



## برپایی چشمه گسیل خودبخودی تقویت شده دو بار عبور پسرو در تار نوری آلاییده به اربیوم و عوامل موثر بر پایداری طول موج میانگین

محمد کنانی جزی<sup>۱\*</sup>، شریفه شاهی<sup>۱</sup>، محمد جواد حکمت<sup>۲</sup>، حسین شفیعی فر<sup>۱</sup>، حسین نور محمدی<sup>۲</sup> و محمد حسن زاده‌هوش<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه مهندسی اپتیک و لیزر دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین شهر اصفهان

<sup>۲</sup> گروه پژوهشی لیزر فیبری- پژوهشکده الکترواپتیک و لیزر، اصفهان

چکیده - در این مقاله به طراحی و ساخت چشمه گسیل خودبخودی تقویت شده دو بار عبور پسرو در تار نوری آلاییده به اربیوم پرداخته شده است. عوامل موثر بر پایداری طول موج میانگین چشمه بیان و به بررسی و تحلیل آنها پرداخته می‌شود. براساس شبیه‌سازی‌های صورت گرفته، طراحی انجام شدو در نهایت چشمه ای با پایداری دمایی مناسب ارائه گردید.

کلید واژه - پایداری طول موج میانگین، پیکربندی دوبار عبور پسرو، چشمه گسیل خودبخودی تقویت شده، تار نوری آلاییده به اربیوم.

## Establishing a DPB Amplified Spontaneous Emission Source based on Erbium Doped Fiber and Effective Factors on Stability of MeanWavelength

M.Kanani Jazi<sup>1,2</sup>, Sh.Shahi<sup>1,2</sup>, M.J.Hekmat<sup>2</sup>, H.Saghafifar<sup>1</sup>, H.Noormohammadi<sup>2</sup> and M.H.Zadhush<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Optics & Lasers Engineering, Malek-ashtar University of Technology, Shahin-shar

<sup>2</sup> Fiber Lasers Group, Electro-optics & Lasers Research Center, Isfahan

Abstract- In this paper design and fabricating a double pass backward amplified spontaneous emission source based on Erbium doped fiber, is presented. Effective parameters on stability of mean wavelength of the source are listed and discussed. Designing done based on simulation and Finally, a source with suitable stability of mean wavelength is demonstrated.

Keywords: Amplified Spontaneous Emission Source, Double pass backward configuration, Erbium doped fiber , Stability of mean wavelength.

حد چند میلی وات محدود می‌سازد، همچنین طول موج میانگین آنها بستگی شدیدی به دما دارد (معمولاً  $\text{ppm}^{\circ}\text{C}$  -۴۰۰). برای رسیدن به پایداری ۱ ppm از SLD لحاظ دمایی تا حد  ${}^{\circ}\text{C} ۰۰\cdot۲۵ / ۰\cdot۲۵$  پایدار سازی شود [۴].

### ۳- عوامل موثر بر پایداری طول موج میانگین

دقت ژیروسکوپ تار نوری توسط فاکتور مقیاس آن، معلوم می‌شود که فاکتور مقیاس هم به پایداری طول موج میانگین چشمۀ نورانی‌اش وابسته است. بنابراین پایداری طول موج میانگین چشمۀ نوری نکته بسیار اساسی است.

پایداری طول موج میانگین چشمۀ ASE را می‌توان با رابطه زیر تخمین زد:

$$\Delta <\lambda_s> = \frac{\partial <\lambda_s>}{\partial T} \Delta T + \frac{\partial <\lambda_s>}{\partial P_p} \Delta P_p + \frac{\partial <\lambda_s>}{\partial \lambda_p} \Delta \lambda_p + \frac{\partial <\lambda_s>}{\partial F} \Delta F \quad (1)$$

اولین جمله سمت راست در رابطه ۱ ضریب گرمایی ذاتی است. این وابستگی از تغییر سطح مقطع‌های جذب و گسیل بون اربیوم با تغییر دما ناشی می‌شود. بنابراین هنگامی که دمای تار تغییر یابد، طیف گسیل بون‌ها تغییر یافته، در نهایت طیف خروجی از چشمۀ و طول موج میانگین آن تغییر می‌یابد. این جمله به طول موج، توان دمش و طول تار نیز وابسته است.

