



بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹



کد مقاله : ۱-۲۵۶۸-۱۰-A

محاسبه طول موج لیزر دهی و شدت دمش آستانه مد اول لیزر فیبری شبه بلور فیبوناچی، با استفاده از روش ماتریس انتقال

رقیه صالح زاده^۱، مجتبی گلشنی، حسین روح الامینی نژاد

دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

چکیده - در این مقاله، با استفاده از روش ماتریس انتقال، به بررسی طول موج لیزر دهی و شدت دمش آستانه مد اول لیزر فیبری نوری آغشته به اربوم با توری های براگ در فواصلی که طبق الگوی سری فیبوناچی در نظر گرفته شده اند، می پردازیم. نتایج عددی بدست آمده نشان می دهد که طول موج لیزر دهی مستقل از ساختار مورد بررسی است، در حالی که شدت دمش آستانه با افزایش تعداد لایه های محیط بهره کاهش می یابد. علاوه بر این، مقایسه لیزر فیبری شبه بلور فیبوناچی با ساختار منظم نشان داد که در طول محیط های بهره پایین تر، شدت دمش آستانه مد اول ساختار فیبوناچی کمتر از حالت منظم می باشد.

کلید واژه - لیزر فیبری شبه بلور فوتونی، الگوی فیبوناچی، طول موج لیزر دهی، شدت دمش آستانه مد اول، روش ماتریس انتقال

Calculation of the lasing wavelength and the threshold pump intensity of the Fibonacci quasi-crystal fiber laser, using transfer matrix method Roghayeh Salehzadeh, Mojtaba Golshani, Hossein Roohoalamini Nejad

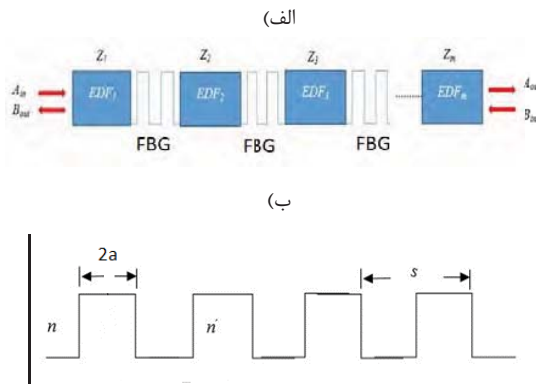
Physics Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Abstract-In this paper, using the transfer matrix method, we investigate the lasing wavelength and the first mode threshold pump intensity of erbium doped fiber laser with Bragg grating at distances according to the Fibonacci series pattern. Numerical results show that the lasing wavelength is independent of the structure, while the threshold pump intensity decreases with increasing of the number of gain medium layers. In addition, a comparison of the Fibonacci quasi-crystal fiber laser with the regular structure showed that, at shorter gain medium lengths, the first mode threshold pump intensity of the Fibonacci structure is lower than the regular case.

Keywords: Photonic quasi-crystal fiber laser, Fibonacci pattern, Lasing wavelength, First mode threshold pump intensity, Transfer matrix method

¹Roghayeh.salehzadeh@gmail.com

بین توری‌های براگ آغشته به یون اربوم است و محیط بهره لیزر فیبر نوری (EDF) را تشکیل می‌دهند.



شکل ۱: (الف) مقطع طولی لیزر فیبر بلور فوتونی، (ب) توری براگ با دوره تناوب s [۵]

مشخصات توری براگ به گونه‌ای انتخاب شده است که در طول موج پمپ بازتاب نداشته باشد و بنابراین، می‌توان از تحول پمپ در طول فیبر صرف‌نظر کرد و فرض کرد که سیستم به صورت یکنواخت پمپ می‌شود [۵]. در این مقاله، تنها طول موج و شدت دمش آستانه مربوط به مد اول لیزر محاسبه می‌شود، بنابراین، نیازی به در نظر گرفتن اثر اشباع و رقابت بین مدی نمی‌باشد (زیرا در شدت دمش آستانه مد اول بقیه مدها تحریک نشده‌اند). برای محاسبه فرکانس و شدت دمش آستانه، از روش ماتریس انتقال استفاده می‌شود. اگر ماتریس انتقال مربوط به توری براگ (شکل ۱-ب) را با A_{FBG} ، ماتریس انتقال از انتهای محیط بهره m ام به ابتدای توری براگ را با A_1 و ماتریس انتقال از انتهای توری براگ به ابتدای محیط بهره $m+1$ ام را با A_2 نشان دهیم، ماتریس انتقال مربوط به ابتدای محیط بهره m ام به ابتدای محیط بهره $m+1$ ام، به صورت زیر محاسبه می‌شود [۵]:

$$M_m = \begin{bmatrix} T_{11}e^{-i(K_{gm}Z_m)} & T_{12}e^{-i(K_{gm}Z_m)} \\ T_{21}e^{i(K_{gm}Z_m)} & T_{22}e^{i(K_{gm}Z_m)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

