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

طراحی و ساخت لیزر فیبری با توان ۵۰۰ وات و پهنای طیفی باریک

امیر حیدری آذر[۱و۲]، سید محمد میرزا باقر برزی[۲]، رضا پوزش[۲]، وحید وطنی[۲]، حمید لطیفی[۱]

۱. دانشکده فیزیک، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲. مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران، تهران، ایران

چکیده – در این مقاله یک لیزر ۵۰۰W وات تمام فیبری با پهنای طیفی باریک و طول موج ۱۰۷۹nm طراحی و ساخته شده است. چیدمان نوسانگر-تقویت‌کننده برای این منظور مورد استفاده قرار گرفت. از فیبرهای دو غلافه سیلیکایی با ناخالصی ایتربیوم به عنوان محیط فعال استفاده شده است. بازده اپتیکی تقویت کننده ۶۹٪ می‌باشد. پهنای طیفی لیزر خروجی از نوسانگر و تقویت‌کننده به ترتیب ۰/۰۵nm و ۰/۰۹nm است. این مقاله همچنین در مورد اثر پهنای طیفی آیینه فیبری بازتاب پایین لیزر و طول فیبر مورد استفاده در وقوع پراکندگی القایی بریلویین بحث می‌کند. لیزر ساخته شده از نظر توان و طیف بسیار پایدار بوده و به سبب خمش مناسب در فیبر خروجی، تک مد عرضی است.

کلید واژه- نوسانگر، تقویت‌کننده، پهنای طیفی، پراکندگی القایی بریلویین

Design and construction of 500W fiber laser with narrow linewidth

Amir Heidariazar[1,2], Seyed Mohammad Mirzabagher Barzi[2], Reza Poozesh[2], Vahid Vatani[2], Hamid Latifi[1]

1. Department of Physics, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2. Iranian National Center for Laser Science and Technology, Tehran, Iran

Abstract- In this paper a 500W all-fiber narrow linewidth laser at 1079nm is designed and constructed. Seed-amplifier setup was used for this purpose. Yb^{+3} doped double clad fiber was used as active medium. The optical efficiency for amplifier is 69%. Laser linewidth of oscillator and amplifier is 0.05nm and 0.09nm respectively. This paper also discusses the impact of output coupler mirror linewidth and fiber length on the SBS threshold. The spectrum and power of laser is stable and due to appropriate fiber bending the output beam is single mode.

Keywords: Amplifier, Oscillator, Linewidth, Stimulated Brillouin Scattering

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-08]

مقدمه

در سال‌های اخیر لیزرهای فیبری با ناخالصی ایتربیوم به سبب امکان رسیدن به توان‌های بالا، کیفیت باریکه عالی، خنک‌سازی آسان و بازده اپتیکی بالا، مورد توجه فراوانی قرار گرفته‌اند[۲و۱]. استفاده‌ای که از این لیزرها در صنعت به منظور برش یا جوش می‌شود، وابسته به پهنای طیفی لیزر خروجی نیست، اما برخی از کاربردهای مهم نیاز به لیزری با پهنای طیفی باریک دارند. این در حالی است که افزایش توان لیزرهای با پهنای طیفی باریک به دلیل وقوع پراکندگی القایی بریلویین (SBS[۱]) دارای چالش زیادی می‌باشد. ترکیب طیفی باریکه‌های لیزر به منظور افزایش توان، نیاز به ساخت لیزرهایی با پهنای طیفی باریک دارد[۴و۳].

در این مقاله به دنبال آن هستیم تا با انتخاب بهینه طول و قطر فیبر، حلقه کردن مناسب فیبر، انتخاب لیزرهای دیودی مناسب و استفاده از توری‌های براگ فیبری با پهنای طیفی باریک، بتوانیم به بیشترین توان و کمترین پهنای طیفی ممکن برسیم.

تئوری

مهمترین اثر غیرخطی که در لیزرهای فیبری با پهنای طیفی باریک، مانع از افزایش توان می‌شود، SBS می‌باشد. این اثر به علت بر هم‌کنش نور لیزر فرودی با مدهای ارتعاشی سیلیکا است. فوتون‌های لیزر از فونون‌های آکوستیکی به طور غیرالاستیک پراکنده شده و انرژی فوتون جدید ایجاد شده معادل تفاضل انرژی فوتون فرودی و فونون است. در واقع این موج آکوستیکی ضریب شکست مغزی فیبر را مدوله کرده و با تشکیل یک توری پراش، موج فرودی را در خلاف جهت لیزر پراکنده می‌کند.

