بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

کاهش پاشندگی تارهای بلور فوتونی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات

افروز افسری[۱] ، میر مجتبی میرصالحی[۲]

[۱] گروه برق، موسسه آموزش عالی بهار، مشهد

[۲] گروه برق، دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده – در این مقاله پاشندگی تارهای بلور فوتونی با ساختار مربعی مورد تحقیق قرار گرفته است. ابتدا اثر تغییر قطر حفره‌های هوایی هر حلقه حول هسته به صورت مجزا بررسی شده است. سپس به منظور کمینه کردن پاشندگی از الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات استفاده شده است که در آن شعاع حفره‌های هوایی سه حلقه اطراف هسته به عنوان ذره در نظر گرفته شده است. نشان داده شده است که نمودار پاشندگی تار بهینه سازی شده در بازه طول موجی ۱/۲ تا ۱/۶ میکرومتر هموار و در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر برابر (ps/(km.nm $۱/۸ \times ۱۰^{-۳}$ است.

کلید واژه- تار بلور فوتونی، شبکه مربعی، پاشندگی.

Reducing the dispersion of photonic crystal fibers utilizing particle swarm optimization algorithm

Afrooz Afsari[1], Mir Mojtaba Mirsalehi[2]

[1.] Department of Electrical Engineering, Bahar Institute of Higher Education, Mashhad
[2.] Department of Electrical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract- In this paper, the dispersion of photonic crystal fibers with square structure is investigated. First, the effect of changing the diameter of the air holes in each ring around the core is studied separately. In order to minimize the dispersion, particle swarm optimization algorithm is used in which the radii of air holes in the three rings around the core are considered as a particle. It is demonstrated that the dispersion diagram of the optimized fiber is flat over the wavelength interval of 1.2-1.6 µm and is about 1.8×10^{-3} ps/(km.nm) at the wavelength of 1.55 µm.
Keywords: photonic crystal fibers, square lattice, dispersion.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-03]

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱- مقدمه

تارهای بلور فوتونی دارای آرایشی منظم و متناوب از حفره‌های هوا در قسمت غلاف هستند که این حفره‌ها در اطراف هسته و موازی محور تار ایجاد می‌شوند [۱]. پاشندگی در تارهای نوری یک پدیده شناخته شده است که باعث پهن شدن پالس‌های نوری منتشره در تار در حوزه زمان می‌شود. پاشندگی تارهای بلور فوتونی به متغیرهای طول موج (λ)، ثابت شبکه (Λ) و نسبت قطرحفره‌ها به ثابت شبکه (d/Λ) بستگی دارد [۱]. دو روش برای حذف اثر پاشندگی وجود دارد. یکی جبران پاشندگی و دیگری تغییر ساختار هندسی تار.

در روش جبران پاشندگی از یک تار با پاشندگی منفی استفاده می‌شود تا پاشندگی مثبت تار مورد نظر خنثی شود. در دومین روش از تغییر ساختار هندسی تار برای کاهش پاشندگی استفاده می‌شود. از نمونه کارهایی که برای کاهش پاشندگی با استفاده از روش دوم انجام شده است می‌توان به تغییر شکل حفره‌های هوایی اطراف هسته تار از دایروی به بیضوی [۲]، تغییر قطر حفره های هوایی به‌صورت یک در میان در هر حلقه هوایی اطراف هسته [۳] و پر کردن حفره‌های هوایی با مایعات با ضرایب شکست مختلف [۴] اشاره کرد.

در این مقاله برای کاهش پاشندگی از روش تغییر ساختار هندسی تار بلور فوتونی با تغییر قطر سه حلقه هوایی اطراف هسته استفاده شده است. سپس با استفاده از الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات[۱] مقادیر بهتری برای قطر حفره‌ها به منظور کاهش پاشندگی تار ارائه شده است.

۲- مبانی نظری

پاشندگی تارهای بلور فوتونی از دو قسمت پاشندگی ماده و موجبر تشکیل شده است. پاشندگی ماده در تارهای بلور فوتونی ناشی از این است که موادی که هسته تار از آن ساخته می‌شوند پاشنده هستند، بدین معنی که ضریب شکست آن‌ها تابع طول موج است. پاشندگی موجبر ناشی از چگونگی توزیع میدان الکتریکی در هسته و غلاف تار است. رابطه کلی پاشندگی تار بلور فوتونی به صورت رابطه زیر است [۴].

$$D_t(\lambda)=\frac{\lambda}{c}\left(\frac{d^2n(\lambda)}{d\lambda^2}\right)-\frac{\lambda}{c}\left(\frac{d^2Re[n_{eff}(\lambda)]}{d\lambda^2}\right) \qquad (۱)$$

در این رابطه $n_{eff}(\lambda)$ ضریب شکست مؤثر مد، $n(\lambda)$ ضریب شکست ماده هسته تار، λ طول موج و c سرعت نور در خلا است.