جمله دوم در رابطه وابستگی طیف به توان دمش را بیان می‌دارد. پارامترهای اساسی که موجب تغییر در توان دمش می‌گردد، دما و جریان لیزر دیود است. این جمله را می‌توان با انتخاب مناسب توان دمش حذف کرد. البته باید توجه داشت که برای کنترل توان دمش لازم است جریان لیزر دیود را با دقت  $۰\cdot۱ / ۰\cdot۱ \text{ mA}$  و دمای آن را با دقت  ${}^{\circ}\text{C} ۰\cdot۱ / ۰\cdot۱$  کنترل نمود.

جمله سوم می‌بین وابستگی طیف چشمۀ به طول موج دمش است. می‌دانیم که طول موج لیزر دیود از جریان و دمای کاری آن تاثیرپذیر است. آنگاه که طول موج دمش تغییر می‌یابد، توان جذب شده توسط تار تغییر یافته، این فرآیند موجب دگرگونی وارونی جمعیت در امتداد تار می‌شود. نتیجه اینکه تفاوت در طول موج دمش، تفاوت طیف چشمۀ و طول موج میانگین را رقم می‌زند. برای حذف این اثر می‌توان طول موج دمش را در طول موج بیشینه جذب در ناحیه طول موجی دمش انتخاب نمود و نیز کنترل‌های جریان و دما را مانند آنچه در بالا ذکر شد اعمال کرد [۱۰]. جمله آخر در رابطه فوق ناشی از اثرگذاری توان پسخور بازگشتی از حسگر است. توان پسخور نیز به نرخ

### ۱- مقدمه

چشمۀ گسیل خود بخودی تقویت شده<sup>۱</sup> (ASE) در تار نوری آلاییده به اربیوم به منظور کاربرد در حسگرهای تار نوری نظری ژیروسکوپ تار نوری [۱]، ایجاد چشمۀ‌های نوری چند طول موجی [۲]، تولید ابر پیوستگی [۳]، سنجه آزمون قطعات تارنوری نظری توری برآگ تارنوری، سامانه‌های WDM و بررسی ویژگی‌های طیفی تقویت کننده تار نوری آلاییده به اربیوم (EDFA) مورد توجه قرار گرفته است [۴، ۵]. این نوع چشمۀ‌های نوری پهنانی باند طیفی وسیعی (از مرتبه چند ده نانومتر) دارند [۶] و به همین دلیل دارای طول همدوسي بسیار کوتاهی می‌باشند.

چشمۀ ASE از یک قطعه تار آلاییده به عناصر خاکی نادر با دمش اپتیکی از انتهای تشکیل شده است. گذارهای اتمهای آلایینه تار پهن نوار هستند و با توجه به اینکه بر خلاف لیزر پهنانی بینابی ASE توسط مشدد پالایش نمی‌شود، خروجی این چشمۀ دارای پهنانی وسیعی است [۷].

### ۲- استفاده از ASE در حسگرهای تار نوری

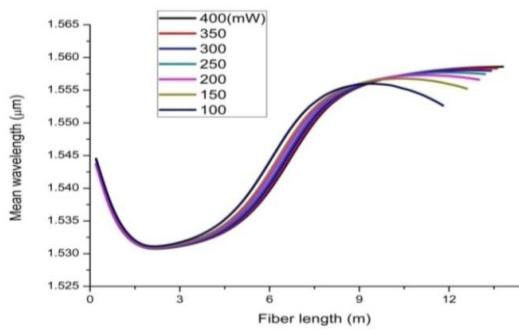
یکی از کاربردهای این چشمۀ، استفاده در حسگرهای تار نوری است. یکی از حسگرهای مهم، ژیروسکوپ تارنوری است. ژیروسکوپ تار نوری میزان چرخش را اندازه‌گیری می‌کند. از آنجایی که نرخ چرخش به واسطه‌ی اختلاف فاز بین دو موج مخالف هم اندازه‌گیری می‌شود، هر تغییر فاز نامقابل (جریان ناپذیر) در سیگنال ژیروسکوپ خطأ وارد می‌کند. منابع اصلی نویز درون ژیروسکوپ شامل نقص‌های تار، پراکندگی ریلی، تزویج مد قطبش و اثر کر است. تمام این آثار را می‌توان بوسیله چشمۀ پهن باند حذف کرد یا به میزان زیادی کاهش داد. حداکثر مشخصه‌های چشمۀ برای ژیروسکوپ‌های تار نوری، در ناوبری هوایپیمات، که پهنانی باند  $۲۰ \text{ nm}$  و کمینه توان  $۱\text{e}۱۰ \text{ mW}$  دارد [۸]. ژیروسکوپ یک ابزار تداخل سنجی است که در آن چرخش باعث تغییر فاز و چرخش متناسب با طول موج میانگین با یک ثابت تساوی به صورت عکس با هم رابطه دارند. بنابراین منبعی با طول موج میانگین که در برابر اختلالاتی نظری تغییرات دمایی، توان دمش، طول موج و قطبش، پایدار باشد، مورد نیاز است [۸].

