and D2 from their primary places.

2.1 Add-Drop Filters

Fig. 3 shows the final design of our proposed channel add-drop filter. Which consists of bus and dropping waveguides and diamond resonator (coupling element) Also, it has four ports, among them ports A and B are the input and transmission output terminals whereas ports C and D are forward and backward dropping terminals, respectively. The overall dimension of the structure is about $12.4\mu\text{m} \times 13.6\mu\text{m}$ which is small. The filter's desired wavelength performance is the conventional L and U bands of optical telecommunications

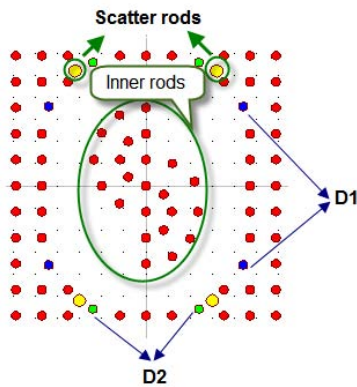


Fig.2.Demonstration of the designed PCRR

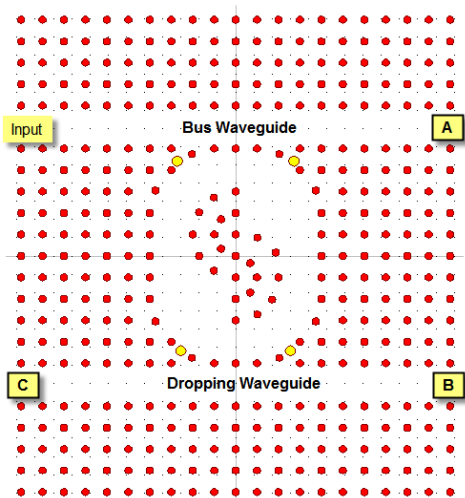
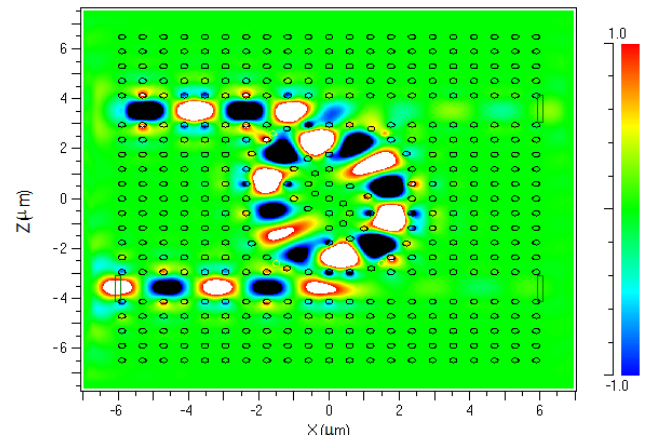


Fig.3. Schematic layout of ADF

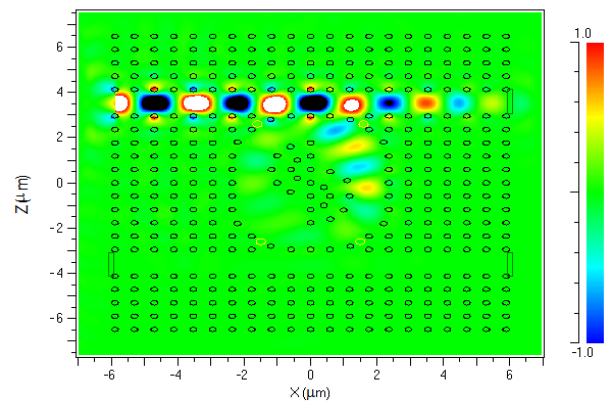
3 Simulation results

A Gaussian optical pulse, covering the whole frequency range-of-interest, is launched at the input port. Power monitors were placed at each of the other three ports (A, B) to collect the transmitted spectral power density after Fourier-transformation. The filter's transmission features are calculated using the FDTD numerical method with perfectly matched layers (PML) absorbing boundary conditions. Fig. 4 demonstrates the numerical simulation results for the resonant mode at $1.655\mu\text{m}$ and non-resonant mode at $1.60\mu\text{m}$.

