Archive of SID



در این مقاله تحلیل مشخصات پاشش رنگی را در دو حالت

فيبر PCF ناخميده و خميده با روش تحليلي ضريب مـؤثر

اسكالر بهينه⁶ ارائه ميدهيم. اين روش در مقايسه بـا سـاير

فيبر كريستال فوتونى در جهت عرضى مطابق شكل (۱)

تناوبی است و انتشار مدهای پر کننده فضا^ع در جهت طولی

صورت می گیرد. در روش MSEIM غلاف فیبر کریستال

فوتونی توسط یک ماده با ضریب شکستی مساوی با ضریب شکست مد اصلی پرکننده فضا^۷ جایگزین مے شـود. ضـریب

شکست مؤثر FSFM با حل معادله موج اسکالر در یک

سلول واحد كريستال فوتونى مطابق شكل (٢) كه مركز أن

در مرکز حفرهها قرار دارد، محاسبه می شود. برای تحلیل

دقیقتر فیبر کریستال فوتونی، از شعاع مغزی مؤثر بهینه شده استفاده میکنیم یعنی p علاوه بر ^۸⁸ به قطر حفرههای

هوا با رابطه $\rho_{e\!f\!f} \approx \Lambda - rac{d}{2}$ هابسته است. این شعاع مغزی

مؤثر بهینه، در مدل فیبر PCF با تقریب یلهای است. این

شعاع مغزی در مقایسه با شعاع مغزی ثابت ρ≈۰/۶۴×Λ کـه در روش ضـریب مـؤثر معمـولی مـورد اسـتفاده قـرار

چهاردهمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، ۹ تا ۱۱ بهمن ماه ۱۳۸۶ 14th Conference on Optics and Photonics Rafsanjan Vali-e-Asr University, 29-31 January 2008



تحلیل پاشش رنگی فیبر کریستال فوتونی با خمشهای ریز

لیلا چهرهقانی انزابی^{۱ و*}، فرامرز اسمعیلی سراجی^{۲ و*} و فرزاد توکل همدانی^{۳ و*} ۱ ^{و ۳}گروه برق دانشگاه سمنان، ^۲ گروه نوری مرکز تحقیقات مخابرات ایران

چکیده – در این مقاله با روش تحلیلی ضریب مؤثر اسکالر بهینه ابتدا ضریب شکست مؤثرفیبر کریستال فوتونی ناخمیده و خمیده محاسبه شده است و سپس پارامترهای انتشاری نظیر پاشش را در فیبر کریستال فوتونی خمیده و ناخمیده برای طراحــیهـای مختلـف PCF تعیـین کردهایم. پاشش رنگی را برحسب طول موج نور انتشاری در PCF خمیده با تغییر پارامترهای اثرگذار نظیر شعاعهـای مختلـف انحنـا در حـد میلیمتر و میکرومتر، 1⁄2 و <u>4</u> در مقدار پاشش PCF بهدست آوردهایم و نتایج را با پاشش رنگی PCF ناخمیده مقایسه کردهایم.

> کلید واژه- پاشش رنگی، روش ضریب مؤثر اسکالر بهینه، ضریب شکست مؤثر خمشی، فیبر کریستال فوتونی خمیده کد PACS - ۰۶۰/۵۳۹۵، ۰۶۰/۵۳۹۵، ۱۳۰/۲۰۳۵

> > ۱– مقدمه

در چند سال اخیر کارهای زیادی در مورد فیبر کریستال فوتونی و ویژگیهای نوری غیرمعمول آنها، انجام شده است. یکی از این ویژگیها پاشش منفی بسیار بالا آنها است [۱ و ۲].

