بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

شبیه‌سازی اثرساختار تناوبی غلاف روی خارج کردن نورهای ناخواسته در لیزرهای فیبر نوری پرقدرت

سیده رقیه موسوی، فاطمه شهشانی، سید علی علویان و بتول سجاد

گروه فیزیک، دانشگاه الزهراء، تهران، گروه فیزیک، دانشگاه الزهراء، تهران، دانشکده علمی کاربردی مخابرات، تهران و گروه فیزیک، دانشگاه الزهراء، تهران

چکیده - یکی از مشکلات لیزرهای فیبر نوری پرقدرت باقی‌ماندن نورهای غلافی در انتهای محیط بهره لیزر است؛ باقی‌ماندن این نورها سبب کاهش کیفیت پرتو خروجی و افزایش دما در سیستم می‌شود. در این مقاله، برای خارج کردن این نورها از غلاف اول، طرح جدیدی بر مبنای تغییر در ساختار غلاف دوم و استفاده از یک ماده پیوندی پیشنهاد و شبیه‌سازی شده است. ساختار جدید معرفی شده موجب خروج یکنواخت نورهای ناخواسته و افزایش پایداری سیستم لیزری می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با استفاده از ساختار پیشنهادی به همراه ماده پیوندی، میزان خروج نورهای ناخواسته تا dB ۳۰ می‌رسد.

کلید واژه- خارج کننده نورهای غلافی، لیزر فیبر نوری، نورهای ناخواسته

Simulation the effect of the periodic structure of the cladding on the stripping unwanted lights in the high power fiber lasers

Seyede Roghaye Moosavi, Fateme Shahshahani, Seyed Ali Alavian, and Batool Sajjad

Department of Physics, University of Alzahra, Tehran, Department of Physics, University of Alzahra, Tehran, The faculty of applied science of communications, Tehran, and Department of Physics, University of Alzahra, Tehran

Abstract- One of the great problems in High Power Fiber Lasers operation is the residual cladding lights at the end of gain medium. The residual lights can decrease laser's beam quality and increase the system temperature. In this paper, for stripping these lights from the inner cladding a new design based on the outer cladding structure and using a new material is simulated and presented. The new structure causes to uniformly lights stripping and increase the laser's stability. The simulation's results shows that the unwanted lights out put in the suggestion structure by using hybrid materials reaches up 30 dB.

Keywords: Cladding Light stripper (CLS), Fiber Laser, unwanted lights

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-14]

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

۱- مقدمه

با وجودیکه امروزه لیزرهای فیبر نوری پرقدرت بر پایه ساختار دو غلافی، به دلیل قابلیت دستیابی به توان‌های بالا(در حدود چندین کیلووات) و کیفیت پرتو عالی، بسیار مورد توجه قرار دارد اما یکی از مشکلات مهم در عملکرد لیزرهای فیبر نوری پر قدرت، انرژی نورانی موج دمش باقیمانده در غلاف اول فیبر است که سبب بالا رفتن دمای قطعه و کاهش کارآیی آن می‌شود، در حالیکه در یک لیزر فیبر نوری ایده‌آل تمام انرژی موج دمش توسط هسته جذب و تمام انرژی نورانی مد نوسانی لیزر درون هسته منتشر می‌شود. نورهای باقی مانده در غلاف اول که به آن‌ها نورهای ناخواسته می‌گویند، سبب افزایش دمای فیبر و در نتیجه تغییر پارامترهایی مانند ضریب شکست، نسبت پوآسون، مدول یانگ و ... می‌شود. از این‌رو خارج کردن نورهای باقیمانده از لیزر فیبر نوری بسیار اهمیت دارد.

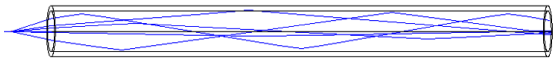
مهم‌ترین عوامل ایجاد کننده نورهای ناخواسته عبارتند از: موج دمش باقی‌مانده در غلاف در انتهای محیط بهره فیبر، نشت نور از هسته به درون غلاف [۱و۲] و نوری که در انتهای لیزر از مغزی فیبر به درون غلاف وارد می‌شود [۳].