در این مقاله برای کاهش پاشندگی در تار بلور فوتونی از الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات استفاده شده است [۵]. در این الگوریتم مقادیر پارامترها را می‌توان به شکل مجموعه‌ای از ذرات تصور کرد که در فضایی متشکل از تجارب خصوصی هر ذره و برخی از ذرات دیگر، حرکت می‌کند. در هر مرحله از الگوریتم، ذره به سمت موقعیت بهتر جا به جا می‌شود. موقعیت بعدی برای هر ذره با توجه به دو مقدار به دست می‌آید. اولین مقدار بهترین موقعیتی است که آن ذره تاکنون داشته است و دومین مقدار بهترین موقعیتی است که تابه‌حال توسط سایر ذرات به‌دست‌آمده است. $x_i(t)$ موقعیت و $v_i(t)$ سرعت ذره i ام را در لحظه t نشان می‌دهد. به بهترین تجربه هر ذره p_{best} و به بهترین موقعیت به دست آمده توسط سایر ذرات g_{best} گفته می‌شود. الگوریتم بعد از یافتن دو مقدار بالا، سرعت و موقعیت جدید ذره را بر طبق معادلات (۲) و (۳) به روز می‌کند:

$$v_i(t+1) = wv_i(t) + c_1\, rand_1(pbest_i(t) - x_i(t)) + c_2\, rand_2(gbest_i(t) - x_i(t)) \qquad (۲)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \qquad (۳)$$

در این معادلات w ضریب اینرسی است که به صورت خطی کاهش می‌یابد و معمولاً در بازه [۰-۱] است. c_1 و c_2 ضرایب یادگیری هستند که در بازه [۰-۲] انتخاب می‌شوند. $rand_1$ و $rand_2$ هم دو عدد تصادفی در بازه [۰-۱] هستند.

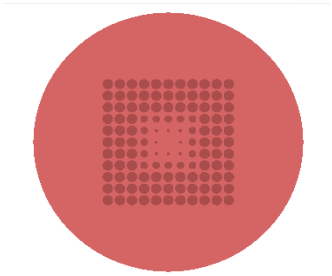
۳- نتایج حاصل از شبیه سازی

در این پژوهش از یک تار بلور فوتونی با ساختار مربعی که حاوی پنج حلقه حفره هوایی اطراف هسته سیلیکا است استفاده شده است. ثابت شبکه تار ۱/۳۸ میکرومتر در نظر گرفته شده است. ساختار این تار در شکل ۱ نشان داده شده است.

[۱] Particle Swarm Optimization

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-03]

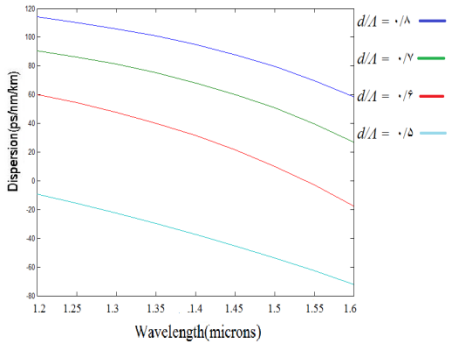


شکل ۱- ساختار تار بلور فوتونیک استفاده شده در مقاله

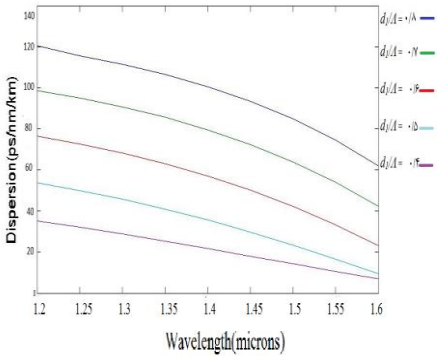
اثر تغییر قطر حفره‌های هوایی بر پاشندگی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور مطابق شکل ۲ با در نظر گرفتن مقادیر مختلف (d/Λ)، تغییرات نمودار پاشندگی بر حسب طول موج در بازه ۱/۷-۱/۲ میکرومتر محاسبه شده است. مشاهده می‌شود که هر قدر قطر حفره‌های هوایی اطراف هسته کاهش یابد پاشندگی نیز کاهش پیدا می‌کند. اثر تغییر قطر حفره های هوایی به صورت جداگانه نیز بررسی شده است که در شکل های ۳، ۴ و ۵ مشاهده می‌شود. نتیجه‌ای که از بررسی این نمودارها مشاهده می شود این است که با کاهش قطر حفره های هوایی اولین حلقه، پاشندگی کاهش یافته و نمودار پاشندگی نیز هموارتر می‌شود. با کاهش قطر حفره‌های هوایی دومین حلقه پاشندگی کاهش می یابد و میزان کاهش آن بیشتر از حالت تغییر قطر اولین حلقه هوایی است. با کاهش قطر حفره های هوایی سومین حلقه نیز پاشندگی کاهش می یابد ولی اثر آن کمتر است. دلیل آن این است که مد بیشتر در هسته محبوس است و قطر حفره های خارجی اثر کمتری بر پاشندگی دارد.

