



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 $1/8 \times 10^{-2}$ ps/(km.nm) است.

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

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

Afroz Afsari¹, Mir Mojtaba Mirsalehi²

¹Department of Electrical Engineering, Bahar Institute of Higher Education, Mashhad

²Department 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.

چگونگی توزیع میدان الکتریکی در هسته و غلاف تار است. رابطه کلی پاشندگی تار بلور فوتونی به صورت رابطه زیر است [۴].

$$D_t(\lambda) = \frac{\lambda}{c} \left(\frac{d^2 n(\lambda)}{d\lambda^2} \right) - \frac{\lambda}{c} \left(\frac{d^2 \text{Re}[n_{\text{eff}}(\lambda)]}{d\lambda^2} \right) \quad (1)$$

در این رابطه $n_{\text{eff}}(\lambda)$ 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 می توان به شکل مجموعه ای از ذرات تصور کرد که در فضایی متشکل از تجارب خصوصی هر ذره و برخی از ذرات دیگر، حرکت می کند. در هر مرحله از الگوریتم، ذره به سمت موقعیت بهتر جا به جا می شود. موقعیت بعدی برای هر ذره با توجه به دو مقدار به دست می آید. اولین مقدار بهترین موقعیتی است که آن ذره تاکنون داشته است و دومین مقدار بهترین موقعیتی است که تا به حال توسط سایر ذرات به دست آمده است. $x_i(t)$ موقعیت و $v_i(t)$ سرعت ذره i ام را در لحظه t نشان می دهد. به بهترین تجربه هر ذره p_{best} و به بهترین موقعیت به دست آمده توسط سایر ذرات g_{best} گفته می شود. الگوریتم بعد از یافتن دو مقدار بالا، سرعت و موقعیت جدید ذره را بر طبق معادلات (۲) و (۳) به روز می کند:

$$v_i(t+1) = wv_i(t) + c_1 \text{rand}_1(p_{\text{best}_i(t)} - x_i(t)) \quad (2)$$

$$+ c_2 \text{rand}_2(g_{\text{best}_i(t)} - x_i(t))$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (3)$$

در این معادلات w ضریب اینرسی است که به صورت خطی کاهش می یابد و معمولاً در بازه $[0-1]$ است. c_1 و c_2 ضرایب یادگیری هستند که در بازه $[0-2]$ انتخاب می شوند. rand_1 و rand_2 هم دو عدد تصادفی در بازه $[0-1]$ 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 $1/38$ میکرومتر در نظر گرفته شده است. ساختار این تار در شکل ۱ نشان داده شده است.

۱- مقدمه

تارهای بلور فوتونی دارای آرایشی منظم و متناوب از حفره های هوا در قسمت غلاف هستند که این حفره ها در اطراف هسته و موازی محور تار ایجاد می شوند [۱]. پاشندگی در تارهای نوری یک پدیده شناخته شده است که باعث پهن شدن پالس های نوری منتشره در تار در حوزه زمان می شود. پاشندگی تارهای بلور فوتونی به متغیرهای طول موج (λ) ، ثابت شبکه (A) و نسبت قطر حفره ها به ثابت شبکه (d/A) 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 می شود تا پاشندگی مثبت تار مورد نظر خنثی شود. در دومین روش از تغییر ساختار هندسی تار برای کاهش پاشندگی استفاده می شود. از نمونه کارهایی که برای کاهش پاشندگی با استفاده از روش دوم انجام شده است می توان به تغییر شکل حفره های هوایی اطراف هسته تار از دایروی به بیضوی [۲]، تغییر قطر حفره های هوایی به صورت یک در میان در هر حلقه هوایی اطراف هسته [۳] و پر کردن حفره های هوایی با مایعات با ضرایب شکست مختلف [۴] اشاره کرد.