یک روش عملی برای خارج کردن نورهای ناخواسته در غلاف اول، از بین بردن موضعی بازتاب داخلی بین غلاف اول و دوم در ناحیه غیر فعال فیبر است. به این منظور روکش پلیمری غلاف دوم در این ناحیه به طول معینی (در حدود چند سانتی‌متر) برداشته و به جای آن از ماده‌ای با ضریب شکست بزرگ‌تر از ضریب شکست غلاف درونی استفاده می‌شود. تاکنون چندین کار برای خارج کردن نورهای ناخواسته غلافی گزارش شده است[۴و۵]. هم‌چنین ما قبلا به این موضوع پرداخته‌ایم[۶]، اما با توجه به اهمیت بهینه‌سازی لیزرهای فیبر نوری پر قدرت و توسعه مطالعات بر توان‌های بیشتری از نورهای ناخواسته نیاز به روش جدیدی است که آن را در این مقاله بیان خواهیم کرد. با توجه به نقش مهم جنس ماده جایگزین در نحوه خروج نورهای ناخواسته، در این مقاله به بررسی و شبیه‌سازی حرارتی سیستم و معرفی دسته‌ای از مواد به عنوان روکش پرداخته شده‌است.

در این مقاله طراحی جدیدی از خارج کننده نورهای غلافی لیزر که آن را به اختصار CLS[1] می‌نامیم، مبتنی بر تغییر در ساختار هندسی غلاف و استفاده از ماده پیوندی بعنوان روکش جدید بیان شده و توسط نرم‌افزارهای Zemax و Ansys شبیه‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی نقش ساختار جدید را در کاهش شدت نورهای ناخواسته غلافی نشان می‌دهد. در بخش دوم مقاله مشخصات ماده پیوندی و ساختار پیشنهادی جدید معرفی شده‌است. بخش سوم به نتایج شبیه‌سازی اختصاص یافته و در خاتمه نتیجه‌گیری کوتاهی ارائه شده‌است.

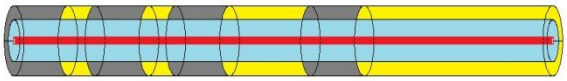
۲- ساختار جدید پیشنهادی برای خارج کردن نورهای ناخواسته از غلاف

در شکل ۱ مسیر پرتوهای نورهای ناخواسته در غلاف اول یک لیزر فیبر نوری نشان داده شده‌است. (به منظور وضوح بهتر فقط غلاف اول و دوم در شکل دیده می‌شود.)



شکل ۱: مسیر پرتوهای نورهای ناخواسته در غلاف اول

در این مقاله طراحی جدیدی برای خارج کردن یکنواخت نورهای ناخواسته از غلاف اول پیشنهاد کرده‌ایم که در شکل ۲ نشان داده شده‌است. در این طرح جدید تمامی پوشش غلاف دوم برداشته نمی‌شود بلکه همانطور که در شکل ۲ نمایان است روی غلاف دوم شیارهایی به عمق ضخامت غلاف دوم ایجاد شده و درون شیارها با ماده‌ای که ضریب شکست آن بزرگ‌تر از ضریب شکست غلاف اول است پر می‌شود.