در مورد پاشش فیبرهای کریستال فوتونی خمیده تحقیقات زیادی صورت نگرفته است. پاشش گونهای از فیبرهای کریستال فوتونی با مغزی آلاییده به ژرمانیوم^۲ در شرایط خمیده مورد بررسی قرار گرفت [۳]. در این مرجع اثر کوچک ترین شعاع خمش بر پاشش در نظر گرفته شد و نشان داده شد که هرگاه HAF با شعاع ۵ میلیمتر خمیده شود پاشش رنگی در آن افزایش مییابد. برای محاسبه پاشش رنگی در فیبر HAF از روش اجزای محدود برداری^۳

پاشش سرعت گروهی^[†] یک ویژگی مهم فیبرنوری برای کاربردهای بسیاری در شبکههای نوری است و یک عامل محدود کننده پهنای باند سیستمهای مخابرات نوری است [۴].

⁵ Modified Scalar Effective Index Method: MSEIM * ch_gl

روشها سادهتر است.

۲- مدل سازی مسئله

⁶ Space Filling Modes: SFM

⁷ Fundamental Space Filling Mode: FSFM

¹ فاصله بین مراکز حفرههای هوا

⁹ قطر حفرههای هوا: d

^{*} ch_ghani@semnan.ac.ir, feseraji@itrc.ac.ir, farzadtavakkol@gmail.com

¹ Photonic Crystal Fiber: PCF

² Hole Assisted Fiber: HAF

³ Full vectorial finite element method: VFEM

⁴ Group Velocity Dispersion: GVD



می گیرد، دقت بالاتری را در محاسبات داراست [۵ و ۶].

$$U_{\rm eff} \frac{J_{1}(U_{\rm eff})}{J_{0}(U_{\rm eff})} = W_{\rm eff} \frac{K_{1}(W_{\rm eff})}{K_{0}(W_{\rm eff})}$$
(7)

زیر محاسبه می شود:

با حل عددی رابطه (۳) میتوان مقدار ضریب شکست مؤثر را در یک فیبر کریـستال فوتـونی مـستقیم بـهدسـت آورد و سپس n_{eff,bent} را محاسبه کرد [۷].

در شـکل (۳) ضـریب شکـستهای غـلاف و مـؤثر بـرای Λ=۲/٣μm به ترتیب بهصورت خـطهای پـر و خـط چـین ترسیم شدهاند. نتایج بهدست آمـده بـا مرجع [۵] مطابقت دارد. این مقدار Λ مناسبترین مقـداری است کـه تـاکنون گزارش شده است [۵ و ۸]. این منحنـیهـا بـرای ۸/۰، ۰/۰ /۲، ۰/۳، مراحه است این منحنیها میشود کـه بـا افزایش قطر حفرهها تفاضـل ضـریب شکـست بـین غـلاف و مغزی و نیز ضریب شکست مؤثر و مغزی افزایش مییابد.



۰/۳، ۰/۴، ۰/۵ شکل ۳: ضریب شکستهای غلاف و مؤثر برای ۸/۴، ۰/۴، ۰/۳، $\Lambda = -1/r$, $\Lambda = -1/r$,

با استفاده از نتایج بهدست آمده در شکل (۳) پاشش رنگی^ا در فیبر کریستال فوتونی با رابطه زیر تعیین میشود:

$$D = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n_{\text{eff}}}{d \lambda^2}$$
 (f)

که در آن $\mathrm{n}_{\mathrm{eff}}$ ضریب شکست مؤثر مد هدایتشده و λ طول موج فضای آزاد است.

با توجه به رابطه (۴) فیبر کریستال فوتونی میتوانـد دارای پاشش منفـی بـا مقـدارهای بـسیار بـالایی باشـد کـه بـرای جبرانسازی پاشش مورد استفاده قرار گیـرد [۹]. در رابطـه (۴) برای محاسبه پاشش فیبر کریستال فوتونی خمیـده، بـه

شکل ۱ : سطح مقطع یک فیبر کریستال فوتونی که در آن شعاع مغزی برابر با $\rho_{eff} \approx \Lambda - \frac{d}{2}$ است [۶].



شکل ۲: الف) سطح مقطع فیبر کریستال فوتونی ب) سلول واحد شش ضلعی غلاف کریستال فوتونی [۵].