نور لیزر خود به عنوان پمپ عمل نموده و فرایند گسیل القایی موجب تقویت باریکه پراکنده شده می‌شود. تقویت باریکه بریلویین، علاوه بر آن که بازدهی لیزر را کاهش می‌دهد، می‌تواند منجر به سوختن آن شود. خاطر نشان می‌شود دیودهای پمپ به نور برگشتی، حساس هستند.

آستانه وقوع این پدیده غیرخطی به سطح مقطع مغزی فیبرA_{eff}، ضریب بهره بریلویین$g_B(\Delta\omega_P)$ و طول موثر فیبرL_{eff}، بستگی دارد. این وابستگی در روابط (۱)، (۲) و (۳) نشان داده شده است.

$$P_{th}^{SBS} = \frac{21A_{eff}}{g_B(\Delta\omega_P)L_{eff}} \quad (۱)$$

$$L_{eff} = \frac{1-e^{-\alpha l}}{\alpha} \quad (۲)$$

$$g_B(\Delta\omega_P) = g_B(1+\frac{\Delta\omega_P}{\Gamma_P})^{-1} \quad (۳)$$

که در آن l طول فیبر، α ضریب جذب مغزی فیبر و Γ_P طول عمر فونون آکوستیکی می‌باشد. هر چه طیف لیزر باریک‌تر، طول فیبر بلندتر و یا مقطع فیبر باریک‌تر باشد، آستانه وقوع SBS پایین‌تر می‌آید. اگرچه کاهش طول فیبر، خطر وقوع SBS را کمتر می‌کند، اما موجب می‌شود محیط بهره کوچکتری در اختیار داشته باشیم که این امر باعث می‌شود، نور پمپ به نحو مطلوبی در محیط فعال جذب نشود و بازدهی لیزر پایین بیاید؛ لذا طول بهینه‌ای برای ساخت لیزر مورد نیاز است. افزایش قطر فیبر نیز متاسفانه موجب چند مدی شدن لیزر می‌شود.

روش انجام آزمایش

برای رسیدن به هدف مورد نظر، دو راهکار پیش رو بود: یکی استفاده از سیستم تک نوسانگر و دیگری بهره‌گیری از چیدمان نوسانگر-تقویت‌کننده. سیستم تک‌نوسانگر حتی به فرض انتخاب پهنای طیفی باریک توری‌های براگ فیبری

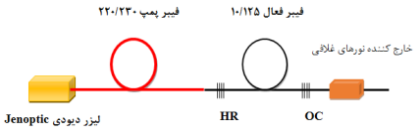
---

۱. Stimulated Brillouin Scattering

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

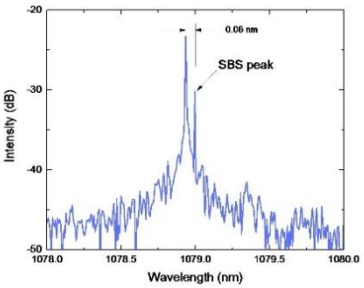
[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-08]