منابع اندکی دارای چنین ویژگی‌هایی هستند. پیش از این از لیزر دیودهای ابر لومینسانس استفاده می‌شد، اما با وجود بهینه سازی‌های زیاد SLD‌ها هنوز اجهاتی ضعف دارند. آستگیماتیسم قابل ملاحظه پرتو آنها توان تزویج به تار را در

<sup>۱</sup> Amplified Spontaneous Emission (ASE)

است که شبیب نمودار به صفر می‌رسد و در واقع طول موج میانگین به ازای این نقطه پایدار می‌ماند.

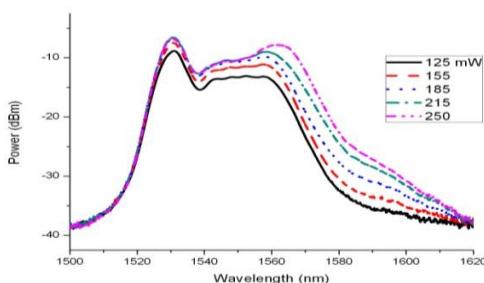
برای پیکربندی دوبار عبور پسرو نمودار شبیه سازی تغییرات طول موج میانگین با تغییر طول تار، تحت دمشاهی گوناگون رسم شده است. این شکل نشان می‌دهد که با افزایش سطح توان دمش، نقطه صفر شدن شبیب نمودار به سمت طول‌های بلندتر تار نوری انتقال می‌یابد. ضمن اینکه با افزایش توان دمش، بازه‌ای که شبیب نمودار نزدیک صفر باقی می‌ماند، بیشتر خواهد بود.



شکل ۲: طول موج میانگین بر حسب طول برای پیکربندی دوبار عبور پسرو

## ۵- نتایج تجربی

با توجه به مطالب ذکر شده در بخش‌های قبلی طول تار ۱۲ متر انتخاب گردید و تحت دمشاهی مختلفی قرار داده شد. نمودار تغییرات شکل طیف با توان دمش در شکل ۴ نشان داده شده است. با افزایش توان دمش، توان طول موج‌های پیرامون ۱۵۶۰ nm افزایش می‌یابد. همچنین جدایی نمودارها در طول موج‌های قبل از ۱۵۵۰ nm کمتر از جدایی آنها در طول موج‌های بلندتر از این طول موج است.



شکل ۳: طیف تجربی چشمی ASE دوبار عبور پسرو

در انجام این آزمایش، لیزر دیود با طول موج ۹۷۴ nm بکار رفته است. در بکارگیری این لیزر، دقت  $0.001 \text{ mA}$  در جریان اعمالی و کنترل دمایی  $0/1^{\circ}\text{C}$  لحاظ گردید. بنابراین دو عامل موثر در پایداری طول موج میانگین که مریبوط به دمش هستند،

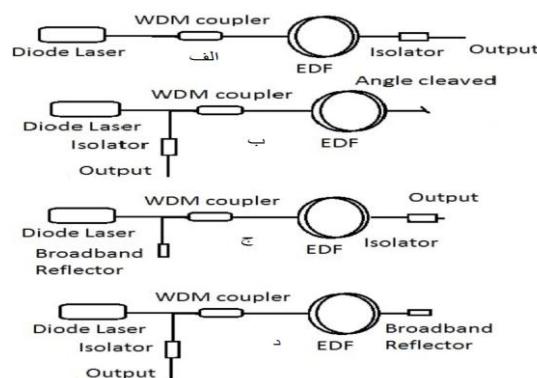
چرخش و دما وابسته است، که این مشکل را می‌توان با استفاده از یکسوساز نوری برطرف کرد.