که در آن $T = A_1 A_{FBG} A_2$ است. علاوه بر این، $K_{gm} = \sqrt{\epsilon_m}(\omega/c)$ عدد موج در محیط بهره m ام، $\epsilon_m = \epsilon'_m - i\epsilon''_m$ ضریب گذردهی الکتریکی نسبی محیط

مقدمه

لیزرها و تقویت کننده‌های فیبر نوری آلیایده به یون اربوم به دلیل گسیل این یون در محدوده طول موجی ۱.۵۵ میکرون از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند [۱]. در این لیزرها محیط میزبان لیزر که از جنس شیشه یا بلور است به شکل فیبر می‌باشد. برای دست یافتن به بهره و تقویت نور در این لیزرها، مغزی فیبر به یون عناصر خاکی نادر مختلف آلیایده می‌شود. در برخی لیزرهای فیبر نوری از توری‌های پیراگبه عنوان بازتاب دهنده استفاده می‌شود. بازتاب دهنده‌های براگ شامل لایه‌هایی است که ضریب شکست آن‌ها به طور تناوبی کم و زیاد می‌شود [۲]. در سال ۲۰۰۹ لیزر اگا و همکارانش یک لیزر تصادفی فیبر نوری را معرفی کردند که در آن از یک فیبر تک مد آغشته به اربوم استفاده شده بود و توری‌های براگ در آن به صورت تصادفی قرار گرفته بودند. در این شرایط توری‌های براگ نقش پس خوراند توزیعی و اربوم نقش محیط فعال را بازی می‌کند [۳]. لیزر اگا و همکارانش از روش ماتریس انتقال برای بدست آوردن فرکانس تشدید این لیزر فیبری استفاده کردند. در لیزر مورد بررسی توسط لیزر اگا، فاصله ی بین توری‌های براگ اعداد تصادفی در نظر گرفته شده بود. اگر فاصله بین توری‌های براگ، از الگوی فیبوناچی انتخاب گردد [۴]، لیزر حاصل، یک لیزر فیبر شبه بلور فوتونی فیبوناچی خواهد بود.

در این مقاله، با استفاده از روش ماتریس انتقال، به بررسی طول موج لیزر دهی و شدت دمش آستانه مد اول لیزر فیبر شبه بلور فوتونی فیبوناچی و مقایسه آن با لیزر فیبر بلور فوتونی خواهیم پرداخت.

مدل نظری

مطابق شکل ۱، سیستم مورد بررسی فیبر تک مد شامل تعدادی توری براگ (FBG) است که به عنوان مراکز پراکننده، نقش پس خوراند توزیعی را بازی می‌کنند. محیط

$$F_0 = \{d_A\}, F_1 = \{d_B\}, F_2 = F_0 F_1 = \{d_A, d_B\}$$

$$F_3 = F_1 F_2 = \{d_B, d_A, d_B\}$$

انتخاب می‌شوند [۴]. با توجه به شکل ۱ واضح است که تعداد توری‌های براگ یک عدد کمتر از طول محیط بهره است ($N_{FBG} = N_{EDF} - 1$). همچنین، با تعریف فوق، تعداد لایه‌های محیط بهره نمی‌تواند هر عددی باشد و محدود به اعداد فیبوناچی ۲، ۳، ۵، ۸، ۱۳، ۲۱، ۳۴، ۵۵ و ... است. اگر $d_A = d_B$ باشد، سیستم فوق به لیزر فیبر بلور فوتونی (منظم) تبدیل خواهد شد.