At resonant wavelength, the electric field of the waveguide is completely coupled to the ring and reaches to output, where at off resonance, i.e. Fig. 4(b) $1.60\mu\text{m}$, it doesn't couple with the ring and the fields are reflected in the counter direction.



(a)



(b)

Fig.4 The filter's FDTD numerical simulation results at (a) 1.655 μm (b) 1.60 μm

The filter's power transmission spectrum response is calculated as the relation of transmitted power versus different wavelengths. Fig. 5 shows the numerical simulation results for the wavelengths range 1.60~1.70 μm . The filter's dropping efficiency is 107% at the 1.655 μm and FWHM bandwidth of 15nm- from 1.647~1.662 μm - is achieved at the output transmission spectrum.

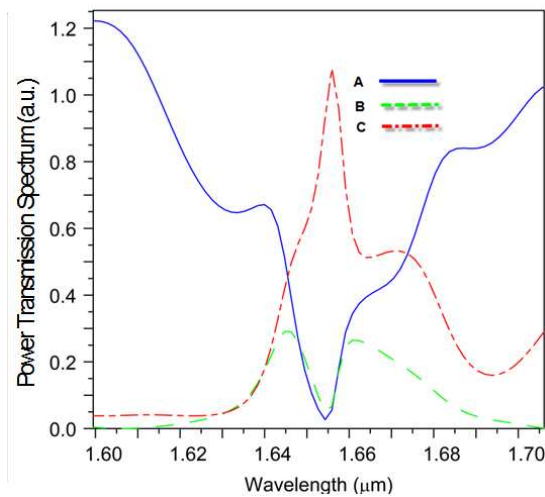


Fig.5. Transmission spectral response of the proposed ADF

4 calculations

We proposed an optical add-drop filters based on two-dimensional photonic crystal ring resonators. The widest photonic band gap obtained for the filling ratio of $r/a = 0.17$. Filter's dropping efficiency for the operational window which was in the L and U bands of optical telecommunications, obtained 107% and Full Width Half Maximum bandwidth of

the filter at the output transmission spectrum - from 1.647~1.662 μm - was 15nm. Our proposed structure is small and the overall dimension is 12.4 μm ×13.6 μm which is suitable for photonic integrated circuits

