بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

حذف اثرات پراکندگی بریلوئین القائی در فیبرهای نوری با استفاده از اعمال تنش تناوبی

محمد سلطان محمدیان، امین بابازاده و رحمان نوروزی

(دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان)

mohammadphotonical@gmail.com

چکیده – باوجود کاربردهای پراکندگی القایی بریلوئن در تقویت سیگنال ورودی، این پراکندگی می‌تواند تاثیر نـامطلوبی در انتقـال داده‌ها یا افزایش توان لیزرهای فیبری ایجاد نماید. در این مقاله روشی بر پایه‌ی اعمال تنش تناوبی، برای رفع این اثر نامطلوب ارائه شده است. براین اساس با مدوله کردن ضریب شکست فیبر نوری با بسامد ۱۰۰ کیلو هرتز، شدت طیف استوکس حاصل از پراکندگی بریلوئین القائی، بیش از ۹۰ درصد کاهش یافته است.

کلید واژه- پراکندگی بریلوئین، محیط غیرخطی مرتبه سوم، لیزرهای فیبری، مدولاسیون فاز، پیزوالکتریک.

The Elimination of Stimulated Brillouin Scattering in Optical Fiber By Using Periodic strain

Mohammad Soltan mohammadian, Amin Babazadeh and Rahman Nouroozi
(Institute for Advanced Studies in Basic Sciences)
mohammadphotonical@gmail.com

Abstract- Despite the use of stimulated Brillouin scattering in amplifying the input signal, this scattering can cause undesirable effects in data transport or increase the power of fiber lasers. In this paper, a method based on the application of periodic stress is presented to address this undesirable effect. Based on this, by modulating the refractive index of the optical fiber, at 100 kHz, the intensity of the Stokes spectrum was reduced by the stimulated Brillouin scattering, which was twice as large.

Keywords: Brillouin scattering, the third-order nonlinear environments, fiber lasers, the phase modulation, the piezoelectric.

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

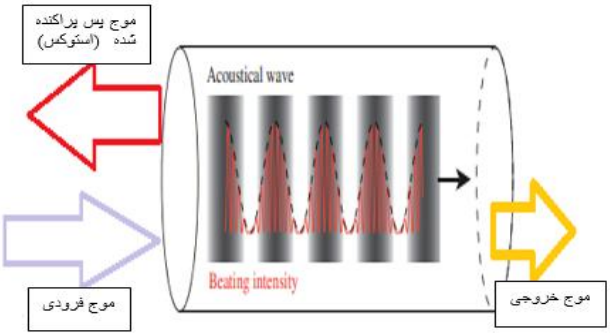
[Downloaded from opsi.ir on 2024-04-19]

مقدمه

پراکندگی بریلوئین یک پدیده‌ی غیر خطی است که در محیط‌های غیرخطی مرتبه سوم ظاهر می‌شود و اولین بار در سال۱۹۶۴ توسط گروه پروفسور تاونز مشاهده‌شد[۱]. این پراکندگی باعث کاهش توان انتقال نور منتشر شده در فیبر می‌شود. این اثر همچنین مانع افزایش توان لیزرهای فیبری با پهنای نازک می‌شود. بدین ترتیب رفع این اثر مخرب می‌تواند در انتقال داده و یا افزایش توان لیزرهای فیبری بسیار مفید باشد. به عنوان مثال با رفع این اثر می‌توان، توان لیزرهای فیبری با پهنای نازک را به توان‌های چند کیلو وات رساند[۲]. روش‌های متفاوتی برای رفع اثر پراکندگی بریلوئین القایی گزارش شده است که از جمله این روش‌ها می‌توان به اعمال گرادیان دمایی در طول فیبر نوری، اضافه کردن ناخالصی در جنس هسته‌ی فیبر، تغییر درساخت ابعاد هسته‌ی فیبر و مهمترین آنها مدولاسیون فازی نور ورودی اشاره نمود[۳و ۴و ۵ و ۶]. در این مقاله با استفاده از اعمال مدولاسیون فاز بر روی ضریب شکست فیبر نوری، روشی را ارائه داده‌ایم که نسبت به روش های دیگر بسیار راحت‌تر و ارزان‌تر می‌باشد و می‌تواند اثرات مخرب پراکندگی بریلوئن القائی را رفع نماید.

