بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

کنترل بهره پارامتری در تارهای بلور فوتونی با استفاده از دما

حسن پاکارزاده، فرشته حسن پوری

Pakarzadeh@sutech.ac.ir

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شیراز، بلوار مدرس، شیراز

چکیده – امروزه تارهای بلور فوتونی(PCF) به دلیل خا صیت غیر خطی بالا و پا شندگی کنترل شده، گزینه منا سبی برای مشاهده اثرات غیرخطی هستند. از جمله کاربرد های مهم PCF استفاده به عنوان محیط غیر خطی برای تقویت پارامتری است. در این مقاله، برای اولین بار به بررسی اثر دما در کنترل بهره پارامتری در PCF می پردازیم. با استفاده از رهیافت ترکیب چهار موج و حل معادلات جفت شده دامنه، طیف بهره پارامتری و منحنی اشباع شبیه سازی می گردد. نتایج نشان می دهد که با افزایش دما قله بهره جابه جا و توان اشباع نیز کم می شود.

کلید واژه- تقویت پارامتری، طول موج پاشندگی صفر، طیف بهره، تار بلور فوتونی، دما

Temperature- Controlled Parametric Gain in Photonic Crystal Fibers

Hassan Pakarzadeh, Fereshteh Hasanpoore

Pakarzadeh@sutech.ac.ir

Department of Physics, Shiraz University of Technology, Modarres blvd, Shiraz

Abstract-nowadays, photonic crystal fibers (PCFs) are good candidates for observation of nonlinear effects owing to their characteristics of high nonlinearity and controlled dispersion. One of the important applications of PCFs is to use as nonlinear medium for parametric amplification. In this paper, we investigate for the first time the effect of temperature on the parametric gain control in PCFs. Parametric gain spectrum and saturation curve are simulated using the four-wave mixing approach and solving coupled-amplitude equations. The results show that as the temperature increases, the gain peak is shifted and the saturation power is reduced.

Keywords: parametric amplification, zero dispersion wavelength, gain spectrum, photonic crystal fiber, temperature

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-07]

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

مقدمه

تقویت کننده های پارامتری تار نوری (Fiber Optical Parametric Amplifiers) مبنی بر ترکیب چهار موج (Four-Wave Mixing) عمل می کنند[۱] این تقویت کننده ها به دلیل کاربرد های فراوان از جمله باز تولید، پردازش سیگنال، تبدیل طول موجی، تقویت با بهره ی بالا و ... در دهه های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده اند.[۲،۳] برای اینکه شرایط مناسبی برای یک FOPA به همراه یک لیزر با توان و طول موج مشخص فراهم شود، به یک تار با خاصیت پاشندگی کنترل شده و غیر خطی بالا نیاز داریم. تارهای بلور فوتونی (Photonic Crystal Fiber) گزینه مناسبی برای این محیط ها هستند. قابلیت کنترل منحنی پاشندگی با تغییر دادن فاصلهء حفره های هوا از یکدیگر و ابعاد حفره ها، عملکرد به صورت همواره تک مد، عملکرد غیر خطی بسیار بالا و ... از ویژگی های بارز این تارها است. در پژوهش های قبلی با تغییر دادن عواملی مانند طول تار، طول موج پمپ و سیگنال، توان های ورودی پمپ و سیگنال و ... تاثیر آن ها بر روی بهره پارامتری تار بررسی شده است [۳] . در این مقاله برای اولین بار تاثیر دماهای مختلف بر بهره ی پارامتری تار بلور فوتونی و منحنی اشباع را بررسی می کنیم.

مبانی نظری

در تار نوری، تقویت پارامتری به وسیله ترکیب چهار موج را می توان با استفاده از معادلات جفت شده زیر به دست آورد. در این معادلات A_P ، A_S ، A_i به ترتیب دامنه موج پمپ، سیگنال و آیدلر در یک FOPA تک پمپی در نظر گرفته شده است [۳،۴] .

$$\frac{\partial A_p}{\partial z} = i\gamma\left\{\left(|A_p|^2 + 2|A_s|^2 + 2|A_i|^2\right)A_p + 2A_sA_iA_p^*\exp(i\Delta\beta z)\right\} - \frac{1}{2}\alpha A_p \qquad (۱)$$

$$\frac{\partial A_s}{\partial z} = i\gamma\left\{\left(|A_s|^2 + 2|A_i|^2 + 2|A_p|^2\right)A_s + {A_p}^2 A_i^*\exp(-i\Delta\beta z)\right\} - \frac{1}{2}\alpha A_s \qquad (۲)$$

$$\frac{\partial A_i}{\partial z} = i\gamma\left\{\left(|A_i|^2 + 2|A_s|^2 + 2|A_p|^2\right)A_i + {A_p}^2 A_s^*\exp(-i\Delta\beta z)\right\} - \frac{1}{2}\alpha A_i \qquad (۳)$$

که α افت تار، γ پارامتر غیر خطی تار تعریف شده است. $\Delta\beta$ عدم جور شدگی خطی بردار موج است که از طریق معادله زیر به دست آمده است.

