اثر مدهای طولی نوسانگر بر میزان فشردگی تپ از فرایند پراکندگی القایی بریلوئن در ساختار دو عبوری

جابری، محمد[۱*]؛ کربلائی زاده ، مینو[۲]؛ نظری گلشن،اکبر[۲]؛ عباسی زاده ، غزاله[۲]؛ شیما محسنی[۱]؛ ممدوحی، محمد سعید[۱]

[۱]پژوهشگاه علوم وفنون هسته ای، پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته ای، انتهای خیابان کارگر شمالی ، تهران

[۲] گروه فیزیک،دانشکده علوم پایه، دانشگاه شاهد، تهران

چکیده

در پژوهش حاضر، به بررسی نقش ساختار مد طولی لیزر در میزان فشرد گی تپ لیزری طی فرآیند SBS به صورت تجربی پرداخته شده است. بدین جهت از یک سیستم لیزری دو عبوری با کمک آینه مزدوج فاز (SBS-PCM) استفاده شده است. به منظور مقایسه و بررسی دقت نتایج حاصله، از ساختار تک و دوسلولی با یک سلول مولد یکسان بهره گرفته شده است. نتایج نشان می دهد، در تمامی حالات مدی، میزان فشردگی با افزایش انرژی ورودی به سلول ابتدا افزایش یافته و سپس روند نزولی به خود می گیرد. بدین ترتیب یک نقطه بیشینه برای فشردگی تپ وجود دارد. همچنین افزایش تعداد مدهای طولی، منجر به کاهش بیشینه فشردگی می شود. در پیکر بندی دو سلولی، میزان فشردگی نسبت به پیکربندی تک سلولی از افزایش قابل ملاحظه ای برخوردار می باشد.

واژه های کلیدی:تپ کوتاه، فشرده سازی تپ، پراکندگی القائی بریلوئن، مد های طولی

The effect of laser longitudinal Modes on the SBS pulse compression in a two-pass structure

Jaberi, Mohammad[1,*] ; Karbalaee zadeh, Minoo[2] ; Nazari Golshan, Akbar[2]; Abbasizadeh, Ghazaleh[2];Mohseni, Shima[1]; Mamdouhi,Mohammad saeid[1]

[1] Plasma and Fusion research school, Nuclear Science and technology research Institute, Tehran, 1439951113, Iran
[2] Department of Physics, Shahed University, Tehran

Abstract

In the present study, the role of laser longitudinal mode structure in the SBS pulse compression process has been investigated experimentally. In order to compare and evaluate the accuracy of the results, both of single and two cell configuration with the same generator cell in two-pass amplification structure have been used. The results show that, in all mode structures, the compression coefficient has a peak value by increasing the input energy to the cell. Also, increasing the number of longitudinal modes leads to reduction in the maximum compression. in a two-cell configuration, the compression coefficient is significantly higher than the single-cell configuration.

Keywords: *Short Pulse, Pulse compression, Stimulated Brillouin Scattering, Longitudinal Modes*

PACS No. 42

این مقاله به شرط در دسترس بودن در تارنمای انجمن فیزیک ایران به آدرس زیر معتبر است:

https://www.psi.ir/f/physics۱۴۰۰

مقدمه

پراکندگی القائی بریلوئن[۱] (SBS) به عنوان یک پدیده اپتیکی غیر خطی، به واسطه بازدهی فوق العاده اش در مزدوج فاز نوری، فشرده سازی تپ ، محدود سازی نوری، شکل دهی پرتو (زمانی و فضایی) و ترکیب باریکه های نوری به طور گسترده، مورد بهره وری قرار گرفته است [۱]. مزدوج فاز نوری، تکنیکی برای جبران اعوجاجات باریکه ورودی و ایجاد باریکه ای با کیفیت می باشد. آینه های مزدوج فاز SBS، در تنظیمات اصلی تقویت کننده دو عبوری بزرگ (MOPA) یا به عنوان آینه هایی با بازتابندگی بالا در نوسانگرهای لیزری استفاده می شوند.[۲]