شکل۲- طرح جدید ارایه شده برای خارج کردن نور ناخواسته غلافی

بدیهی است که فاصله بین شیارها و تعداد آن و خواص ماده جایگزین عوامل موثر در خروج نورهای باقیمانده از انتهای فیبر هستند. در عمل بیشترین نور غلاف اول در چند میلی‌متر اول، وارد غلاف دوم می‌شود. بنابراین به‌منظورجلوگیری از ایجاد حرارت موضعی، ماده انتخابی

[1] *Cladding Light Stripper*

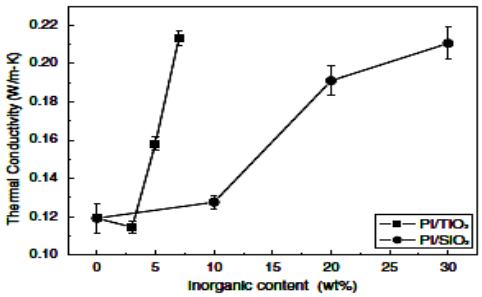
[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-14]

باید دارای ضریب جذب پایینی در محدوده طول موج دمش باشد و از طرفی دارای ضریب انتقال حرارت بالایی باشد تا در صورت ایجاد حرارت بتواند با منبع خنک‌کننده به خوبی تبادل حرارت کند و سیستم را در حالت پایدار حفظ کند.

مواد پیوندی ترکیبی از مواد آلی و غیر آلی می‌باشند، مانند ترکیبی از پلیمرها با اکسیدهایی مانند TiO_2 و SiO_2[۷] و دارای ضریب شکست بالا و ضریب جذب پایینی هستند. مواد پیوندی آلی- غیرآلی دارای خواص ویژه‌ای بوده و بطور کلی خواص حرارتی و مکانیکی مواد آلی را بهبود بخشیده‌اند[۸].

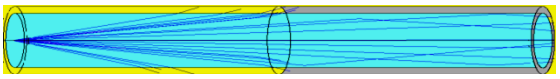
ماده پیوندی که در این مقاله برای روکش فیبر در نظر گرفته شده و در شبیه‌سازی بکار رفته است، ماده پیوندی ترکیب نوعی پلیمر با TiO_2 است. این ماده پیوندی نسبت به مواد پیوندی دیگر بیشتر در دسترس قرار دارد. ضریب شکست و ضریب جذب ماده پیوندی به غلظت ماده آلاییده و همچنین طول موج نور بستگی دارد.

بطور کلی اغلب مواد پیوندی و به خصوص پیوند تیتانیوم اکسید موادی شفاف هستند. در این شبیه‌سازی طول موج نور ۱ میکرومتر در نظر گرفته شده‌است. میزان عبور نور در ماده پیوندی تیتانیوم اکسید در این طول موج بیش از ۹۰٪ می‌باشد[۹]. با توجه به اینکه هسته و غلاف اول لیزرهای فیبر نوری معمولا از سیلیکا ساخته شده و ضریب شکست غلاف اول در حدود n_{cl1}=1.44 است، ماده پیوندی انتخاب شده دارای ضریب شکست بالاتر از این مقدار در غلظت‌های مختلف ماده آلاینده می‌باشد[۹]. هم‌چنین با افزودن تنها ۵٪ تیتانیم اکسید به پلیمرها می‌توان ضریب انتقال حرارتی آن‌ها را تا دو برابر افزایش داد و با افزایش غلظت ماده آلاینده به دلیل بالاتر بودن ضریب انتقال حرارتی آن نسبت به پلیمرها، ضریب انتقال حرارتی ماده پیوندی تشکیل شده افزایش می‌یابد[۱۰]. در شکل ۳ تاثیر افزودن TiO_2 در بالابردن ضریب انتقال حرارتی مواد آلی نسبت به سایر مواد معدنی(در اینجا SiO_2) نشان داده شده‌است.



شکل ۳ تاثیر افزودن TiO_2 در بالابردن ضریب انتقال حرارتی مواد آلی نسبت به سایر آلاینده‌ها [۱۰]

همانطورکه در شکل ۴ بصورت شماتیک نمایش داده شده است، در محل شیارها که با رنگ زرد نشان داده شده‌اند بازتاب کلی نور اتفاق نیفتاده(این مساله ناشی از وجود ماده پیوندی با ضریب شکست بیشتر نسبت به ضریب شکست غلاف اول است) و مقدار زیادی از نور در این نواحی خارج می‌شود. اما در نقاطی که پوشش اولیه غلاف دوم وجود دارد(ناحیه توسی رنگ) این اتفاق نمی‌افتد. (به منظور وضوح بیشتر از ساختار هسته صرف‌نظر کرده‌ایم.)