یک طراحی مناسب باید تمام عوامل دخیل در تغییر طول موج میانگین چشمی را لاحظ نموده، آنها را کاهش داده و یا بطور کلی حذف نماید.

## ۴- طراحی چشمی

چهار پیکربندی پایه برای ایجاد چشمی وجود دارد که در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. شکل ۱-الف اولین پیکربندی را نشان می‌دهد که گسیل خود بخودی پیشرو و پسرو هردو تولید می‌شوند، که در آن فوتونهای پیشرو استخراج می‌گردند. پیکربندی یکبار عبور دیگر در شکل ۱-ب آمده است. در این طرح فوتون‌های پسرو مورد استفاده هستند و خروجی در همان سمتی که دمش وارد تارنوری می‌گردد، حاصل می‌شود و یکبار عبور پسرو (SPB) نامیده می‌شود.

در پیکربندی سوم (شکل ۱-ج) از یک بازتابنده قوى استفاده شده تا سیگنال رو به عقب را دوباره به داخل فیبر برگرداند و به این طریق این سیگنال طول فیبر را دو بار می‌پیماید. خروجی این پیکربندی در جهت روبه جلو است. بنابراین دوبار عبور پیشرو (DPF) نام گرفته است. مزیت بدیهی آن نسبت به یکبار عبور، تقویت دوباره سیگنال و بنابراین بهره بالاتر است. در شکل ۱-د پیکربندی دوبار عبور پسرو (DPB) نشان داده شده است که ویژگی‌های طیفی تقریباً مشابهی با پیکربندی یکبار عبور پسرو دارد.



شکل ۱: پیکربندی چشمی ASE الف - پیکربندی یکبار عبور پیشرو ب- پیکربندی یکبار عبور پسرو ج- پیکربندی دوبار عبور پیشرو د- پیکربندی دوبار عبور پسرو

در مطالعات تئوری قبلی نویسنده‌گان [۱۱] نشان داده شده است که از لحاظ طول موج میانگین نمودار طول موج میانگین به ازای طول تار برای پیکربندی دوبار عبور پسرو دارای نقطه‌ای

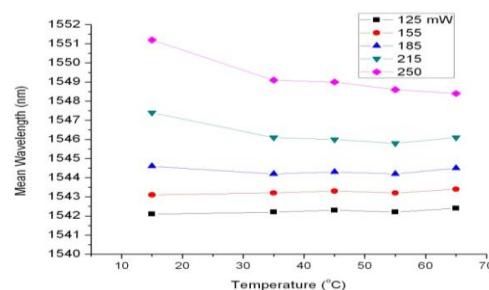
طول موج میانگین چشمی شد و سپس جهت ایجاد شرایط پایداری راه حل هایی ارائه گردید. طول موج میانگین این چشمی در برابر تغییرات دمایی بسیار پایدار است، به طوری که به ازای تغییرات دمایی  ${}^{\circ}\text{C}$  ۵۰، میزان تغییر طول موج میانگین به  $0.3\text{ nm}$  است. بنابراین ضریب تغییر طول موج میانگین با دما به میزان  $\text{ppm}^{{}^{\circ}\text{C}}$  ۳/۹ خواهد بود که در مقایسه با SLD ها که این ضریب برای آنها در حدود  $400 \text{ ppm}^{{}^{\circ}\text{C}}$  است، بسیار کوچکتر می باشد.