با استفاده از الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات و به کمک نرم افزار لومریکال به بهینه سازی پاشندگی تار بلور فوتونی با ساختار مربعی و یافتن مقادیر مناسب تری برای قطر حلقه‌های هوایی پرداختیم. مقادیر حاصل از این بهینه سازی برای نسبت قطر به گام حفره‌ها عبارتند از d_1/Λ =۰/۱۵۵ ، d_2/Λ =۰/۳۰۹ ، d_3/Λ =۰/۶۷۷ و d_4/Λ = ۰/۷۴۲. مقدار پاشندگی در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر برابر 1.8×10^{-3} ps/(km.nm) و نمودار پاشندگی مطابق شکل ۶ حاصل شد. با استفاده از این الگوریتم میزان پاشندگی از 9.5×10^{-3} به 1.80×10^{-3} ps/(km.nm) کاهش پیدا کرد .

روابط به کار گرفته شده در الگوریتم PSO به صورت معادلات (۲) و (۳) که در بخش قبل توضیح داده شد هستند. ذره در اینجا شعاع حفره‌ها در هر حلقه است. شعاع حفره‌های سه حلقه هوایی نخست اطراف هسته به عنوان متغیر در نظر گرفته شده است. جا به جایی ذرات به وسیله پارامتر x نمایش داده می‌شود و این مقدار تا همگرا شدن ادامه پیدا می‌کند تا بهترین شعاع به دست آید. ضرایب c_1 و c_2 در الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات در این مقاله برابر ۲ در نظر گرفته شده است. تعداد ذرات ۵۰، تعداد دفعات تکرار ۲۰ و محدوده تغییرات شعاع حفره‌های هوایی از ۰/۱ تا ۰/۶ میکرومتر منظور شده است. این محدوده با توجه به گام شبکه (۱/۳۸ میکرومتر) تنظیم شده است. برای انجام بهینه سازی توسط الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات از امکانات موجود در نرم افزار لومریکال استفاده شده است.



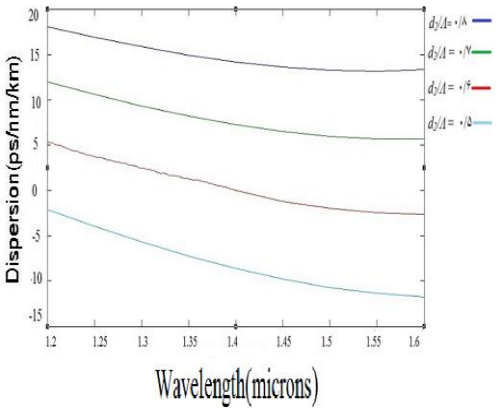
شکل ۲- اثر تغییر قطر حفره‌های هوایی اطراف هسته بر میزان پاشندگی تار



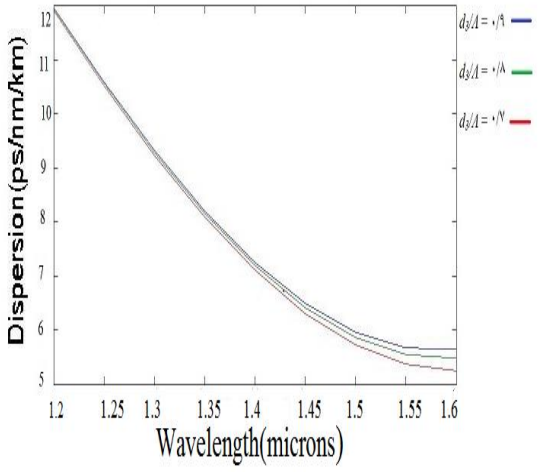
شکل ۳- اثر تغییر قطر حفره‌های هوایی اولین حلقه هوایی اطراف هسته با در نظر گرفتن نسبت قطر به گام ۰/۹ برای سایر