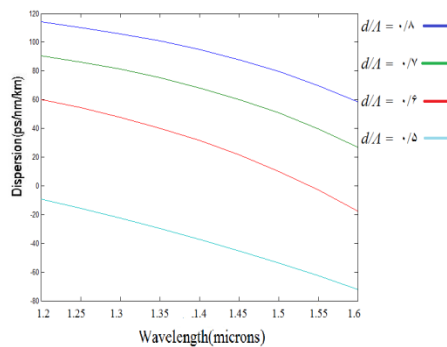
در این مقاله برای کاهش پاشندگی از روش تغییر ساختار هندسی تار بلور فوتونی با تغییر قطر سه حلقه هوایی اطراف هسته استفاده شده است. سپس با استفاده از الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات^۱ مقادیر بهتری برای قطر حفره ها به منظور کاهش پاشندگی تار ارائه شده است.

۲- مبانی نظری

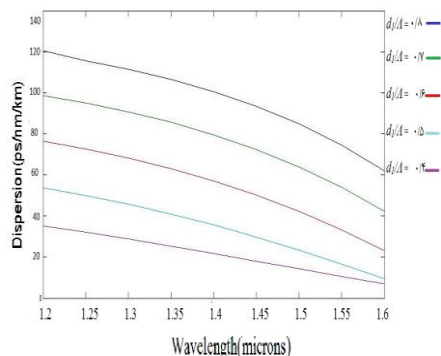
پاشندگی تارهای بلور فوتونی از دو قسمت پاشندگی ماده و موجبر تشکیل شده است. پاشندگی ماده در تارهای بلور فوتونی ناشی از این است که موادی که هسته تار از آن ساخته می شوند پاشنده هستند، بدین معنی که ضریب شکست آن ها تابع طول موج است. پاشندگی موجبر ناشی از

^۱ Particle Swarm Optimization

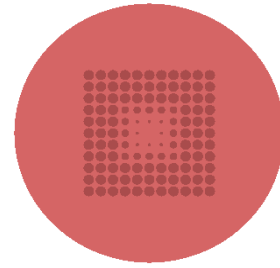
هستند. ذره در اینجا شعاع حفره‌ها در هر حلقه است. شعاع حفره‌های سه حلقه هوایی نخست اطراف هسته به عنوان متغیر در نظر گرفته شده است. جا به جایی ذرات به وسیله پارامتر X نمایش داده می‌شود و این مقدار تا همگرا شدن ادامه پیدا می‌کند تا بهترین شعاع به دست آید. ضرایب $C1$ و $C2$ در الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات 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



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/L) ، 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 حفره‌های هوایی به صورت جداگانه نیز بررسی شده است که در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ مشاهده می‌شود. نتیجه‌ای که از بررسی این نمودارها مشاهده می‌شود این است که با کاهش قطر حفره‌های هوایی اولین حلقه، پاشندگی کاهش یافته و نمودار پاشندگی نیز هموارتر می‌شود. با کاهش قطر حفره‌های هوایی دومین حلقه پاشندگی کاهش می‌یابد و میزان کاهش آن بیشتر از حالت تغییر قطر اولین حلقه هوایی است. با کاهش قطر حفره‌های هوایی سومین حلقه نیز پاشندگی کاهش می‌یابد ولی اثر آن کمتر است. دلیل آن این است که مد بیشتر در هسته محبوس است و قطر حفره‌های 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 $d_1/L = 0/155$ ، $d_2/L = 0/309$ ، $d_3/L = 0/677$ و $d_4/L = 0/742$. مقدار پاشندگی در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر برابر -3 ps/(km.nm) از 10×10^{-3} و نمودار پاشندگی مطابق شکل ۶ حاصل شد. با استفاده از این الگوریتم میزان پاشندگی از $9/5 \times 10^{-3}$ به $1/80 \times 10^{-3} \text{ ps/(km.nm)}$ کاهش پیدا کرد.