شکل۴ نمایی از خروج نورها در ساختار جدید ارایه شده

پس از کاهش توان نور باقی مانده (بعد از چند میلی‌متر اولیه) می‌توان روکش غلاف دوم را بطور کامل برداشت و ماده جدید را به عنوان روکش یکنواخت قرار داد. در واقع پس از چند میلی‌متر توان کاهش یافته و خروج یکباره آن تولید حرارت بحرانی نمی‌کند و می‌توان آن را کنترل کرد. به دلیل وجود شیارها خروج نورهای باقیمانده از غلاف اول و توزیع حرارتی آن بطور یکنواخت رخ می‌دهد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی ساختار پیشنهادی جدید برای مولفه CLS، در بخش بعد ارائه شده است.

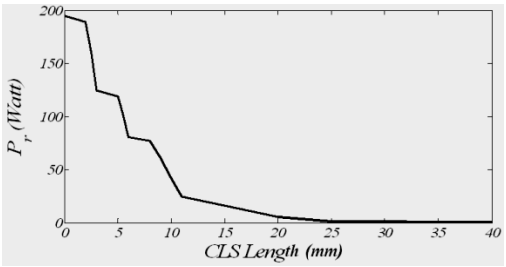
نتایج شبیه‌سازی

در شکل ۵ میزان نور باقیمانده در غلاف اول، P_r، در طول CLS نشان داده شده است. مقدار توان باقی‌مانده نورهای ناخواسته در ابتدای ناحیه CLS در غلاف اول برابر با ۲۰۰ وات فرض شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بخش زیادی از نورهای باقیمانده در چند میلی‌متر اولیه CLS خارج می‌شود. بطور مثال در ۱۰ میلی‌متری CLS تقریبا ۸۰٪ توان اولیه کاهش یافته است.

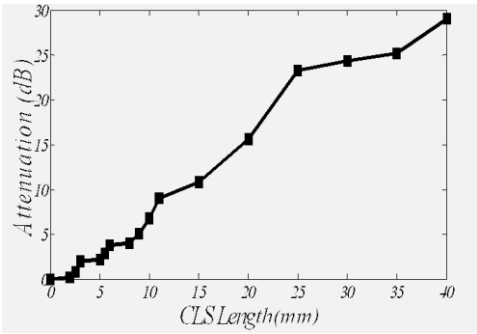
شکل ۶ میزان اتلاف نور در غلاف اول در طول CLS را بر حسب dB نشان می‌دهد. میزان اتلاف نور در این ساختار

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-14]

برای توان ذکر شده به$30dB$~ رسیده است و نشان دهنده آن است که طراحی جدید می‌تواند موجب خروج تقریبا یکنواخت نورهای ناخواسته شود.