References

- [1] J. Joannopoulos, S.G. Johnson, N. Winn and D. Meade R, *Photonic Crystal: Molding the flow of light*, Princeton University Press; 2nd Ed. 2008
- [2] K. Inoue and K. Ohtaka, *Photonic Crystals: Physics, Fabrication and Applications*, Springer-Verlog, Berlin Heidelberg, pp 274-277, 2004
- [3] M. A. Mansouri-Birjandi, M. K. Moravvej-farshi and A. Rostami, *Ultra-fast low threshold all-optical switch implemented by arrays of ring resonators coupled to a Mach-Zehnder interferometer arm: based on 2D- photonic crystals*, APPLIED OPTICS, Vol. 47, pp 5041-5050, 2008.
- [4] M.Y.Mahmoud, GH.Massou, A.Taalbi and Z.M.Chekroun, *Optical channel drop filters based on photonic crystal ring resonators*, Optics Communications 285 (2012) 368–372
- [5] A.Taalbi, GH.Massou and M.Y.Mahmoud, *new design of channel drop filters based on photonic crystal ring resonators*, in press, Optics (2012)
- [6] S. Robinson and R. Nakkeeran, *PCRR based add drop filter for ITU-T G.694.2 CWDM systems*, OPTIK - INT. J. LIGHT ELECTRON OPT., 2012
- [7] M. Djavid and M.S. Abrishamian, *Multi - channel drop filters using photonic crystal ring resonators*, OPTIK - INT. J. LIGHT ELECTRON OPT. 2012
- [8] G. Manzacca, D. Paciotti, A. Marchese, M.S. Moreolo and G. Cincotti, *2D photonic crystal cavity-based WDM multiplexer*, PHOTON. NANOSTRUCT. FUNDAM. APPL. 5, pp 164–170, 2007
- [9] A. Ghaffari, F. Monifi, M. Djavid and M.S. Abrishamian, *Heterostructure wavelength division demultiplexers using photonic crystal ring resonators*, OPT. COMMUN. 281, pp 4028–4032, 2008
- [10] V. Zabelin, L.A. Dunbar, N. Le Thomas, R. Houdre, M.M.V. Kotlyar, L. O'Faolain and T.F. Krauss, *Self-collimating photonic crystal polarization beam splitter*, OPT. LETTERS 32, pp530–532, 2007
- [11] Z. Qiang, W. Zhou and R. A. Soref, *Optical add-drop filters based on photonic crystal ring resonators*, OPT. EXPRESS 15, 1823-1831, 2007
- [12] C. C. Wang and L. W. Chen, *Channel drop filters with folded directional couplers in two-dimensional photonic crystals*, PHYSICA B 405, pp1210–1215, 2010
- [13] C. C. Wang and L. W. Chen, *Channel drop filters with folded directional couplers in two-dimensional photonic crystals*, PHYSICA B 405, pp1210–1215, 2010
- [14] S. Fan, P. R. Villeneuve, J. D. Joannopoulos, and H. A. Haus, *Channel drop filters in photonic crystals*, OPT. EXPRESS, Vol. 3, 4-11, 1998
- [15] K. H. Hwang and G. H. Song, *Design of a high-Q channel-drop multiplexer based on the two-dimensional photonic-crystal membrane structure*, OPT. EXPRESS, vol. 13, pp. 1948–1957, 2005



مشاهده رخشانی قوی در ناحیه آبی توسط کلونید نانوکریستال های سیلیکون کارباید

الهام شیخی، نسترن منصور، اشکان مومنی، روح الله کریم زاده و مصطفی پورامینی*

گروه فیزیک دانشگاه شهید بهشتی، اوین، ۱۹۸۳۹، تهران، ایران

* گروه شیمی دانشگاه شهید بهشتی، اوین، ۱۹۸۳۹، تهران، ایران

چکیده - در این کار تحقیقاتی، کلونید نانوکریستال های سیلیکون کارباید توسط فرایند کندگی لیزری از هدف سیلیکون در محیط اتانول تولید و خواص رخشانی - نوری آن ارایه شده است. طیف فرابنفش - مرئی کلونید، افزایش گاف انرژی نسبت به حالت توده ای را نشان می دهد و با استفاده از این طیف اندازه نانوکریستال ها تقریبا $2/85$ نانومتر محاسبه شده است. طیف رخشانی قوی از نانوکریستال های کلونیدی سیلیکون کارباید در ناحیه آبی از طیف مرئی و با بیشینه ی طول موجی 430 نانومتر مشاهده شده است. خواص نوری مشاهده شده در نانوکریستال های سیلیکون کارباید، این مواد را گزینه باارزشی برای ساختن وسایل اپتوالکترونیکی از قبیل دیود های گسیل نوری و لیزرها می نماید.

کلید واژه- پردازش لیزری، نانوکریستال های سیلیکون کارباید، رخشانی قوی، گسیل نور آبی

کد PACS - ۱۶۰.۰۱۶۰، ۲۳۰.۰۲۳۰، ۲۵۰.۰۲۵۰

Observation of Strong Blue Photoluminescence in Silicon Carbide Nanocrystals Colloid

Elham Sheikhi, Nastaran Mansour, Ashkan Momeni, Rouhallah Karimzadeh and Mostafa Pouramini*

Physics Department, Shahid Beheshti University, Evin, 19839, G. C., Tehran, Iran

* Chemistry Department, Shahid Beheshti University, Evin, 19839, G. C. Tehran, Iran