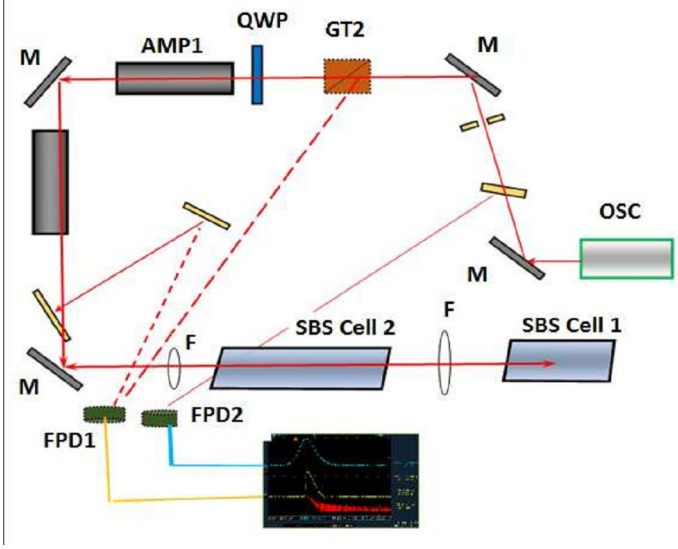
استفاده از SBS به منظور فشرده سازی تپ لیزری، همراه با بهبود کیفیت فضایی باریکه لیزر و جبران اثرات غیر خطی همراه با اصلاح ابیراهی‌های نوری ایجاد شده در اثر عبور از قطعات اپتیکی و تقویت کننده‌ها [۱، ۳]، بسیار مورد توجه است. لذا یکی از بهینه‌ترین آرایش‌ها بکارگیری سیستم دو عبوری می باشد. [۱و۳و٤].

در پژوهش حاضر به بررسی تاثیر تعداد مد های طولی نوسانگر در میزان ضریب فشردگی تپ بازتابی استوکس از آینه مزدوج فاز در یک ساختار دوعبوری پرداخته شده است. نتایج برای پیکربندی تک و دو سلولی با یک سلول مولد یکسان، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور از یک نوسانگر با قابلیت تنظیم تعداد مدهای طولی بهره برده و با تغییر تعداد مدهای طولی در تپ دمش به مقایسه ضریب فشردگی پرداخته شده و در خصوص نتایج حاصل بحث خواهد شد.

آرایش تجربی آزمایش

در این پژوهش، ما از یک تشدیدگر حلقوی تک سویه غیر قطبیده Nd-YAG با سوییچ Q غیر فعال در مد پایه TEM_{00} با دو تقویت کننده استفاده شده است بطوریکه می توان تعداد مد های طولی نوسانگر را تنظیم کرد. تفکیک مدی نوسانگر در حدود $\Delta\nu_{ring} = 240MHz$ می باشد که جزئیات فنی بیشتر از نوسانگر، درقسمت منابع ارائه شده است [٤و٥].

پرتو قطبیده ورودی به تقویت کننده با انرژی در حدود ۱۱±۰,۵mJ می باشد. به منظور دستیابی به تقویت دو عبوری از صفحه ربع موج (QWP) استفاده شده است. بنابراین، پرتو با قطبش دایروی در داخل سلول های SBS منتشر می شود. از پیکربندی تک و دو سلولی با هندسه کانونی توسط لنزهای محدب f_1, f_2 استفاده شده است. سلول ها حاوی استون با درصد خلوص ۹۹/۸ درصد هستند.



شکل۱- چیدمان اپتیکی آزمایش، OSC :نوسانگر حلقوی تک مد طولی و تک مد عرضی ، Plate: تیغه شیشه ای پولیش شده ، AMP : تقویت کننده اول و دوم، M :آینه تمام بازتابان در طول موج ۱۰٦٤نانومتر، HWP : تیغه نیم موج، GT1 : قطبش‌گر گلن تامسون ،QWP : تیغه ربع موج،FPD1 و FPD2: فوتودیود های سریع ، f: عدسی مثبت وSBS-cell: سلول پراکننده