$$\Delta\beta = -\frac{2\pi c}{{\lambda_0}^2}S_0(\lambda_p - \lambda_0)(\lambda_p - \lambda_s)^2 \qquad (۴)$$

در این معادله c سرعت نور، λ_0 ، λ_p ، λ_s به ترتیب طول موج صفر پاشندگی، پمپ و سیگنال در تار در نظر گرفته شده اند. S_0 شیب پاشندگی تار در طول موج صفر پاشندگی تعریف شده است. [۳]

قابل توجه است که بهره ی FOPA به صورت $G=10\log\frac{P_{s,out}}{p_{s,in}}$ تعریف شده است که در آن $P_{s,out}$ و $P_{s,in}$ توان های خروجی و ورودی موج سیگنال هستند. [۳]

$$n_e(\lambda,t) = \sqrt{1 + \frac{B_1\lambda^2}{\lambda^2 - C_1} + \frac{B_2\lambda^2}{\lambda^2 - C_2}} - \alpha_e(t - T_0) \qquad (۵)$$

این معادله وابستگی ضریب شکست به طول موج با استفاده از فرمول Sellmier را نشان می دهد. که در آن ($B_۱ = ۰,۸۳۱۸۹, B_۲ = -۰,۱۵۵۸۲, C_۱ = ۰,۰۰۹۳$ μm2, $C_۲ = ۴۹,۴۵۲$ μm ^{2}) [۵]

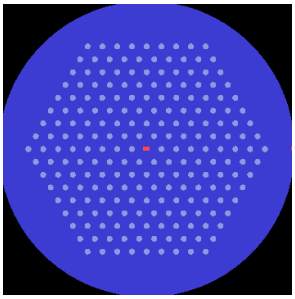
و α_e وابستگی ضریب شکست به دما را نشان می دهد.

نتایج و شبیه سازی

در شکل ۱ ساختار یک PCF که دارای ۸ حفره هوا در قسمت غلاف آن، که قطر حفره ها d=1 μm و گام شبکه Λ=5 μm انتخاب شده است نشان داده می شود.

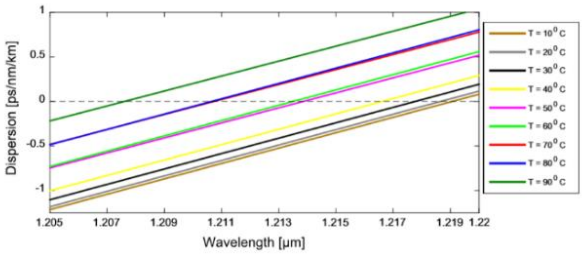
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-07]



شکل ۱: سطح مقطع (PCF) استفاده شده در شبیه سازی که قطر حفره ها d=1 μm و گام شبکه Λ=5 μm انتخاب شده است.[۶].

در شکل ۲ منحنی پاشندگی به ازای دماهای مختلف نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود با تغییر دما طول موج صفر پاشندگی تغییر کرده است.



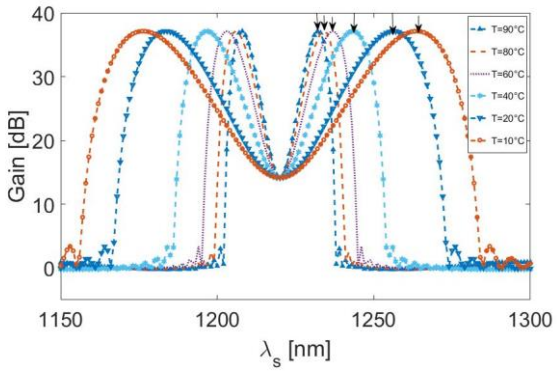
شکل ۲: پاشندگی صفر با دما برای PCF با قطر حفره ها d=۱ μm و گام شبکه Λ=۵ μm.[۶].

جدول ۱: مقادیر طول موج صفر پاشندگی بر حسب دما.

طول موج صفر پاشندگی (nm)	دما (C°)
۱۲۰۷/۵۰	۹۰
۱۲۱۰/۵۰	۸۰
۱۲۱۰/۷۰	۷۰
۱۲۱۳/۴۰	۶۰
۱۲۱۳/۸۰	۵۰
۱۲۱۶/۵۰	۴۰
۱۲۱۷/۷۵	۳۰
۱۲۱۸/۵۶	۲۰
۱۲۱۹/۰۰	۱۰

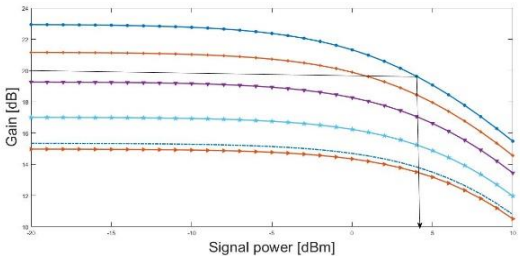
در این شبیه سازی از یک تار بلور فوتونی(PCF) با طول L= ۵۰ m و Λ=۵ μm d=۱ μm با مقادیری مانند، پارامتر غیر خطی γ=۱۰۰$W^{-1}km^{-1}$، ضریب افت α=۱/۰dB/km، با شیب پاشندگی S.=۰/۰۸۲ $ps.nm^{-2}km^{-1}$ استفاده کردیم.

