



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



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

محمد کنعانی جزی^{۱*}، شریفه شاهی^۱، محمد جواد حکمت^۲، حسین ثقفی فر^۱، حسین نور محمدی^۲ و محمد حسن زادهوش^۲

^۱ گروه مهندسی اپتیک و لیزر دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین شهر اصفهان

^۲ 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 آلائیده به اربیم پرداخته شده است. عوامل موثر بر پایداری طول موج میانگین چشمه بیان و به بررسی و تحلیل آنها پرداخته می شود. براساس شبیه سازی های 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 آلائیده به اربیم.

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

M.Kanani Jazi^{1,2}, Sh.Shahi^{1,2}, M.J.Hekmat², H.Saghafifar¹, H.Noormohammadi² and M.H.Zadhush²

¹Department of Optics & Lasers Engineering, Malek-ashtar University of Technology, Shahin-shar

² 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.

۱- مقدمه

حد چند میلی وات محدود می‌سازد، همچنین طول موج میانگین آنها بستگی شدیدی به دما دارد (معمولا $\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ -۴۰۰). برای رسیدن به پایداری ۱ ppm باید SLD از لحاظ دمایی تا حد $^{\circ}\text{C } 0.025/0$ پایدار سازی شود [۹].

۳- عوامل موثر بر پایداری طول موج میانگین

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

پایداری طول موج میانگین چشمه 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 یون اربیم با تغییر دما ناشی می‌شود. بنابراین هنگامی که دمای تار تغییر یابد، طیف گسیل یون‌ها تغییر یافته، در نهایت طیف خروجی از چشمه 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 می‌گردند، 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 0.1 mA و دمای آن را با دقت $^{\circ}\text{C } 0.1$ کنترل نمود.

جمله سوم مبین وابستگی طیف چشمه 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 چشمه 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 کنترل های 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

چشمه گسیل خود بخودی تقویت شده^۱ (ASE) در تار نوری آلائیده به اربیم به منظور کاربرد در حسگرهای تار نوری نظیر ژيروسکوپ تار نوری [۱]، ایجاد چشمه‌های نوری چند طول موجی [۲]، تولید ابر پیوستگی [۳]، سنجه آزمون قطعات تارنوری نظیر توری براگ تارنوری، سامانه‌های WDM و بررسی ویژگیهای طیفی تقویت کننده تار نوری آلائیده به اربیم (EDFA) مورد توجه قرار گرفته است [۴، ۵]. این نوع چشمه‌های نوری پهنای باند طیفی وسیعی (از مرتبه چند ده نانومتر) دارند [۶] و به همین دلیل دارای طول همدوسی بسیار کوتاهی می‌باشند.

چشمه ASE از یک قطعه تار آلائیده به عناصر خاکی نادر با دمش اپتیکی از انتها تشکیل شده است. گذارهای اتمهای آلائیده تار پهن نوار هستند و با توجه به اینکه بر خلاف لیزر پهنای باندی ASE توسط مشدد پالایش نمی‌شود، خروجی این چشمه دارای پهنای وسیعی است [۷].

۲- استفاده از ASE در حسگرهای تار نوری

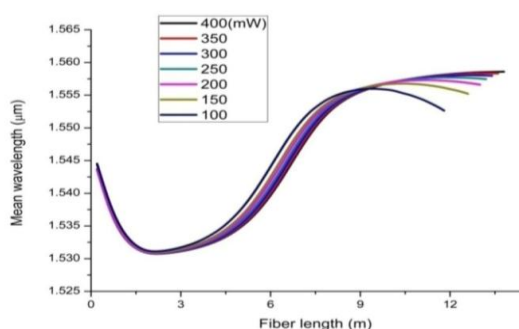
یکی از کاربردهای این چشمه، استفاده در حسگرهای تار نوری است. یکی از حسگرهای مهم، ژيروسکوپ تارنوری است. ژيروسکوپ تار نوری میزان چرخش را اندازه‌گیری می‌کند. از آنجایی که نرخ چرخش به واسطه‌ی اختلاف فاز بین دو موج مخالف هم اندازه‌گیری می‌شود، هر تغییر فاز نامتقابل (جبران ناپذیر) در سیگنال ژيروسکوپ خطا وارد می‌کند. منابع اصلی نویز درون ژيروسکوپ شامل نقص‌های تار، پراکندگی ریلی، تزویج مد قطبش و اثر کر است. تمام این آثار را می‌توان بوسیله چشمه پهن باند حذف کرد یا به میزان زیادی کاهش داد. حداکثر مشخصه‌های چشمه برای ژيروسکوپ‌های تار نوری، در ناوبری هواپیماست، که پهنای باند 20 nm و کمینه توان 10 mW لازم دارد [۷]. ژيروسکوپ 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 نظیر 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 از جهاتی ضعف دارند. آستگیماتسیستم قابل ملاحظه پرتو آنها توان تزویج به تار را در

^۱ Amplified Spontaneous Emission (ASE)