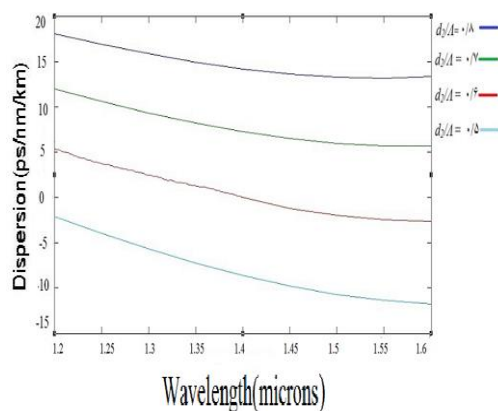
روابط به کار گرفته شده در الگوریتم PSO به صورت معادلات (۲) و (۳) که در بخش قبل توضیح داده شد

۴- نتیجه گیری

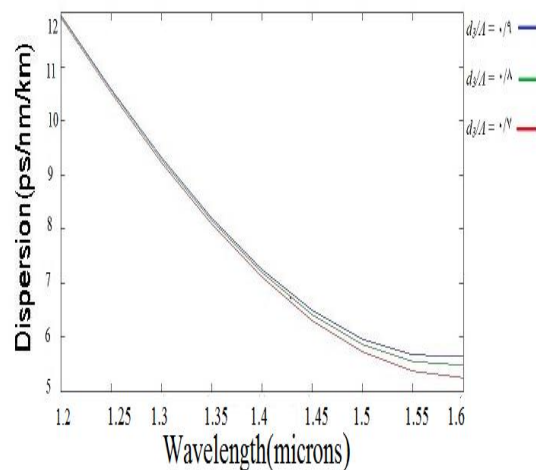
در این مقاله از الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات استفاده شده است تا به بهترین مقادیر برای قطر حفره ها و میزان پاشندگی دست یابیم. در سال های اخیر ساختارهای پیچیده ای برای تارهای بلور فوتونی به منظور کاهش پاشندگی در آن ها ارائه شده است که ساخت آن ها با چالش های زیادی رو به رو است. نمونه ی جدیدی از این ساختار که در سال ۲۰۱۵ میلادی ارائه شده است، یک ساختار شش ضلعی تار بلور فوتونی است که قطر حفره های هوایی دو حلقه نخستین اطراف هسته به صورت یک در میان متفاوت است [۳]. نمودار پاشندگی در این ساختار در بازه امواج ۱/۳-۱/۶۵ میکرومتر دارای تغییراتی از صفر تا ۰/۳۵ ps/(km.nm) است و جزء تارهای فوق هموار از لحاظ پاشندگی محسوب می شود. 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 حفره های هوایی دایروی و ثابت بودن شعاع حفره های هر حلقه، ساخت آن نسبت به تارهای پیشنهادی دیگر در این زمینه ساده تر است.

مراجع

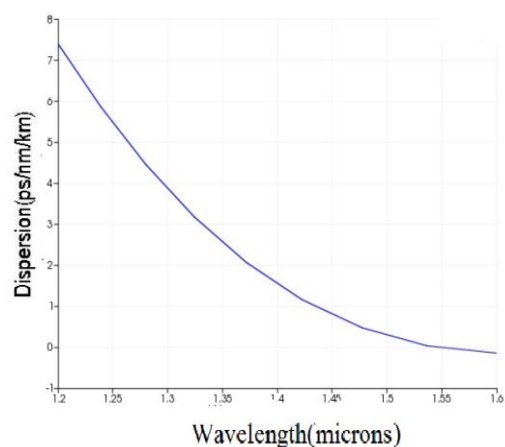
- [1] R. V. J. Raja, K. Porsezian, S. K. Varshney, and S. Sivabalan, "Modeling Photonic crystal fiber for efficient soliton pulse propagation at 850 nm," Optics Communications, vol. 283, no. 24, pp. 5000-5006, 2010.
- [2] J. Vijay and M. Sabir, "Low- flattened dispersion hexagonal photonic crystal fiber 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. 1057-1077, 2015.
- [7] S. Olyaei 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.



شکل ۴- اثر تغییر قطر دومین حلقه هوایی اطراف هسته بر میزان پاشندگی تار بلور فوتونی با ساختار مربعی با در نظر گرفتن $d_1/L = 0.19$ و $d_2/L = 0.18$



شکل ۵- اثر تغییر قطر حفره های سومین حلقه هوایی اطراف هسته بر میزان پاشندگی تار با در نظر گرفتن $d_1/L = 0.18$ و $d_2/L = 0.17$



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