بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

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 کنعانی جزی[۱و۲*] ، شریفه شاهی[۱و۲] ، 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 – دراین 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 وتحلیل 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 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[1,2], Sh.Shahi[1,2], M.J.Hekmat[2], H.Saghafifar[1], H.Noormohammadi[2] and M.H.Zadhush[2]

[1]Department 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.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

۱- مقدمه

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

چشمه ASE از یک قطعه تار آلاییده به عناصر خاکی نادر با دمش اپتیکی از انتها تشکیل شده است. گذارهای اتمهای آلاینده تار پهن نوار هستند و با توجه به اینکه بر خلاف لیزر پهنای بینابی ASE توسط مشدد پالایش نمی شود، 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، 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 نامتقابل (جبران ناپذیر) در سیگنال ژیروسکوپ خطا 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 چشمه پهن باند حذف کرد یا به میزان زیادی کاهش داد. حداکثر مشخصه های چشمه برای ژیروسکوپ‌های تار نوری، در ناوبری هواپیماست، که پهنای باند ۲۰ nm و کمینه توان۱۰mWلازم دارد[۷]. 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 نظیر تغییرات دمایی، توان دمش، طول موج و قطبش، پایدار باشد، مورد نیاز است[۸].

منابع اندکی دارای چنین ویژگی هایی هستند. پیش از این از لیزر دیودهای ابر لومینسانس استفاده می‌شد، اما با وجود بهینه سازیهای زیاد SLDها هنوزازجهاتی ضعف دارند. آستگیماتیسم قابل ملاحظه پرتو آنها توان تزویج به تار را در حد چند میلی وات محدود می‌سازد، همچنین طول موج میانگین آنها بستگی شدیدی به دما دارد (معمولا $ppm/^oC$ ۴۰۰-). برای رسیدن به پایداری ppm ۱ باید SLD از لحاظ دمایی تا حد ^oC ۰/۰۰۲۵ پایدار سازی شود[۹].

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 چشمه نورانی‌اش وابسته است. بنابراین پایداری طول‌موج میانگین چشمه نوری نکته بسیار اساسی است.

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

$$\Delta<\lambda_s>=\frac{\partial<\lambda_s>}{\partial T}\Delta T+\frac{\partial<\lambda_s>}{\partial P_p}\Delta P_p + \frac{\partial<\lambda_s>}{\partial \lambda_p}\Delta\lambda_p+\frac{\partial<\lambda_s>}{\partial F}\Delta F \quad (۱)$$

اولین جمله سمت راست در رابطه ۱ ضریب گرمایی ذاتی است. این وابستگی از تغییر سطح مقطع‌های جذب و گسیل یون اربیوم با تغییر دما ناشی می‌شود. بنابراین هنگامی که دمای تار تغییر یابد، طیف گسیل یون‌ها تغییر یافته، در نهایت طیف خروجی از چشمه و طول‌موج میانگین آن تغییر می‌یابد. این جمله به طول‌موج، 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 mA ۰/۱ و دمای آن را با دقت ^oC ۰/۱ کنترل نمود.

جمله سوم مبین وابستگی طیف چشمه به طول‌موج دمش است. می‌دانیم که طول موج لیزر دیود از جریان و دمای کاری آن تاثیرپذیر است. آنگاه که طول‌موج 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

[۱] Amplified Spontaneous Emission (ASE)

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

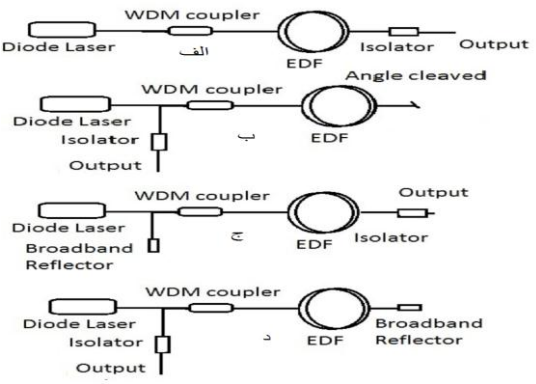
چرخش و دما وابسته است، که این مشکل را می‌توان با استفاده از یکسوساز نوری برطرف کرد.

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 پسرو هردو تولید می‌شوند، که در آن فوتونهای پیشرو استخراج می‌گردند. پیکربندی یکبار عبور دیگر در شکل۱-ب آمده است. در این طرح فوتون‌های پسرو مورد استفاده هستند و خروجی در همان سمتی که دمش وارد تارنوری می گردد، حاصل می‌شود و یکبار عبور پسرو (SPB) نامیده می شود.