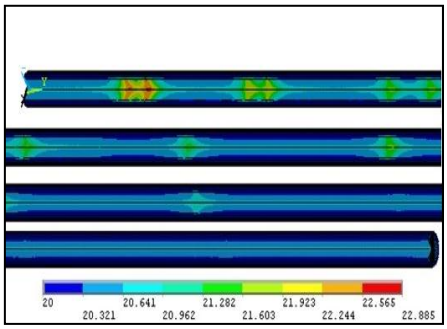


شکل ۵ میزان توان نور باقی مانده در غلاف اول

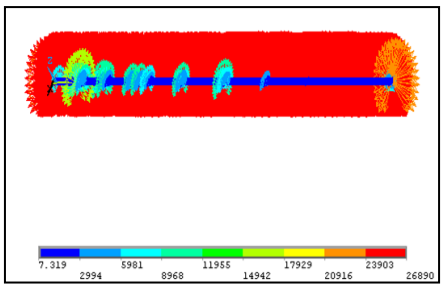


شکل ۶ اتلاف نور در غلاف اول در طول CLS

گستره دمایی فیبر با فرض دمای خنک‌کنندگی ۲۰ درجه سانتی‌گراد در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود بیشینه دما و کمینه دما در این ساختار به ترتیب ۲۲/۸۵ و۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، بطوریکه در این دما سیستم لیزر پایدار است. در شکل ۸ شار حرارتی برداری برای کل سیستم نمایش داده شده‌است. مطابق با شکل جهت شار حرارتی به سمت خارج سیستم (به سمت منبع خنک‌کننده) است.



شکل ۷ گستره دمایی سیستم برای توان ۲۰۰ وات



شکل ۸ شار حرارتی برداری برای کل سیستم

نتیجه‌گیری

در این مقاله طراحی جدیدی از CLS بیان و شبیه سازی شده است. ساختار هندسی ارائه شده به خروج یکنواخت نورها منجر می‌شود. استفاده از مواد پیوندی با توجه به راحت‌تر بودن روکش‌کردن آن‌ها(به دلیل مشابهت با مواد پلیمری) و هم‌چنین بهینه بودن خواص حرارتی و اپتیکی آن‌ها نسبت به پلیمرها(به دلیل ترکیب با اکسید فلزات) می‌تواند گزینه بسیار مناسب و کارآمد در حوزه لیزرهای فیبر نوری باشد.

مراجع

[1] A. Wetter, M. Faucher, and B. Sevigny, "*High power cladding light strippers*," **In Proc. SPIE**, vol. 6873, pp. 271–278, 2008

[2] R. Poozesh. et al. "*A Novel Method for Stripping Cladding Lights in High Power Fiber Lasers and Amplifiers*" , **IEEE, J. Lightwave Technology**, Vol. 30, No. 20, pp. 3199-3202, 2012.

[3] Y. Xiao, F. Brunet, M. Kanskar, M. Faucher, A. Wetter, and N.Holehouse, "*1-kilowatt CW all-fiber laser oscillator pumped with wavelength-beam-combined diode stacks*,", **Opt. Exp**, Vol. 20, pp. 3296–3301, 2012.

[4] Z. Sacks, Z. Schiffer, and D. David. "*Long wavelength operation of double-clad Tm: Silica fiber lasers*," **In Proc. SPIE**, vol. 6453,pp. 201–209, 2007.

[5] A. Wetter, M. Faucher, B. Sévigny, N. Vachon , "*High core & cladding isolation termination for high power lasers and amplifiers*'. **In Proc. SPIE** Vol. 7195, 2009

[۶] رقیه موسوی، فاطمه شهشهانی، سید علی علویان و بتول سجاد،"*روشی جدید برای خارج کردن نورهای جذب نشده غلافی لیزرهای فیبر نوری پر قدرت*"**کنفرانس فیزیک ایران** ۱۳۹۱

[7] Y. Wang, T. Flaim, R. Mercado, S. Fowler, D. Holmes, and C. Planje. 2005"*Hybrid high refractive index polymer coatings*", **In Proc. SPIE**, vol. 5724.

[8] N. Wu, X. Xia,Q. Wei,F. Huang "*Preparation and Properties of Organic/Inorganic Hybrid Nanofibres*", **FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe**, Vols. 18, No. 1 (78), pp. 21-23, 2010.

[9] Flaim, Y. Wang and R. Mercado, "*High Refractive Index Polymer Coating for Optoelectronics Applications*" **In Proc. SPIE.**, 2003.

[10] S. F. Wang, Y. R. Wang ,K. C. Cheng and S. H. Chen, "*Physical and electrical properties of polyimide/ceramic hybrid films prepared via non-hydrolytic sol–gel process*", **J Mater Sci: Mater Electron** , Vol. 21, pp. 104–110, 2010.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-14]