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می شود با تغییر دما شکل منحنی تغییر می کند، به خصوص قله بهره (که با علامت پیکان مشخص شده است) جابه جا می شود به عنوان مثال در دمای ۱۰ درجه قله بهره در طول موج ۰/۱۲۶۴ nm می باشد که این مقدار برای دما ۹۰درجه به ۰/۱۲۳۲nm کاهش می یابد.



شکل ۳: طیف بهره پارامتری برای مقادیر مختلف دما با P_p=30dBm و P_s=-40dBm.

توان سیگنالی که در آن بهره ۳dB کمتر از مقدار اولیه می شود را توان اشباع می نامند. که به طور واضح برای منحنی با دمای ۹۰ مشخص شده است. [۷،۸] همان طور که در شکل ۴ دیده می شود، با افزایش دما توان اشباع کم می شود. به عنوان مثال در دمای ۱۰ درجه توان ۸/۳dBm و در دمای ۹۰ مقدار توان اشباع به ۴/۰dBm می رسد.



شکل۴: منحنی اشباع برای مقادیر مختلف دما با λ_s=۱۲۲۵/۰[nm].

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-07]

جدول ۲: مقادیر طول موج بیشینه قله بهره و توان اشباع برحسب دما.

دما(°C)	λ_{max}(nm)	P_{sat}(dBm)
۹۰	۱۲۳۲/۰	۴/۰
۸۰	۱۲۳۴/۰	۵/۰
۷۰	۱۲۳۴/۵	۵/۰
۶۰	۱۲۳۷/۰	۶/۰
۵۰	۱۲۳۷/۵	۶/۰
۴۰	۱۲۴۳/۰	۷/۰
۳۰	۱۲۴۹/۰	۷/۵
۲۰	۱۲۵۶/۰	۸/۰
۱۰	۱۲۶۴/۰	۸/۳

نتیجه‌گیری

در این مقاله، بهره پارامتری در یک PCF شبیه سازی و برای اولین بار تاثیر دما بر طیف بهره و منحنی اشباع مطالعه گردید. نتایج نشان داد که قله بهره با افزایش دما جابه جا می شود، به عنوان مثال در دمای ۱۰ درجه قله بهره در طول موج nm ۱۲۰۷/۵ می باشد که این مقدار در دمای ۹۰ درجه به nm۱۲۱۹/۰می رسد. همچنین بهره اشباع با افزایش دما کم می شود به طوریکه در دمای ۱۰ درجه توان به dBm۸/۳ و در دمای ۹۰ درجه این مقدار به dBm۴/۰کاهش می یابد. از نتایج این تحقیق می توان برای کوک پذیری FOPA با استفاده از دما برای اهداف مختلف استفاده کرد.

مرجع‌ها

[1] G. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics. Academic press, 2013

[2] Pakarzadeh, Hassan, and Mostafa Sharifian. "Modelling of a variable optical switch based on the parametric amplification in a photonic crystal fibre." *Journal of Modern Optics* 65.16 (2018): 1855-1859.

[3] Pakarzadeh, Hassan, Mostafa Taghizadeh, and Mohsen Hatami. "Designing a photonic crystal fiber for an ultra-broadband parametric amplification in telecommunication region." *Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials* 25.02 (2016): 1650023.

[4] Taghizadeh, M., Tavassoly, M. K., Hatami, M., & Pakarzadeh, H. (2018). One-pump fiber optical parametric amplifiers: from the pulsed to the continuous wave operation. *Optical Engineering*, *57*(5), 056103

[5] Le Van, H., Buczynski, R., Trippenbach, M., Borzycki, K., Manh, A. N., & Kasztelanic, R. (2018). Measurement of temperature and concentration influence on the dispersion of fused silica glass photonic crystal fiber infiltrated with water–ethanol mixture. *Optics Communications*, *407*, 417-422..

[6] Xuan, K. D., Van, L. C., Dinh, Q. H., Van Mai, L., Trippenbach, M., & Buczyński, R. (2017). Influence of temperature on dispersion properties of photonic crystal fibers infiltrated with water. *Optical and Quantum Electronics*, *49*(2), 8.

[7] H. Pakarzadeh, A. Keshavarz, and M. Bagheri, "Investigation of the saturation power of one-pump fiber optical parametric amplifiers," Proceedings of 5th Iranian Conference on Photonics Engineering, ICPE 2013, University of Sistan and Balouchestan, Zahedan (2013).

[8] Othman, N., Tay, K. G., Shah, N. M., Talib, R., Pakarzadeh, H., & Cholan, N. A. (2019). Saturation behavior of a one-pump fiber optical parametric amplifier in the presence of the fourth-order dispersion coefficient and dispersion fluctuation. *Chinese Optics Letters*, *17*(11), 110603.

این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-07]