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

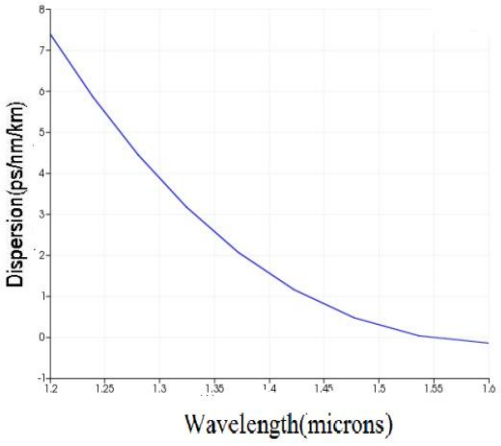
[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-03]



شکل ۴- اثر تغییر قطر دومین حلقه هوایی اطراف هسته بر میزان پاشندگی تار بلور فوتونی با ساختار مربعی با در نظر گرفتن d_1/Λ= ۰/۳ و d/Λ =۰/۹.



شکل ۵- اثر تغییر قطر حفره های سومین حلقه هوایی اطراف هسته بر میزان پاشندگی تار با در نظر گرفتن d_1/Λ = ۰/۳ و



شکل ۶- نمودار پاشندگی تار بلور فوتونی با ساختار مربعی پس از بهینه سازی

۴- نتیجه گیری

در این مقاله از الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات استفاده شده است تا به بهترین مقادیر برای قطر حفره‌ها و میزان پاشندگی دست یابیم. در سال‌های اخیر ساختارهای پیچیده‌ای برای تارهای بلور فوتونی به منظور کاهش پاشندگی در آن‌ها ارائه شده است که ساخت آن‌ها با چالش‌های زیادی رو به رو است. نمونه‌ی جدیدی از این ساختار که در سال ۲۰۱۵ میلادی ارائه شده است، یک ساختار شش ضلعی تار بلور فوتونی است که قطر حفره‌های هوایی دو حلقه نخستین اطراف هسته به صورت یک در میان متفاوت است [۳]. نمودار پاشندگی در این ساختار در بازه امواج ۱/۶۵-۱/۳ میکرومتر دارای تغییراتی از صفر تا ۰/۳۵ ps/(km.nm) است و جزء تارهای فوق هموار از لحاظ پاشندگی محسوب می‌شود. مزیتی که ساختار ارائه شده در این مقاله نسبت به مرجع [۳] و سایر مقالات [۶،۷] دارد این است که به علت استفاده از حفره‌های هوایی دایروی و ثابت بودن شعاع حفره‌های هر حلقه، ساخت آن نسبت به تارهای پیشنهادی دیگر در این زمینه ساده تر است.

مراجع

[1] R. V. J. Raja, K. Porsezian, S. K Varshney, and S. Sivabalan, "Modeling Photonic crystal fiber for efficient soliton pulse propagation at 850 nm," Optics Communications , vol. 283, no. 24, pp. 5000-5006, 2010.

[2] J. Vijay and M. Sabir , "Low - flattened dispersion hexagonal photonic crystal fiber with low confinement loss," International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol. 3, pp. 153-158, January 2013.

[3] S. Kabir, G. K. M. Hasanuzzaman, and M. Abdul Goffar Khan, " Design of a dispersion flattened germanium doped silica modified hexagonal photonic crystal fiber with ultra low confinement losses," 1st International Conference on Electrical & Electronic Engineering, Rajshahi, Bangladesh, pp. 113-116, November 2015.

[4] J. Ming Hsu, "Tailoring of nearly zero flattened dispersion photonic crystal fibers," Optics Communications, vol. 361, pp. 104-109, 2015.

[5] J. Kennedy and R. C. Eberhart, " Particle swarm optimization," IEEE International Conference on Neural Networks, Piscataway, pp. 1942-1948, 1995.

[6] P. Kumar, A. Kumar, S. Acharya, and P Swarup Mund, "Novel design of PCF with zero dispersion with high birefringence," IEEE Sponsored 2nd International Conference on Electronics and Communication System, pp. 1057 System,pp.1075-1077,2015.

[7] S. Olyaee and F. Taghipour," Ultra-flattened dispersion hexagonal photonic crystal fibre with low confinement loss and large effective area, " IET Optoelectronics, vol.6 , pp. 82-87, 2012.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-01-03]