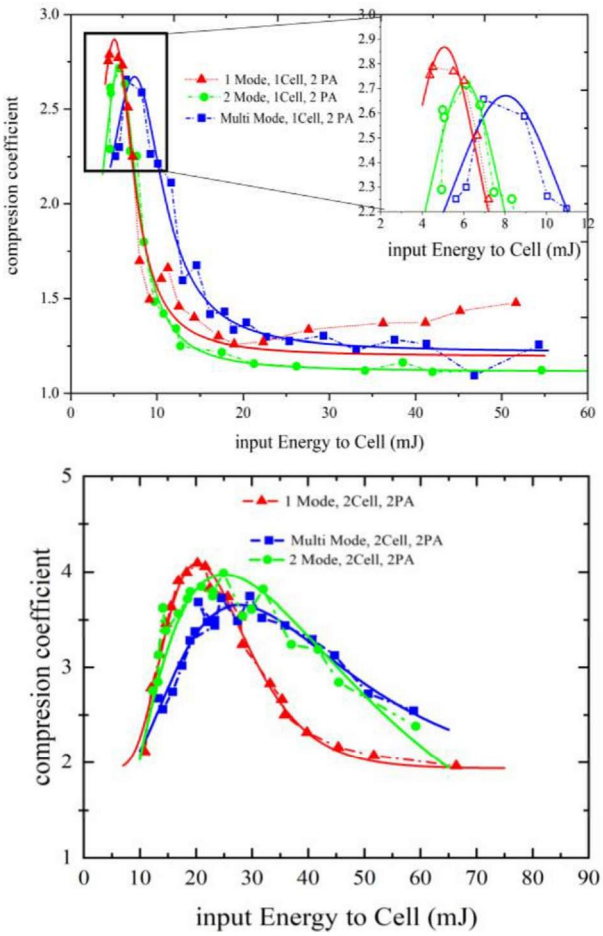
برخی از اجزای چیدمان اپتیکی در شکل ۱ نشان داده شده است. طول سلول مولد در هر دو ساختار $L_{gen} = 363\,mm$ و طول سلول تقویت کننده $L_{Amp} = 726\,mm$ می باشد. $f_1 = 400\,mm$ و $f_2 = 1000\,mm$. پرتو استوکس بازگشتی بعد از عبور از تقویت کننده ها و تیغه ربع موج، توسط قطبش گر گلن تامسون خارج می شود. شکل تپ لیزر واستوکس به کمک یک فوتودیود سریع و اسیلوسکوپ دیجیتال Tektronix با فرکانس ۵۰۰ مگاهرتز اندازه گیری می شود.

[۱] Stimulated Brillouin Scattering

این مقاله به شرط در دسترس بودن در تارنمای انجمن فیزیک ایران به آدرس زیر معتبر است:
https://www.psi.ir/f/physics۱۴۰۰

نتایج و بحث

رفتار فشردگی تپ خروجی از نوسانگر و تقویت کننده دو عبوری با آینه مزدوج فازی برای هر دو ساختار تک و دو سلولی، برای حالتهای یک، دو و چند مد طولی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل۲- نمودار میزان فشردگی تپ استوکس نسبت به تپ نوسانگر برای حالتهای یک مد با علامت (▲) ، دو مد با علامت (●) و چند مدی با علامت (■) در ساختار (الف) تک سلولی و(ب) ساختار دو سلولی

نتایج نشان می دهد، در تمامی حالات مدی، میزان فشردگی با افزایش انرژی ورودی به سلول ابتدا افزایش یافته و سپس روند نزولی به خود می گیرد. بدین ترتیب یک بیشینه برای میزان فشردگی بر حسب انرژی ورودی به سلول وجود دارد. مقایسه نمودار های الف و ب (ساختار های تک سلولی و دو سلولی) در شکل ۲ نشان می با افزایش تعداد مدهای طولی، مقدار بیشینه فشردگی،کاهش می یابد لذا تحت شرایط آزمایشگاهی ارایه شده بیشینه فشردگی در حالت تک مدی رخ می دهد.

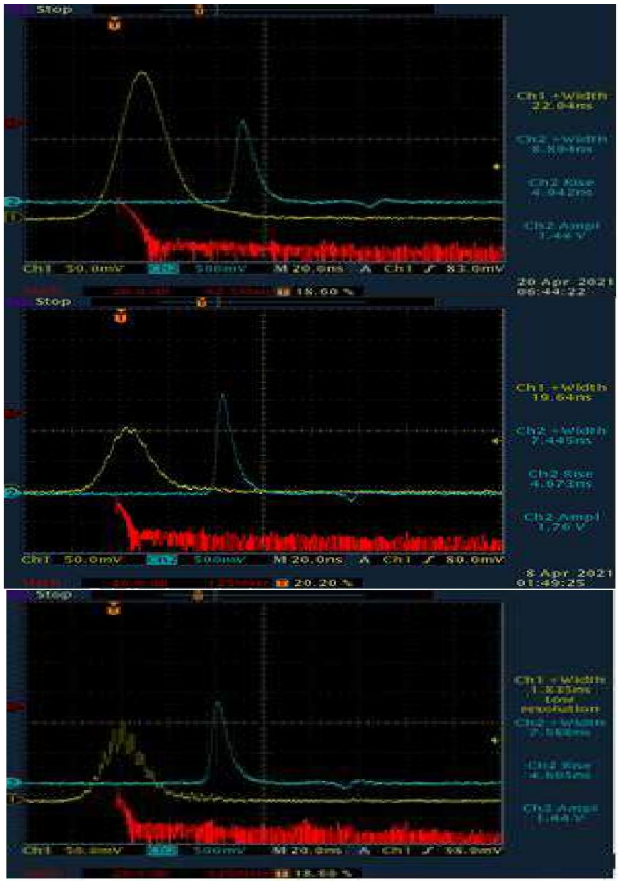
همچنین می توان نتیجه گیری کرد که با افزایش انرژی دمش، میزان فشردگی تپ در حالت چند مدی در بازه انرژی بیشتری نسبت به حالت تک مدی تغییرات بسیار کمی دارد و میتوان گفت حالت چند مدی پایدار تر از سایر حالات مدی می باشد. لذا در سیستم های پر انرژی با تعداد مد طولی زیاد در بازه بزرگتری از انرژی می توان به تپ های کوتاه دست یافت که این را می توان به عنوان مزیت اینگونه سیستم ها با حالت چند مدی نسبت به حالت تک و دو مدی دانست.