بازتاب بالا (HR) و بازتاب پایین (OC)، موجب پهن شدگی طیف لیزر در توان‌های بالا می‌شود. چیدمان نوسانگر-تقویت‌کننده برای این منظور بسیار مناسب است؛ زیرا که اگر بتوان چشمه لیزری با توان کم و پهنای طیفی باریک ساخت و سپس آن را تقویت نمود، کنترل بسیار بیشتری بر روی طیف لیزر می‌توان داشت. انتخاب مناسب طول و قطر محیط فعال، درصد بازتاب و پهنای طیفی آیینه‌های فیبری بر اساس شبیه‌سازی‌های انجام شده در نرم افزار Liekki Application Designer v3.3 به دست آمده و سپس با قدری آزمون و خطا در عمل تصحیح شده است. در ابتدا دو عدد توری HR (۹۹ درصد) و OC (۱۰ درصد) با پهنای طیفی ۰/۰۵nm و ۱/۵nm بر روی فیبر حساس به نور ۸/۱۳۰μm ساخته شد. ۵m فیبر ۱۰/۱۲۵μm با ناخالصی ایتربیوم و با جذب ۶dB/m به عنوان محیط فعال در نظر گرفته شد. یک لیزر دیودی ۳۰W متعلق به شرکت Jenoptic در طول موج ۹۷۶nm برای پمپ انتخاب شد. از آنجاکه این دیود، فیبردار بود و فیبر متصل به آن ۲۲۰/۲۳۰μm بود، لازم بود قطر۲۲۰μm را با قرار دادن فیبر در اسید فلوریدریک ۴۰٪ و بیرون کشیدن تدریجی آن از اسید به ۱۳۰μm (معادل قطر HR) رساند. این کار موجب اتلاف ۱۳ واتی در بیشینه جریان کاری لیزر دیودی شد و توان خروجی آن را به ۱۷W تقلیل داد. فیبر خروجی لیزر دیودی به آیینه فیبری HR جوش داده شد. طرف دیگر HR به فیبر فعال و طرف دیگر فیبر فعال به OC جوش داده شد. بر روی فیبر خروجی OC یک خارج کننده نورهای غلافی ساخته شد و توان خروجی لیزر در بیشینه جریان لیزر دیودی (۴۷A) اندازه‌گیری شد که ۶W بود. لیزر ساخته شده به طور شماتیکی در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل(۱) چیدمان شماتیکی لیزر فیبری ۶W.

از دستگاه OSA (Optical Spectrum Analyzer) برای اندازه‌گیری طیف لیزر خروجی استفاده شد. در طیف خروجی که در شکل (۲) نشان داده شده است، در فاصله ۰/۰۶nm از قله اصلی که پهنای طیفی آن ۰/۰۲nm است، قله دیگری مشاهده شد که با توجه به مقدار بهره بریلویین فیبر سیلیکایی و ابعاد فیبر، نشان دهنده SBS است. توان برگشتی لیزر در توان ۶W، برابر۲mW بود که طبیعتاً بخشی از این توان مربوط به SBS است.

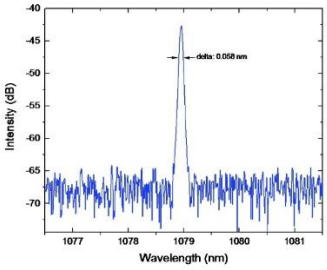


شکل(۲) مشاهده SBS در طیف خروجی لیزر ۶W.

برای رفع SBS، طول فیبر به ۳/۵m تقلیل داده شد و آزمایش تکرار شد؛ اما این بار نیز نتیجه مشابه حالت قبل بود. برای رفع مشکل، طول فیبر فعال به ۵m قبلی برگردانده شد اما پهنای طیفی OC از ۰/۰۵ به ۰/۲nm افزایش پیدا کرد و از لیزر دیودی ۲۵W شرکت nlight با فیبر خروجی ۱۰۰/۱۲۵μm جهت پمپ استفاده شد. این بار در طیف خروجی لیزر که پهنای آن ۰/۰۵nm و توان ۱۱W شده بود، SBS مشاهده نشد (افزایش پهنای طیفی لیزر با توجه به رابطه (۳) آستانه SBS را بالا می‌برد). توان نور برگشتی در این حالت ۳mW شد. توان خروجی نوسانگر باید به حد کافی بزرگ باشد تا بتواند وارونی جمعیت را در تقویت‌کننده به خوبی تخلیه کند. لذا از ۲ عدد دیود ۲۵W برای پمپ در نوسانگر استفاده شد که موجب شد توان خروجی نوسانگر به ۲۳W برسد. طیف خروجی در شکل(۳) نشان داده شده است. پهنای طیفی به ۰/۰۵۸nm و توان نور برگشتی به ۶mW رسید.