نتایج عددی

به منظور شبیه‌سازی لیزر فیبری شبه بلور فوتونی فیبوناچی و مقایسه آن با سیستم منظم، از توری براگ دارای 10^9 دوره تناوب، ضرایب شکست $n = 1.46040$ و $n' = n + 5 \times 10^{-5}$ و دوره تناوب $s = 525.79 \text{ nm}$ استفاده شده است. مقادیر پارامترهای مورد استفاده برای محیط فعال نیز به صورت $\lambda_0 = 1535 \text{ nm}$ و $\gamma = 3.2 \times 10^{12} \text{ Hz}$ ، $N_{Er} = 2 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$ و $\tau_2 = 10 \text{ ms}$ می‌باشند. نتایج شبیه سازی به ازای طول‌های مختلف d_A و d_B ، و تعداد متفاوت لایه‌های محیط بهره بدست آمده است. شکل‌های ۲ و ۳، به ترتیب، نحوه تغییر طول موج لیزردهی و شدت دمش آستانه مد اول را بر حسب تعداد لایه‌های محیط بهره، در مقادیر مختلف d_B نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود (شکل ۲)، نه ضخامت لایه‌های محیط بهره و نه تعداد آن‌ها تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر طول موج لیزردهی ندارد. اما، طبق شکل ۳، با افزایش تعداد لایه‌های محیط بهره، شدت دمش آستانه کاهش یافته است. علاوه بر این، افزایش d_B کاهش شدت دمش آستانه را بدنبال دارد. در ادامه، شدت دمش آستانه مد اول برای دو حالت شبه بلور فوتونی فیبوناچی و ساختار منظم مقایسه گردید. بدین

بهره m ام و Z_m طول محیط بهره m ام است. قسمت‌های حقیقی و موهومی ضریب گذردهی الکتریکی نسبی به

$$F_5 = F_2 F_3 = \{d_A, d_B, d_B, d_A, d_B\} \quad \text{صورت زیر می‌باشند [۵]:}$$

$$F_8 = F_3 F_5 = \{d_B, d_A, d_B, d_A, d_B, d_B, d_A, d_B\}, \dots \quad (2)$$

$$\epsilon_m'' = \frac{(N_2 - N_1)e^2}{2\omega_0 M_e \epsilon_0} \times \frac{\gamma}{(\omega - \omega_0)^2 + \gamma^2}$$

M_e بار و جرم الکترون، ω_0 فرکانس مرکزی خط بهره و γ نیم پهنای خط بهره است. در این رابطه، وارونی جمعیت به صورت زیر قابل محاسبه است [۵]:

$$N_2 - N_1 = \frac{P_r^{-1}/\tau_2}{P_r + 1/\tau_2} N_{Er} \quad (3)$$

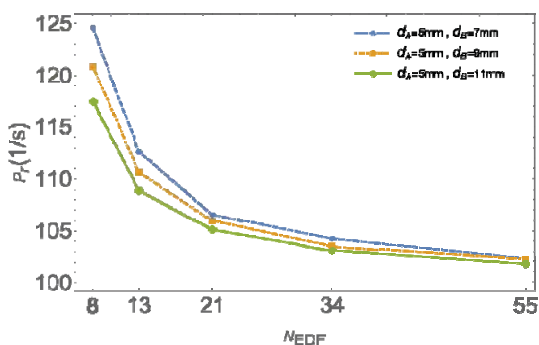
در این رابطه، P_r آهنگ دمش (شدت دمش آستانه)، τ طول عمر تراز بالایی لیزر و N_{Er} جمعیت اربوم است. ماتریس انتقال کل سیستم M ، با ضرب کردن همه‌ی M_m ها بدست می‌آید:

$$M = \prod_m M_m \quad (4)$$

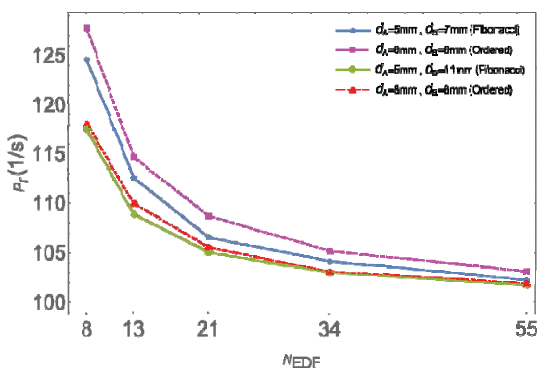
این ماتریس، ورودی و خروجی سیستم لیزر را (شکل ۱-الف) را به صورت زیر به یکدیگر مربوط می‌کند:

$$\begin{bmatrix} A_{in} \\ B_{in} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{out} \\ B_{out} \end{bmatrix} \quad (5)$$