Corresponding Author E-mail: n-mansour@sbu.ac.ir

Abstract- In this research work, photoluminescence properties of silicon carbide nanocrystals colloid is reported. The nanocrystals colloid is fabricated by nanosecond pulsed laser ablation of a silicon wafer in ethanol interface. UV-visible absorption spectroscopy shows increase in band gap of the silicon carbide nanocrystals compared to the bulk medium and the spectrum is used to calculate the nanocrystal sizes about 2.85 nm. We observe a strong blue photoluminescence with the peak value about 430 nm which is well correspond to the measured band gap of the nanocrystals. The observed blue photoluminescence corroborate the potential of the silicon carbide nanocrystals in optoelectronics devices such as light emitting diode and lasers.

Keywords: laser material processing, silicon carbide nanocrystals, strong photoluminescence, blue emission

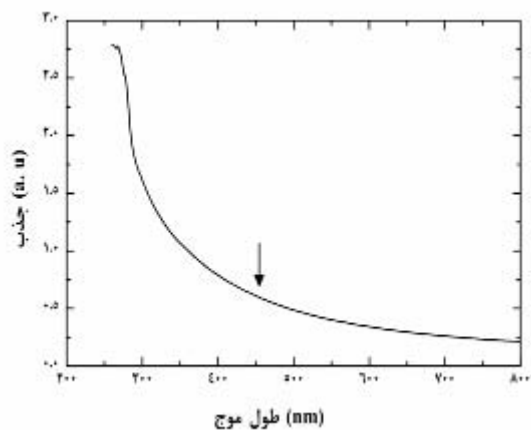
PACS No: PACS No: 160.0160, 230.0230, 250.0250.

۱- مقدمه

شده و با استفاده از طیف جذبی اندازه نانوکریستال‌ها تخمین زده شده است. همچنین به منظور بررسی خواص تابشی کلئوئید از طیف سنج رخشانی استفاده شده است.

۳- نتایج و بحث

شکل ۱ طیف جذبی فرابنفش- مرئی کلئوئید نانوکریستال‌های سیلیکون کارباید را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، از طول موج تقریباً ۴۵۰ نانومتر آهنگ جذب به طور ناگهانی افزایش می‌یابد. مشاهده جذب در بازه طول موجی ۳۰۰-۴۵۰ نانومتر نشان دهنده افزایش گاف انرژی نانوکریستال‌های سیلیکون کارباید نسبت به حالت توده ای آن است که این پدیده به اثر کوانتومی اندازه ذرات نانوکریستال‌ها بر روی گاف نواری نانوساختار نسبت داده می‌شود و می‌توان با استفاده از طیف جذبی بدست آمده اندازه نانوکریستال‌های سیلیکون کارباید را تخمین زد.



شکل ۱- نمودار طیف جذب فرابنفش- مرئی کلئوئید نانوکریستال‌های سیلیکون کارباید.

با داشتن تغییر گاف انرژی نانوکریستال‌های سیلیکون کارباید نسبت به حالت توده ای آن، اندازه قطر نانوذرات (d) طبق رابطه ی زیر قابل محاسبه است [۶].

$$d = \sqrt{\frac{h^2}{2\Delta E_g} \left(\frac{1}{m_h^*} + \frac{1}{m_e^*} \right)} \quad (2)$$

در این رابطه m_h^* و m_e^* به ترتیب جرم مؤثر حفره و الکترون ($m_h^* = 0.387m_0$ و $m_e^* = 0.394m_0$) را نشان می‌دهند که در آن m_0 جرم الکترون در حالت سکون، h ثابت پلانک است و ΔE_g اختلاف انرژی گاف نواری مستقیم نانوکریستال‌ها با حالت توده ای ماده را بیان می‌کند. به عبارت دیگر:

نیمه هادی سیلیکون کارباید باتوجه به جنبش زیاد الکترون‌های آن و پایداری حرارتی گزینه خوبی در ساخت وسایل فوتونیک با درجه حرارت بالا می‌باشد. در سال‌های اخیر خواص نوری نانوساختارهای سیلیکون کارباید برای استفاده در سلول‌های خورشیدی، فوتودیودها، و نشانگرهای^۱ بیولوژیکی توجه محققین جهان را جلب نموده است [۴-۱]. روش‌های مختلفی برای سنتز نانوساختارهای سیلیکون کارباید از قبیل رسوب دهی شیمیایی بخار، حکاکی الکتروشیمیایی، هیدروحرارتی و پراش مگنترونی به کار رفته است. از طرفی با استفاده از پدیده کندگی لیزری از هدف سیلیکون در محیط گاز متان تشکیل نانوساختارهای سیلیکون کارباید گزارش داده شده است [۵].

در این گزارش، نانوکریستال‌های سیلیکون کارباید به روش کندگی لیزری در محیط اتانول توسط لیزر تپی نئودیمیوم یاق (ND:YAG) با طول موج ۱۰۶۴ نانومتر تولید شده است. مادامی که تپ‌های لیزر جهت کندگی به نمونه تابیده می‌شوند، در منطقه کندگی باتوجه به فشار و درجه حرارت بالا پیوندهای C-C و C-O مولکول‌های اتانول شکسته شده و واکنش زیر برقرار می‌شود:

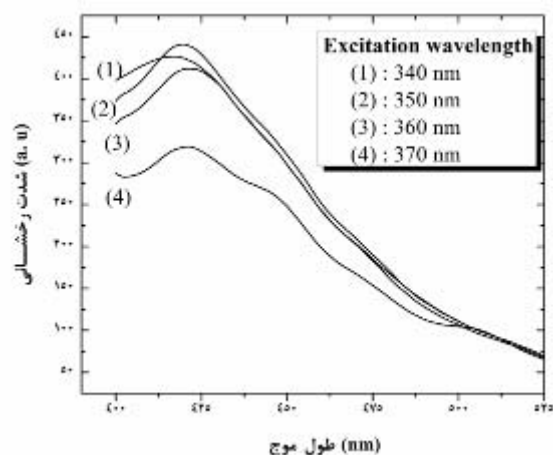


اتم کربن با اتم‌های سیلیکون برهمکنش نموده و نانوکریستال‌های سیلیکون کارباید حاصل می‌شود. مکانیزم گسیل نور از کلئوئید نانوکریستال‌های سیلیکون کارباید مورد مطالعه قرار گرفته و اثر محدود سازی کوانتومی^۲ حامل‌های بار بر این نمونه بررسی شده است.

۲- روش تهیه نانوکریستال‌های سیلیکون کارباید

برای تولید نانوکریستال‌های کلئوئیدی سیلیکون کارباید، یک ویفر سیلیکون نوع n درون یک محفظه شیشه‌ای محتوی اتانول تحت تابش تپ‌های لیزر نئودیمیوم یاق با پهنای ۱۸ ns قرار داده شده است. باریکه لیزر با پروفایل گاوسی توسط یک عدسی با فاصله کانونی ۵۰ سانتی متر بر سطح هدف متمرکز شده است. طیف جذبی کلئوئید توسط طیف سنج فرابنفش- مرئی اندازه گیری

۴۱۰ الی ۴۳۰ نانومتر است که در تطابق خوبی با گزارشات می باشد [۷].



شکل ۳- نمودار طیف رخشانی نانوکریستال های سیلیکون در طول موج های مختلف.