## مراجع

- [1] Su, H.C., Wang, L.A., A Highly Efficient Polarized Superfluorescent Fiber Source for Fiber-Optic Gyroscope Applications, *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 15 pp.1357-1360, 2003.
- [2] Su, C.D., Wang, L.A., Multiwavelength Fiber Sources Based on Double-Pass Superfluorescent Fiber Sources, *Lightwave Technology*, Vol. 18, pp.708-714, 2000
- [3] Takushima, Y., High average power, depolarized supercontinuum generation using a 1.55-μm ASE noise source, *Optics Express*, Vol. 13, pp. 5871-5877, 2005
- [4] Park, H., Digonnet, M.J.F., Kino, G., Er-Doped Superfluorescent Fiber Source With a 0.5 ppm Long-Term Mean-Wavelength Stability, *Lightwave Technology*, Vol. 21, pp.3427-3423,2003
- [5] Gupta,S., Qian, L., Measuring Gain and Noise Figure of Erbium-Doped Fiber Amplifiers Using a Broad-Band Source and a Transmission Filter, *IEEE Photonics Technology Letters* Vol.16 pp.2030-2032, 2004
- [6] Lin, H., Chang, C.H., High power C+L-band Erbium ASE source using optical circulator with double-pass and bi-directional pumping configuration *Optics Express*, Vol. 12, pp.6135-6140, 2004.
- [7] Digonnet,M. J. F. , Rare-Earth-Doped Fiber Lasers and Amplifiers, Marcel Dekker, Inc, 2001
- [8] Guillaumond, D., Meunier,J.-P. Comparison of Two Flattening Techniques on a Double-Pass Erbium-Doped Superfluorescent Fiber Source for Fiber-Optic Gyroscope, *IEEE Quantum Electronics*Vol. 7, pp.17-21, 2001
- [9] Falquier, D.G., Erbium Doped Superfluorescent Fiber Sources for the Fiber Optic Gyroscope, PHD Thesis, Stanford Stanford, 2000
- [10] Wang, L.A., . Su, C.D., Modeling of a Double-Pass Backward Er-Doped Superfluorescent Fiber Source for Fiber-Optic Gyroscope Applications, *Lightwave Technology*, Vol. 17 pp.2307-2315, 1999
- [11] م. کعنایی، ش. شاهی، م.ج. حکمت، ح.ثقی. فر، مقایسه پیکربندی های اساسی در طراحی چشمی گسیل خود بخودی تارنوری، نوزدهمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران، زاهدان، ۱۳۹۱
- [12] Wang, A., High Stability Er-Doped Superfluorescent Fiber Source Improved by Incorporating Bandpass Filter, *IEEE Photonics Technology Letters* Vol. 23, pp. 227-229, 2011

یعنی توان و طول موج لیزر دیود با دقیقیت کنترل شده اند.

عامل دیگری که در پایداری طول موج میانگین چشمی موثر است، اثر تغییر دما بر روی محیط فعال است. نتایج تجربی و نیز کارهای نویسندها دیگر [۱۲] در این زمینه نشان داده است که این عامل علاوه بر محیط میزان، به شرایط دمای نیز بستگی دارد. در شکل ۴ اثر تغییرات دمایی برای چشمی ASE دوبار عبور پسرو، تحت توانهای دمای گوناگون نشان داده شده است. میزان توانهای دمای استفاده شده، در کادر کنار شکل آمده است.



شکل ۴: تغییرات طول موج میانگین چشمی ASE با تغییر دما

در آزمایش مربوطه، تار اربیوم به دور یک حلقه پیچیده شد و تحت دمایهای ۱۵، ۳۵، ۴۵، ۵۵ و ۶۵ درجه قرار گرفت. با توجه به شکل اخیر می توان گفت، برای دمایهای ۱۲۵، ۱۵۵ و ۱۸۵ تغییرات طول موج میانگین با دما ناچیز است ولی با افزایش توان دمای تغییرات افزایش پیدا می کند. این موضوع بیانگر این است که برای یک طول خاص از تار نوری توان دمای بینهای وجود دارد که برای آن تغییرات طول موج میانگین ناچیز است. در این پیکربندی توان بهینه  $155 \text{ mW}$  است. در این حالت توان خروجی چشمی  $22.5 \text{ mW}$  و میزان تغییرات طول موج میانگین حداقل  $0.3 \text{ nm}$  است. اگر این مقدار را به عدد  $1543/1 \text{ nm}$  تقسیم کنیم و این مقدار تغییرات را بر اختلاف دمایی شرایط آغازین و پایانی تقسیم کنیم، مقدار  $3/9 \text{ ppm}^{{}^{\circ}\text{C}}$  بدست می آید. همانگونه که قبل ذکر شد، این مقدار برای SLD از مرتبه چند صد  $\text{ppm}^{{}^{\circ}\text{C}}$  است. این انتخاب طول تار پیرامون ۱۲ متر انتخاب مناسبی برای برقراری شرایط پایداری طول موج میانگین چشمی خواهد بود. در این صورت توان دمای مناسب چشمی حدود  $30 \text{ mW}$  خواهد بود، که بر اساس کار تجربی انجام شده در این شرایط توان خروجی چشمی  $30 \text{ mW}$  خواهد بود.

## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله به برپایی یک چشمی ASE دوبار عبور پسرو پرداخته شده است. ابتدا مرواری بر عوامل موثر در پایداری