شرط لیزردهی در سیستم این است که بدون ورودی سیگنال، خروجی داشته باشیم. اعمال این شرط در رابطه فوق، معادله $M_{11}(\omega, P_r) = 0$ را نتیجه می‌دهد که با حل قسمت‌های حقیقی و موهومی این معادله می‌توان طول موج لیزردهی $\lambda = 2\pi c/\omega$ و شدت دمش آستانه P_r را محاسبه کرد. اگر در رابطه (۱)، طول محیط‌های بهره Z_m ثابت (یا تناوبی) باشند، لیزر فیبری بلور فوتونی و اگر Z_m ها از الگوی فیبوناچی انتخاب شوند، لیزر فیبری شبه بلور فوتونی خواهیم داشت. لیزر شبه بلور فیبوناچی را می‌توان توسط دو لایه A و B ، دارای طول محیط بهره مختلف d_A و d_B ایجاد کرد. در اینصورت بسته به تعداد محیط‌های بهره (N_{EDF})، طول محیط‌های بهره Z_m از مجموعه $F_{N_{EDF}}$



شکل ۳: نمودار نحوه تغییر توان آستانه مد اول بر حسب تعداد لایه‌ها

شکل ۴: مقایسه توان آستانه مد اول برای لیزر فیبری شبه بلور فوتونی فیبوناچی ($d_A \neq d_B$) و لیزر فیبری منظم ($d_A = d_B$)

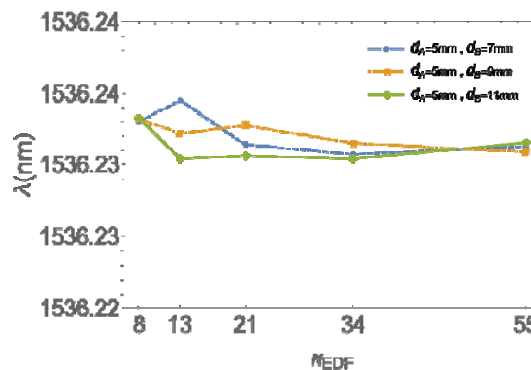
مراجع

- [1] E.Desurvire, D.Bayart, B.Desthieux, S.Bigo, "Erbium-Doped Fiber Amplifiers: Device and System Developments", J.wiley and sons, 816(2002).
- [2] M.Digonnet, "Rare earth doped fibre lasers and amplifiers", J.wiley and sons, Newyork, Pages 303-365 (2002).
- [3] N. Lizzarraga, NP. Puente, EI. Chaikina, TA Leskova, ER Mendez, "Single-mode Er-doped fiber random laser with distributed Bragg grating feedback", Optics Express, 17(2), 395 (2009).
- [4] Mehdi Tavakoli, Yousef Seyed Jalili, "One-dimensional Fibonacci fractal photonic crystals and their optical characteristics", Journal of Theoretical and Applied Physics 8(113), (2014).
- [5] A. Ghasempour Ardakani, M. Golshani Gharyeh Ali, S. M. Mahdavi, A. R. Bahrapour. "Mode analysis of fiber Bragg grating random lasers in the presence of mode competition". Optics & Laser Technology, 44, 969 (2012).

منظور، همه طول محیط‌های بهره ساختار منظم یکسان و به صورت میانگین d_A و d_B ساختار فیبوناچی در نظر گرفته شده است. شکل ۴ نتایج عددی بدست آمده را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، در طول محیط‌های بهره کمتر، استفاده از ساختار شبه بلور فوتونی فیبوناچی، باعث کاهش توان آستانه نسبت به ساختار منظم گردیده است. اما در طول محیط‌های بهره بزرگتر، نتایج مربوط به ساختار فیبوناچی و منظم تقریباً برابر می‌باشند.

خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی طول موج لیزر دمی و شدت دمش آستانه مد اول لیزر فیبر شبه بلور فیبوناچی و مقایسه آن با حالت منظم پرداختیم. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که طول موج لیزر دمی تقریباً مستقل از ساختار مورد بررسی و تعداد لایه‌های محیط بهره آن است و توسط طیف بهره اربیم و طیف ضریب بازتاب توری براگ تعیین می‌گردد. علاوه بر این، بر اساس نتایج عددی، حاصل از روش ماتریس انتقال، مشخص گردید که در طول محیط‌های بهره کوچکتر، توان آستانه لیزر فیبر شبه بلور فوتونی فیبوناچی کمتر از حالت منظم است، در حالی که برای طول محیط‌های بهره بزرگتر، توان آستانه هر دو ساختار تقریباً یکسان است.



شکل ۵: نمودار نحوه تغییر طول موج لیزر دمی بر حسب تعداد لایه‌ها