اشاره به این نکته ضروری است که این بازه طول موج برانگیختگی (۳۷۰-۳۴۰ nm) در نزدیکی محدوده گاف انرژی مستقیم نانوکریستال های سیلیکون کاربرد قرار گرفته است. این تابش های آبی مشاهده شده را می توان براساس مدل محبوس شدن کوانتومی برای نانوکریستال های سیلیکون کاربرد با اندازه متوسط ۲/۸۵ nm توجیه کرد. بر این اساس و با استفاده از تقریب جرم مؤثر، انرژی گاف E_g^* بین نوارهای ظرفیت و رسانش با کاهش اندازه نانوذرات طبق رابطه زیر افزایش می یابد [۷]:

$$E_g^* = E_g + \frac{h^2}{8\mu r^2} - \frac{1.8e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r} \quad (5)$$

که در آن μ جرم کاهیده اکسیتون $\mu = m_e m_h / (m_e + m_h)$ ، ϵ ثابت دی الکتریک سیلیکون کاربرد $(\epsilon \cong 10)$ ، $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} F/m$ ، r شعاع نانوکریستال ها است. برای سیلیکون کاربرد با ابعاد ۲/۸۵ نانومتر، انرژی گاف نواری به مقدار تقریباً ۳ eV افزایش یافته است که با بیشینه گسیل قرار گرفته در طول موج ۴۱۵ نانومتر از طیف رخشانی کلئوئید کاملاً مطابقت دارد. بنابراین می توان گفت که گسیل مشاهده شده در ناحیه آبی از طیف مرئی، ناشی از فرآیند باز ترکیب زوج الکترون-حفره در نانوکریستال های سیلیکون کاربرد است.

$$\Delta E_g = E_g^* - E_g \quad (3)$$

و

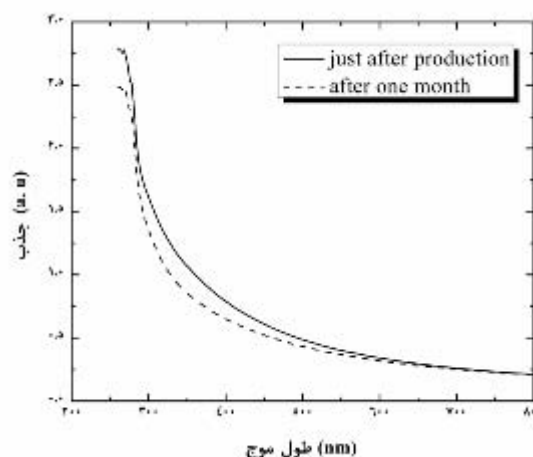
$$E_g^* = hc / \lambda_c \quad (4)$$

انرژی گاف نواری نانوکریستال ها با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شده و نتایج حاصل از آن در جدول ۱ آمده است. انرژی گاف نواری حالت توده ای سیلیکون کاربرد (E_g) برابر با ۲/۲۵ الکترون ولت است.

جدول ۱- اندازه متوسط نانوکریستال های سیلیکون کاربرد.

λ_c (nm)	E_g^* (ev)	ΔE_g (ev)	d (nm)
۴۵۰	۲/۷۵	۰/۵	۲/۸۵

پایداری کلئوئید نانوکریستال های سیلیکون کاربرد در شکل ۲ نشان داده شده است. طیف جذب کلئوئید بلافاصله پس از تولید (منحنی توپر) با طیف جذب آن پس از یک ماه تولید (منحنی نقطه چین) مقایسه شده است. همان طور که این شکل نشان می دهد تغییر قابل ملاحظه ای در طیف جذبی مشاهده نشده است که حاکی از پایداری نانوکریستال های سیلیکون کاربرد در اتانول است.

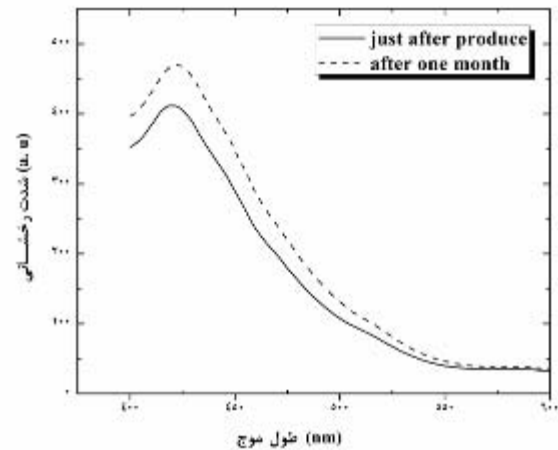


شکل ۲- نمودار طیف جذب فرابنفش- مرئی کلئوئید نانوکریستال های سیلیکون کاربرد، منحنی توپر حاصل از نمونه درست پس از تولید، منحنی نقطه چین حاصل از نمونه یک ماه پس از تولید است.