آشنایی با اثر پراکندگی بریلوئین

در محیط فیبر، با توجه به‌اینکه اتمها درحال رزونانس گرمایی هستند و با برخورد نور به مولکول‌های ماده‌ی تشکیل دهنده فیبر نوری، مقداری از نور پراکندگی می-شود. از تداخل نور فرودی با نور پس‌پراکنده شده، میدان الکتریکی‌ای بوجود می‌آید که به صورت نوسانی در حال تغییر است. این میدان باعث بوجودآمدن مدولاسیون ضریب شکست فیبر نوری شده و در نتیجه موج آکوستیکی تولید می‌شود. چون سرعت موج آکوستیکی برابر با سرعت صوت و در جهت نور انتشاری می‌باشد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نور فرودی منتشر شده در فیبر به نور پراکنده شده و فونون آکوستیکی تبدیل شده است. در فیبر نوری زاویه نور پراکنده شده درخلاف جهت نور فرودی می‌باشد که به این نور پس پراکنده‌شده در جهت عکس نور ورودی، موج استوکس میگویند. با افزایش شدت نور ورودی، این تداخل‌ها بیشتر شده و فونون‌های آکوستیکی بیشتری تولید می‌شود. فونون‌های آکوستیکی مثل تیغه براگ عمل کرده و دامنه موج استوکس بصورت نمایی افزایش یافته و پراکندگی بریلوئین القایی(SBS) پدید می‌آید[۷] (شکل ۱).



شکل۱. پراکندگی بریلوئین القایی. از تداخل موج فرودی با موج پس پراکنده میدان الکتریکی‌ای به وجود می‌آید که سبب ایجاد موج‌های آکوستیکی شده است. این امواج آکوستیکی، همانند تیغه های براگ عمل کرده و شدت موج پس پراکنده شده را افزایش می‌دهند.

بسامد فونون‌های آکوستیکی، برابر با مقدار جابجایی بسامدی موج استوکس می‌باشد و از رابطه‌ی (۱) بدست می‌آید:

$$\Omega = \frac{2\,n\,v_A}{\lambda_p} sin\frac{\theta}{2} \qquad (۱)$$

در این رابطه υ_A سرعت فونون آکوستیکی و λ_p طول موج نور فرودی، n ضریب شکست محیط و θ زاویه‌ی پراکندگی می‌باشد. اگر دراین رابطه طول‌موج ورودی را $\lambda = 1064\ nm$ در نظر بگیریم و $\theta = \pi$، سرعت فونون در فیبر نوری $\upsilon_A = 5.96\ \frac{km}{s}$ و همچنین با در نظر گرفتن ضریب شکست فیبر نوری $n = 1.45$، بسامد موج استوکس به میزان $\Omega = 16.244GHz$ جابجایی خواهد

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

[Downloaded from opsi.ir on 2024-04-19]

داشت. در پراکندگی بریلوئین القایی، علاوه‌بر جابجایی بسامد، آستانه توان پراکندگی بریلوئین القایی نیز حائز اهمیت است. با افزایش شدت نور ورودی، شدت نور استوکس بصورت نمایی افزایش یافته تا جایی که شدت نور خروجی ثابت می‌ماند و با افزایش توان ورودی دیگر افزایشی در توان خروجی دیده نمی‌شود؛ به این مقدار توان ورودی که افزایش‌اش تاثیری در توان خروجی ندارد، توان آستانه پراکندگی بریلوئین القایی می‌گویند.[۸]