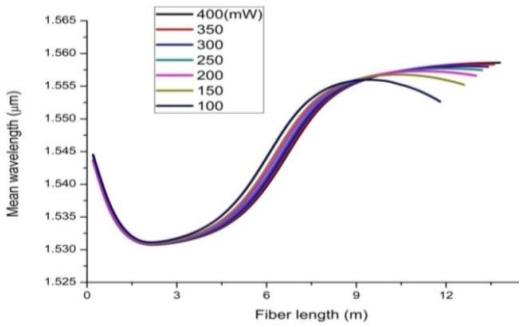
در پیکربندی سوم (شکل۱- ج) از یک بازتابنده قوی استفاده شده تا سیگنال رو به عقب را دوباره به داخل فیبر برگرداند و به این طریق این سیگنال طول فیبر را دو بار می‌پیماید. خروجی این پیکربندی در جهت روبه جلو است. بنابراین دوبار عبور پیشرو (DPF) نام گرفته است. مزیت بدیهی آن نسبت به یکبار عبور، تقویت دوباره سیگنال و بنابراین بهره بالاتر است. در شکل ۱-د پیکربندی دوبار عبور پسرو (DPB) نشان داده شده است که ویژگی های طیفی تقریبا مشابهی با پیکربندی یکبار عبور پسرو دارد.



شکل ۱: پیکربندی چشمه ASE الف - پیکربندی یکبارعبور پیشرو ب- پیکربندی یکبارعبور پسرو ج- پیکربندی دوبار عبور پیشرو د- پیکربندی دوبار عبور پسرو

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

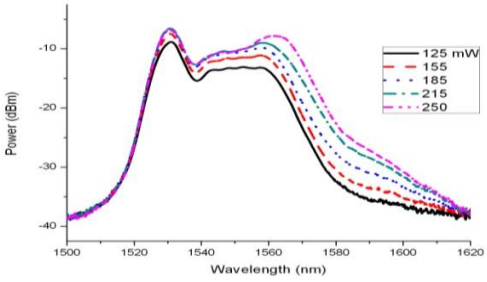
برای پیکربندی دوبار عبور پسرو نمودار شبیه سازی تغییرات طول موج میانگین با تغییر طول تار، تحت دمش‌های گوناگون رسم شده است. این شکل نشان می‌دهد که با افزایش سطح توان دمش، نقطه صفر شدن شیب نمودار به سمت طول‌های بلندتر تار نوری انتقال می‌یابد. ضمن اینکه با افزایش توان دمش، بازه‌ای که شیب نمودار نزدیک صفر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



شکل۲: طول موج میانگین بر حسب طول برای پیکر بندی دوبار عبور پسرو

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.



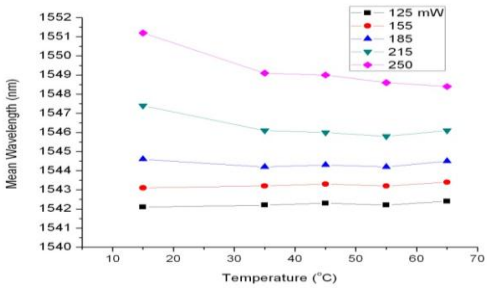
شکل ۳: طیف تجربی چشمه ASE دوبار عبور پسرو

در انجام این آزمایش، لیزر دیود با طول موج ۹۷۴ nm بکار رفته است. در بکارگیری این لیزر، دقت ۰/۰۰۱ mA در جریان اعمالی و کنترل دمایی ۰/۱ ^{o}C لحاظ گردید. بنابراین دو عامل موثر در پایداری طول موج میانگین که مربوط به دمش هستند،

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

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

عامل دیگری که در پایداری طول موج میانگین چشمه موثر است، اثر تغییر دما برروی 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.



شکل۴: تغییرات طول موج میانگین چشمه ASE با تغییر دما

در آزمایش مربوطه، تار اربیوم 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، ۱۵۵و 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 نا چیز است. در این پیکر بندی توان بهینه ۱۵۵ mW است. در این حالت توان خروجی چشمه ۲۲/۵ mW و میزان تغییرات طول موج میانگین حداکثر ۰/۳ nm است. اگر این مقدار را به عدد ۱۵۴۳/۱ nm تقسیم کنیم و این مقدار تغییرات را بر اختلاف دمایی شرایط آغازین و پایانی تقسیم کنیم، مقدار $ppm/^oC$ ۳/۹ بدست می‌آید. همانگونه که قبلا ذکر شد، این مقدار برای SLD از مرتبه چند صد $ppm/^oC$ است.ابراین انتخاب طول تار پیرامون ۱۲ متر انتخاب مناسبی برای برقراری شرایط پایداری طول موج میانگین چشمه خواهد بود. در این صورت توان دمش مناسب چشمه حدود mW ۱۵۰ خواهد بود، که بر اساس کار تجربی انجام شده در این شرایط توان خروجی چشمه mW ۳۰ 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 طول‌موج 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 ^oC ۵۰، میزان تغییر طول موج میانگین nm ۰/۳ است. بنابراین ضریب تغییر طول موج میانگین با دما به میزان $ppm/^oC$ ۳/۹ خواهد بود که در مقایسه با SLDها که این ضریب برای آنها در حدود $ppm/^oC$ ۴۰۰ 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-μm ASE noise source, Optics Expres, 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 Expres, 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 ElectronicsVol. 7, pp.17-21, 2001

[9] Falquier, D.G., Erbium Doped Superfluorescent Fiber Sources for the Fiber Optic Gyroscope, PHDThesis, 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

[۱۱] م. کنعانی، ش. شاهی، م.ج. حکمت، ح.ثقفی. فر، مقایسه پیکربندی های 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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]