شکل ۳ طیف رخشانی کلئوئید در طول موج های برانگیختگی ۳۴۰، ۳۵۰، ۳۶۰ و ۳۷۰ نانومتر را نشان می دهد. بیشینه تابشی این کلئوئید در طول موج های

- [4] Cui L, Li JJ, Sun J, Du XW, *High-density SiC nanocrystals with strong photoluminescence via a nitrogen-loss route*, *Semicond Sci Technol* 2008;23(035015): 1-4.
- [5] Ishiguro T, Shoji T, Inada H, *Synthesis of C-N and Si-C films by pulsed laser ablation with frozen N₂ and CH₄ targets*, *Appl Phys A* 1999;69:S149-52.
- [6] Pradhan S, Chen S, Zou J and Kauzlarich SM, *Photoconductivity of Langmuir-Blodgett Monolayers of Silicon Nanoparticles*, *J. Phys. Chem. C* 2008, 112, 13292-1329.
- [7] Li Y, Chen C, Li JT, Yang Y and Lin ZM, *Surface Charges and Optical Characteristic of Colloidal Cubic SiC Nanocrystals*, *Nanoscale Research letters*, 2011, 6:454.

شکل ۴ پایداری طیف رخشانی کلئوئید نانوکریستال های سیلیکون کارباید را در طول موج برانگیختگی ۳۷۰ نانومتر بلافاصله پس از تولید و یک ماه پس از تولید نشان می دهد. مطابق این شکل، تغییر عمده ای در طیف رخشانی کلئوئید مشاهده نمی شود. طیف رخشانی پایدار نانوکریستال های سیلیکون کارباید در ناحیه آبی از طیف مرئی، این کلئوئید را به گزینه خوبی جهت کاربردهای اپتیکی و نیز تصویربرداری پزشکی تبدیل می کند.



شکل ۴- طیف رخشانی کلئوئید نانوکریستال های سیلیکون کارباید در طول موج برانگیختگی ۳۷۰ نانومتر.

- 1- Biological labeling
2- Quantum confinement effect

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق، کلئوئید پایدار نانوکریستال های سیلیکون کارباید به روش کندگی لیزری بر روی ویفر سیلیکون در محلول اتانول سنتز شده است. طیف جذبی فرابنفش- مرئی کلئوئید حاکی از پایداری و تشکیل نانوکریستال ها به اندازه ۲/۸۵ نانومتر است. طیف رخشانی کلئوئید، نشان از گسیل نور آبی قوی با بیشینه واقع در محدوده طول موجی ۴۳۰-۴۱۰ نانومتر است که این ویژگی کلئوئید نانوکریستال های سیلیکون کارباید را به عنوان گزینه مناسبی جهت کاربرد در وسایل فوتونیک معرفی می نماید.

مراجع

- [1] Kim HY, Bae SY, Kim NS, Park J, *Fabrication of SiC-C coaxial nanocables: thickness control of C outer layers*, *Chem Commun* 2003:2634-5.
- [2] Rossi AM, Murphy TE, Reipa V, *ultraviolet photoluminescence from 6H silicon carbide nanoparticles*, *Appl Phys Lett* 2008;92(253112):1-3.
- [3] Pei LZ, Tang YH, Chen YW, Guo C, Yuan XX, Zhang Y, *Preparation of silicon carbide nanotubes by hydrothermal method*, *J Appl Phys* 2006;99(114306): 1-6.