افزایش توان آستانه بریلوئین القایی با مدوله کردن ضریب شکست فیبر نوری

مدولاسیون فازی نور ورودی یکی از بهترین گزینه‌ها برای حذف اثر پراکندگی بریلوئین القایی می‌باشد[۹]. اما یکی از مشکلات این روش، استفاده از ابزارهای تجاری گران، همچون مدولاتور فازی لیتیوم نایوبیت می‌باشد. از مشکلات دیگر استفاده از این ابزارها، حد آستانه‌ی تخریب آنها می‌باشد که باعث ایجاد محدودیت‌های عملی می‌شود. روشی که در این مقاله ارائه شده است بدون داشتن مشکلات ذکر شده توانایی کنترل اثرات مخرب پراکندگی بریلوئین القایی را داراست. در این روش، با اعمال تنش تناوبی به فیبر، تغییراتی در مسیر راه نوری ایجاد می‌شود. تغییرات مسیر راه نوری باعث بوجودآمدن تغییرات فازی در طول فیبر نوری می‌شود و در نهایت بر موج انتقالی درداخل فیبر اثر گذاشته و باعث پهن شدن بسامد موج لیزر ورودی می‌شود. درواقع به‌جای اینکه با مدولاتور فازی، تغییراتی در نور ورودی ایجاد شود، با اعمال مدولاسیون ضریب شکست، تغییرات مدوله شده ای روی نور انتشاری ایجاد شده است. ساختار اعمال این تنش تناوبی با کمک یک سلول پیزوالکتریک و پیچیدن فیبر به دور آن قابل اعمال است، بطوریکه با اعمال ولتاژ بر سلول پیزوالکتریک، باعث کشیده شدن فیبر نوری شده و طول فیبر در حد میکرومتر تغییر می‌کند و این تغییرات باعث بوجود آمدن مدلاسیون ضریب شکست فیبر نوری می‌شود. مقدار کرنش وارد شده حاصل از کشیده شدن فیبر از رابطه (۲) به دست می‌آید:

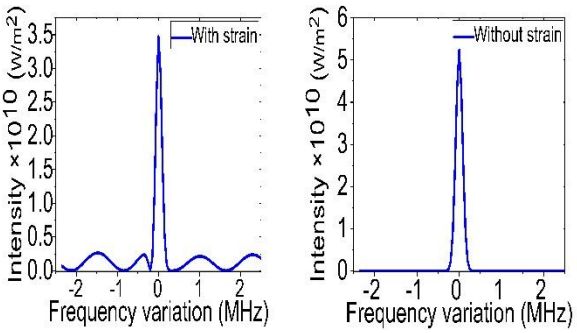
$$\varepsilon = N\,\varepsilon_0 \sin(\omega_s\, t) \qquad (۲)$$

که در این رابطه N تعداد حلقه‌های پیچیده شده به دور سلول پیزوالکریک، ω_s بسامد نوسانات پیزوالکتریک، ε_0 دامنه تغییرات طول پیزوالکتریک میباشد که وابسته به ولتاژ اعمالی و ضخامت پیزوالکتریک است. با محاسبه مقدارکرنش و به کمک رابطه (۳) می‌توان تغییرات فاز اعمال شده به فیبر را بدست آورد:

$$\Delta\varphi = n\frac{2\pi}{\lambda}\varepsilon L\{1-\frac{n^2}{2}[p_{12}-\upsilon\,(p_{11}+p_{12})]\} \qquad (۳)$$

دراین رابطه، υ نسبت پوآسوون، p_{12} و p_{11} ضرایب الکترو_الاستیک در فیبر نوری میباشند.[۱۰ و ۱۱] این تغییرات فاز حاصل از کرنش فیبر، برموج لیزر ورودی اثر گذاشته و باعث مدوله شدن فاز آن میگردد:

$$E = E_0\, e^{(i\,(\omega\, t+\Delta\varphi))} \qquad (۴)$$



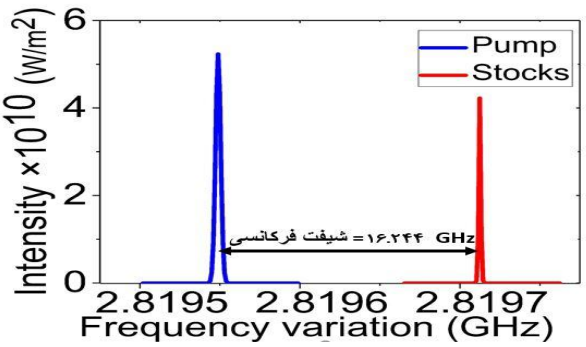
شکل۲. طیف نور عبوری از فیبر، قبل از اعمال تنش تناوبی (الف) و بعد از آن (ب).