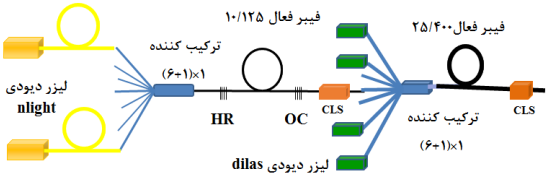
این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-08]



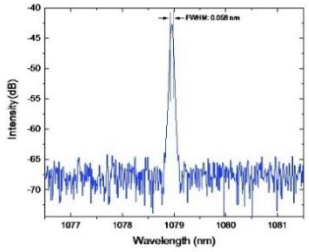
شکل(۳) طیف خروجی نوسانگر با توان ۲۳W و پهنای طیفی ۰/۰۵۸nm.

حال می‌توان سیگنال مربوط به نوسانگر را تقویت نمود. در قسمت تقویت کننده از ۴ عدد دیود ۱۸۰ وات VBGدار متعلق به شرکت dilas، جهت پمپاژ استفاده شد. چیدمان شماتیکی سیستم نوسانگر-تقویت‌کننده در شکل (۴) نشان داده شده است.

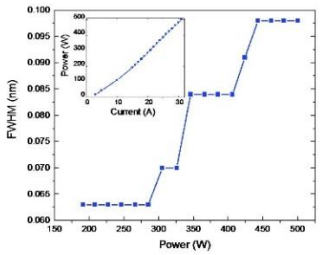


شکل(۴) چیدمان شماتیکی سیستم نوسانگر- تقویت‌کننده

در تقویت کننده از ۷/۳m فیبر ۲۵/۴۰۰µm متعلق به شرکت Nufern با جذب ۱/۸dB/m استفاده شد. برای ترکیب توان لیزرهای دیودی از ترکیب کننده ۱×(۶+۱) استفاده شد که شاخه‌های پمپ ورودی آن ۲۲۰/۲۳۰µm با NA=۰/۲۲ و شاخه سیگنال خروجی و سیگنال برگشتی آن ۲۰/۴۰۰µm با NA=۰/۴۶ برای غلاف و NA=۰/۰۶ برای مغزی می‌باشد. در انتهای لیزر یک عدد خارج کننده نورهای غلافی با فیبر ۲۵/۴۰۰µm به فیبر فعال تقویت کننده جوش داده شد. توان خروجی لیزر ۵۰۰W و پهنای طیفی ۰/۰۹nm به دست آمد. در شکل‌های (۵) و (۶) به ترتیب طیف خروجی تقویت کننده، تغییرات پهنای طیفی با افزایش توان لیزر و تغییرات توان لیزر با افزایش جریان دیودها نشان داده شده است. توان برگشتی در بیشینه توان تقویت کننده به ۱۲۰mW رسید.



شکل(۵)طیف خروجی لیزر ۵۰۰W با پهنای طیفی ۰/۰۹۸nm



شکل(۶) افزایش پهنای طیفی سیستم نوسانگر-تقویت‌کننده با افزایش توان لیزر- کادر کوچک: افزایش توان لیزر با افزایش جریان دیودها

جمع‌بندی

با انتخاب میزان بهینه پهنای طیفی آیینه OC، طول و قطر مناسب فیبر فعال و چیدمان نوسانگر- تقویت‌کننده لیزر فیبری با توان ۵۰۰W و پهنای طیفی خروجی ۰/۰۹nm ساخته شد.

مرجع‌ها

[1] D. J. Richardson, J. Nilsson and W. A. Clarkson, “High power lasers: current status and future perspective”, J. Opt. Soc. Am. B27. B63-B92 (2010)

[2] Y. Qi, Y. Yang, H. Shen, B. He, and J. Zhou, “2.7 kW CW Narrow Linewidth Yb-doped all-fiber Amplifiers for Beam Combining Application”, Laser Congress 2017(ASSL LAC)

[3] C. Wirth, O. Schmidt, I. Tsybin, T. Schreiber, T. Peschel, F. Brückner, T. Clausnitzer, J. Limpert, R. Eberhardt, A. Tünnermann, M. Gowin, E. ten Have, K. Ludewigt, and M. Jung, “2 kW incoherent beam combining of four narrow-linewidth photonic crystal fiber amplifiers”, Opt. Express 17, 1178-1183 (2009).

[4] Y. Xu, Q. Fang, Y. Qin, X. Meng, and W. Shi, “2 kW narrow spectral width monolithic continuous wave in a near-diffraction-limited fiber laser “, Appl. Opt. 54, 9419-9421(2015).

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

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-11-08]