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

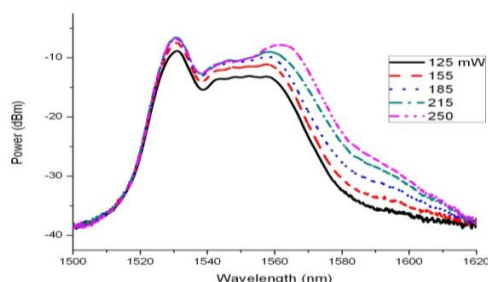
برای پیکربندی دوبار عبور پسرودار شبیه سازی تغییرات طول موج میانگین با تغییر طول تار، تحت دمش‌های گوناگون رسم شده است. این شکل نشان می‌دهد که با افزایش سطح توان دمش، نقطه صفر شدن شیب نمودار به سمت طول‌های بلندتر تار نوری انتقال می‌یابد. ضمن اینکه با افزایش توان دمش، بازه‌ای که شیب نمودار نزدیک صفر باقی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



شکل ۲: طول موج میانگین بر حسب طول برای پیکر بندی دوبار عبور پسرودار

۵- نتایج تجربی

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



شکل ۳: طیف تجربی چشمه ASE دوبار عبور پسرودار

در انجام این آزمایش، لیزر دیود با طول موج ۹۷۴ nm بکار رفته است. در بکارگیری این لیزر، دقت ۰/۰۱ mA در جریان اعمالی و کنترل دمایی ۰/۱ °C لحاظ گردید. بنابراین دو عامل موثر در پایداری طول موج میانگین که مربوط به دمش هستند،

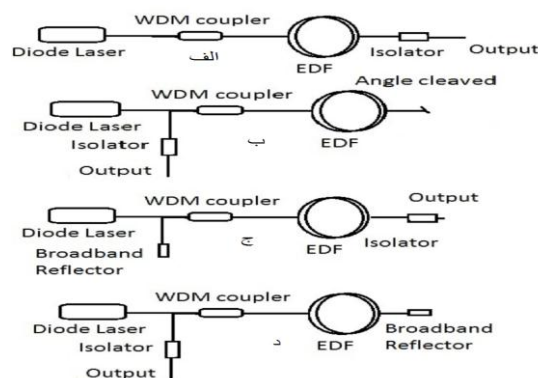
چرخش و دما وابسته است، که این مشکل را می‌توان با استفاده از یکسوساز نوری برطرف کرد.

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

۴- طراحی چشمه ASE

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

در پیکربندی سوم (شکل ۱-ج) از یک بازتابنده قوی 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 پسرودار (DPB) نشان داده شده است که ویژگی‌های طیفی تقریباً مشابهی با پیکربندی یکبار عبور پسرودار دارد.



شکل ۱: پیکربندی چشمه ASE الف - پیکربندی یکبار عبور پیشرو ب- پیکربندی یکبار عبور پسرودار ج- پیکربندی دوبار عبور پیشرو د- پیکربندی دوبار عبور پسرودار

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

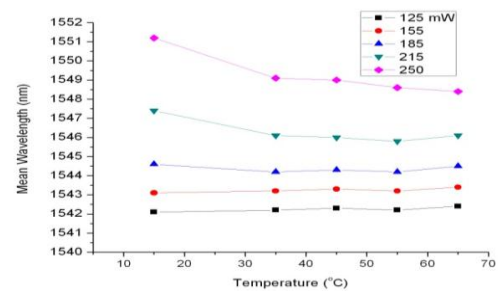
طول موج میانگین چشمه شد و سپس جهت ایجاد شرایط پایداری راه حل‌هایی ارائه گردید. طول موج میانگین این چشمه در برابر تغییرات دمایی بسیار پایدار است، به طوری که به ازای تغییرات دمایی 50°C ، میزان تغییر طول موج میانگین 0.3 nm است. بنابراین ضریب تغییر طول موج میانگین با دما به میزان $3/9\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ خواهد بود که در مقایسه با SLDها که این ضریب برای آنها در حدود $400\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ است، بسیار کوچکتر می‌باشد.

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 super-continuum generation using a $1.55\text{-}\mu\text{m}$ 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. کنعانی، ش. شاهی، م.ج. حکمت، ح.ثقفی، فر. مقایسه پیکربندی‌های اساسی در طراحی چشمه 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 دقت کافی کنترل شده‌اند.

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



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

در آزمایش مربوطه، تار اربیم به دور یک حلقه پیچیده شد و تحت دماهای ۱۵، ۳۵، ۴۵، ۵۵ و ۶۵ درجه قرار گرفت. با توجه به شکل اخیر می‌توان گفت، برای دمش‌های ۱۲۵، ۱۵۵ و ۱۸۵ تغییرات طول موج میانگین با دما ناچیز است ولی با افزایش توان دمش تغییرات افزایش پیدا می‌کند. این موضوع بیانگر این است که برای یک طول خاص از تار نوری توان دمش بهینه‌ای وجود دارد که برای آن تغییرات طول موج میانگین ناچیز است. در این پیکر بندی توان بهینه 155 mW است. در این حالت توان خروجی چشمه $22/5\text{ mW}$ و میزان تغییرات طول موج میانگین حداکثر 0.3 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 می‌آید. همانگونه که قبلاً ذکر شد، این مقدار برای SLD از مرتبه چند صد $\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ است. براین انتخاب طول تار پیرامون 12 m انتخاب مناسبی برای برقراری شرایط پایداری طول موج میانگین چشمه خواهد بود. در این صورت توان دمش مناسب چشمه حدود 150 mW خواهد بود، که بر اساس کار تجربی انجام شده در این شرایط توان خروجی چشمه 30 mW خواهد بود.

۶- نتیجه گیری

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