باتوجه به شکل۲ (ب) مشاهده می‌شود، با اعمال تنش بابسامد ۱۰۰kHz، بیشینه شدت نور ورودی از مقدار $5.2\times10^{10}\ W/m^2$ به $3.47\times10^{10}\ W/m^2$ تغییر پیداکرده است و مدولاسیون ضریب شکست باعث شده

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

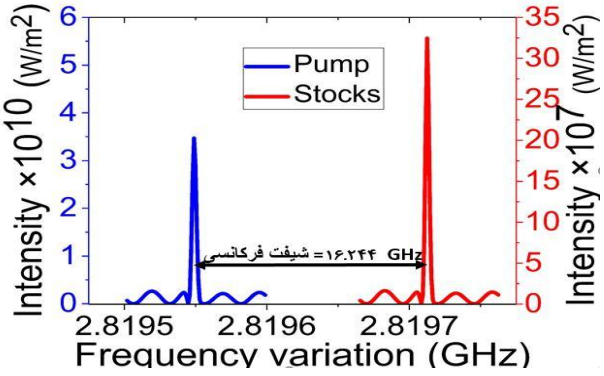
[Downloaded from opsi.ir on 2024-04-19]

است که شدت بیشینه به مقدار ۳۴ %کاهش یابد و این مقدار شدت، به قله های کناری انتقال داده شود.



شکل۳.طیف خروجی از فیبر نوری قبل از اعمال تنش تناوبی. نور انتشار داده شده به داخل فیبر با طیف آبی و نور استوکس تولید شده با طیف قرمز نمایش داده شده است.

در شکل۳، سیگنال ورودی (طیف آبی) باعث تولید پراکندگی بریلوئین القایی (طیف قرمز) شده و به مقدار$\Omega = ۱۶,۲۴۴\text{GHz}$ جابجایی فرکانسی داشته است. با اعمال تنش تناوبی به فیبر نوری، شدت موج استوکس تولید شده به میزان 98% کاهش یافته است.(شکل ۴)



شکل۴: طیف خروجی از فیبر نوری پس از اعمال تنش تناوبی. با اعمال تنش تناوبی به فیبر نوری، شدت طیف استوکس حاصل از پراکندگی بریلوئین القائی دو مرتبه بزرگی کاهش یافته است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله نشان داده شد که با استفاده از مدولاسیون ضریب شکست فیبر نوری میتوان پراکندگی بریلوئین القایی را حذف نمود. در نهایت با اعمال تنش تناوبی با بسامد KHz۱۰۰ میزان تولید استوکس پس‌پراکنده شده ۹۸ % کاهش یافته است.

مرجع‌ها.

[1] R. Y. Chiao, C. H. Townes, and B. P. Stoicheff, “Stimulated brillouin scattering and coherent generation of intense hypersonic waves,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 12, no. 21, pp. 592–595, 1964.

[2] R. W. Boyd, *Nonlinear optics*, Third Edit., vol. 1. Academic Press, 2007.

[3] HANSRYD, J., et al. Increase of the SBS threshold in a short highly nonlinear fiber by applying a temperature distribution. *Journal of lightwave technology*, 2001, 19.11: 1691.

[4] YU, J. W., et al. Brillouin frequency shifts in silica optical fiber with the double cladding structure. *Optics express*, 2002, 10.19: 996-1002

[5] TAKAHASHI, Masanori, et al. SBS suppression techniques in highly nonlinear fibers. In: *Photonics Society Summer Topical Meeting Series, 2010 IEEE*. IEEE, 2010. p. 149-150.

[6] HU, Xiaoyang, et al. An optical modulation method to suppress stimulated Brillouin scattering and the phase noise in a remote interferometric fiber sensing system. *Optical Fiber Technology*, 2014, 20.5: 547-551.

[7] PREUSSLER, Stefan; SCHNEIDER, Thomas. Stimulated Brillouin scattering gain bandwidth reduction and applications in microwave photonics and optical signal processing. *Optical Engineering*, 2015, 55.3: 031110.

[8] AGRAWAL, Govind P. Nonlinear fiber optics. In: *Nonlinear Science at the Dawn of the 21st Century*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2000. p. 195-211.

[9] ZERINGUE, Clint M.; DAJANI, Iyad; MOORE, Gerald T. Suppression of stimulated Brillouin scattering in optical fibers through phase-modulation: a time dependent model. In: *Fiber Lasers VIII: Technology, Systems, and Applications*. International Society for Optics and Photonics, 2011. p. 791409.

[10] WILD, Graham; HINCKLEY, Steven. Acousto-ultrasonic optical fiber sensors: overview and state-of-the-art. *IEEE Sensors Journal*, 2008, 8.7: 1184-1193.

[11] Sharpe, William N., ed. *Springer handbook of experimental solid mechanics*. Springer Science & Business Media, 2008.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2024-04-19]