معادله ویژه مقداری با اعمال شرایط مرزی به صورت رابطـه زیر محاسبه میشود:

$$BJ_1(\mathbf{u}) + CY_1(\mathbf{u}) = \cdot \tag{1}$$

پارامترهای W،U و u با رابطههای زیر بیان میشوند:

$$U = k_{0}a\sqrt{n_{s}^{2} - n_{cl}^{2}}$$

$$W = k_{0}a\sqrt{n_{cl}^{2} - n_{a}^{2}}$$

$$u = k_{0}b\sqrt{n_{s}^{2} - n_{cl}^{2}}$$
(Y)

که در آن $\frac{\sqrt{3}}{2\pi} = d$ شعاع دایره خارجی است که توسط تساوی کسر پر شده سلول واحد شش ضلعی و تقریب دایروی مطابق شکل (۲ ب) تعیین می شود و a شعاع حفره هوا است. با حل عددی معادله (۱) مقدار n_{cl} را می توان محاسبه کرد.

۳- محاسبه پاشش رنگی

در فیبر کریستال فوتونی با دانستن ضریب شکستهای مغزی و غلاف، ثابت انتشار و بنابراین ضریب مدی مد هدایت شده n_{eff} فیبر کریستال فوتونی مشابه با فیبر SMF با ضریب شکست مغزی م م با ضریب شکست مغزی م م و ضریب شکست غلاف اn بهدست می آید. معادله ویژه مقداری فیبر کریستال فوتونی به استثنای پارامترهای موجبری، مشابه معادله ویژه مقداری فیبر با ضریب پلهای SMF است. معادله مشخصه تقریب پلهای فیبر کریستال فوتونی به صورت رابطه

¹ Chromatic Dispersion:CD

فيبر و پردازش علائم اپتيكى



شکل۵: مقایسه پاشش رنگی برحسب طول موج برای فیبر کریستال فوتونی ناخمیده و خمیده با $\Lambda = 7/7$ و $\Lambda = 0.7$, 0.7, 0.7, $1.6 = \frac{h}{\Lambda}$ الف) شعاع انحنای R_{bent}=۳۰۰ μ m و -) شعاع انحنای R_{bent}=۳۰۰ μ m

در Λ =۲/۳ µm بنش رنگی، دارای مقدارهای منفی بزرگ است که برای جبران سازی پاشش میتواند سودمند باشد. با افزایش مقدار $\frac{h}{\Lambda}$ پاشش به سمت مقدارهای مثبت افزایش مییابد. همچنین در طول موجهای بلندتر، پاشش منفی بیشتر خواهد شد.

شکل ۶۰ مقایسه پاشش رنگی برحسب طول موج برای شعاع خمش مختلف R_{bent} =∞، ۱cm، ۱mm، ۳۰۰µm از فیبر کریستال فوتونی خمیده با Α=۷/۶µm و ۲/۶ = ۸۰

SID

Arc

در شکل (۲) پاشش رنگی در بازه طول موجی ۲۴۰۰–۶۰۰ میکرون برای فیبرهای کریستال فوتونی ناخمیده و خمیده برای ۲/۳، ۵/۳، ۸/۳ په در شعاع خم برای ۲۸۳ های ۲/۳، ۵/۳، ۸ و ۲/۴ = $\frac{h}{\Lambda}$ در شعاع خم های در شعاع خم استان داده شده است. منحنیهای خط چین مربوط به فیبر کریستال فوتونی ناخمیده و منحنیها با علامتهای +، *، • مربوط به فیبر کریستال فوتونی خمیده علامتهای +، *، • مربوط به فیبر کریستال فوتونی خمیده مستند. همان طور که در این شکل مشاهده می شود برای، پارامتر ۸ کوچک پاشش بیشتر در ناحیه مقدارهای منفی قرار می گیرد و با افزایش ۸، پاشش رنگی به سمت مقدارهای مثبت افزایش می یابد.



شکل ۷: مقایسه پاشش رنگی برحسب طول موج برای فیبر کریستال فوتونی ناخمیده و خمیده برای مقدارهای Λ =۲/۳، ۵/۳۰ Λ در شعاع خمش ۱۰۰ میکرون و ۰/۴ = $\frac{d}{\Lambda}$.

۴- نتیجهگیری

با استفاده از روش تحلیلی ضریب مؤثر اسکالر بهینه، پاشش رنگی برای PCF ناخمیده و خمیده برحسب طول موج با تغییر پارامترهای اثرگذار در ضریب شکست مؤثر تعیین شده است. منحنیهای ویژه پاشش برحسب طول موج در $\Lambda = 7/7$ µm



Archiv

در حد میلیمتر و میکرون ترسیم شدهاند و مشاهده شد که اندازه پاشش PCF خمیده نسبت به ناخمیده بیشتر شده است. همچنین پاشش برحسب طول موج در $\Lambda=V/8$ µm و $\Lambda=V/8$ برای شعاعهای خمش متفاوت mm، ۳۰۰ µm سره، مقدار پاشش مده و نشان داده که با کاهش شعاع خمش، مقدار پاشش PCF خمیده نسبت به پاشش فیبر کریستال فوتونی ناخمیده مثبتتر می شود. همچنین نشان داده شد پاشش PCF خمیده برای چند Λ مختلف با افزایش فاصله حفرهها، به سمت مقدارهای مثبت می رود.

بنـابراین اســتفاده از PCF خمیـده بـا Δ=۲/۳ μm و شـعاع میکرونی خمش با برخورداری از پاشـش منفـی زیـاد، بـرای جبرانسازی مفید است.

مراجع

- T.A.Birks, J.C.Knight, P.St.J.Russell, "Endlessly single mode Photonic Crystal Fiber", OSA, Opt. Lett. B, Vol. 22, No. 13, pp. 961-963, 1997.
- [2] T.A. Birks, D. Mogilevtsev, J.C. Knight, P.St.J. Russell, "Dispersion Compensation using Single Material Fibers", IEEE Photon Tech. Lett., Vol. 11, No. 6, p. 674, 1999.
- [3] S.K.Varshney, Y.Tsuchida, K.Sasaki, K.Saitoh, M.Koshiba, "Measurment of chromatic dispersion and Raman gain efficiency of a hole-assisted fibers; influence of bend", opt. Exp., Vol. 15, No. 6, pp. 2974-2980, 2007.
- [4] J. Kim, U.C. Peak, D.Y. Kim, Y. Chung, "Analysis of the Dispersion Properties of Holey Optical Fibers Using Normalized Dispersion", in Optical Fiber Communication Conference, OSA Technical Digest ,Washington DC, 2001.
- [5] Shailendra K. Varashney, M.P. Singh, R.K. Sinha, "propagation characteristics of Photonic Crystal Fibers", J. Opt. Commun., Vol. 24, No. 5, pp. 192-198, 2003.
- [6] F.E. Seraji, M.Rashidi, V.Khasheie, "Parameter analysis of a photonic crystal fiber with raised-core index profile based on effective index method", Chinese Opt. Lett., Vo. 1.4, No. 8, pp. 442-445, 2006.
- [7] J.C.Baggett, T.M.Monro, K.Furusawa, V.Finazzi, D.J.Richardson, "Understanding bending losses in holey optical fibers", Opt. Commun., Vol. 227, pp. 317-335 2003
- [8] R.K. Sinha, Varishney, "Dispersion properties of photonic crystal fiber comparison by scalar and fully vectorial effective index methods", Optics and Quantum Electronics., DOI 10.1007/s11082-005-3196-7, pp. 711-722, 2005.
- [9] A.D.Vareshney, R.K.Sinha, "Propagation Characteristics of Photonic Crystal Fiber Scalar Effective Index Method & Fully Vectorial Effective Index Method", Adv. Studies Theor. Phys., Vol. 1, No. 2, pp. 75-85, 2007.