دلیل کاهش میزان فشردگی را با افزایش تعداد مدهای طولی را می توان در وابستگی میدان لیزر ورودی و استوکس به همدیگر در ایجاد انطباق فازی[2] و همچنین وابستگی ضریب بهره بریلوئن به پهنای فرکانس باریکه لیزر دانست. تاکنون در خصوص تاثیر تعداد مدهای طولی در پهنای تپ خروجی مطالبی ارایه نشده است تنها در خصوص اثر تعداد مد های طولی در بازدهی آینه مزدوج فاز مطالبی بیان گردیده است[٦] در این مقاله اشاره است که تعداد مدهای طولی در بهره بریلوئن و انرژی بازتابی SBS تاثیری ندارد. همچنین در مرجع شماره[٧] در لیزرهای پر شدت با تعداد مد طولی زیاد رفتار بازدهی انرژی بررسی شده و نتایج نشان از بازدهی یکسان بین حالت تک و چند مدی در انرژی های کم دارد ولی با افزایش انرژی بازدهی حالت چند مدی بشدت کاهش یافته. در این مقاله اشاره شده است که در انرژی های زیاد به واسطه ایجاد میخه های پر توان در تپ لیزر و ایجاد فرایند خود کانونی در سلول ممکن است تپ‌های کوتاه تر نسبت به حالت تک مد تشکیل شود. در پژوهش حاضر شدت ها بسیار زیاد نیست و تعداد مدهای طولی در حد ٥-٦ مد در حالت چند مدی می باشد. از آنجایی که در ساختارهای چند مدی با افزایش تعداد مدهای طولی، فرکانس استوکس متناسب با فرکانس مد ورودی نیز تغییر می‌کند[٤و٦] در نتیجه محیط بریلوئن به ازای هر یک از مدها دارای بهره‌ای متفاوت خواهد شد. پهنای خط لیزر مورد استفاده $\Delta\nu_L$ در حالت تک مد، تقریباً برابر با ٥٠ MHz، برای حالت دو مدی از ٥٠ تا ٢٥٠ بصورت متغیر و برای حالت چند مدی بیش از

[2]- Phase matching

این مقاله به شرط در دسترس بودن در تارنمای انجمن فیزیک ایران به آدرس زیر معتبر است:
https://www.psi.ir/f/physics۱۴۰۰

۷۵۰ مگاهرتز می‌باشد. همچنین پهنای خط بریلوئن استن در مرجع [٦] $\Gamma_B = 160MHz$ گزارش شده است. فاصله بین مدی در ۲۵۰MHz می باشد. در حالت چند مدی به واسطه عدم حضور اتالن ها درون نوسانگر پهنای زمانی نوسانگر تا حدود ۲۸ نانو ثانیه کاهش می یابد که یکی از علل کاهش ضریب فشردگی میتواند باشد. به واسطه اثر پالایش مدی در سلول SBS [٤] احتمال تشکیل مد n ام استوکس توسط مد mام از لیزر درون سلول وجود دارد در واقع $\nu_n = \omega_m - \Omega + \Delta\nu$ که در آن $\Delta\nu = 0$ معادل با تشکیل همان مد لیزر ورودی در سلول SBS می‌باشد. لذا هنگامیکه لیزر بر روی حالت چند مد طولی کار می‌کند، احتمال عدم بر قراری شرط انطباق فازی بین مد استوکس و مد لیزری وجود دارد و امواج صوتی غیر تشدیدی درون سلول منجر به عدم تبادل انرژی ورودی به لبه صعودی تپ استوکس شده و پهنای تپ استوکس افزایش می‌یابد.



شکل٤- نمونه تپ لیزر و استوکس به ترتیب در حالت تک، دو و چند مدی، دوسلولی، ثبت شده توسط اسیلوسکوپ

در شکل ٤ تپهای لیزری در حالات مدی مختلف به همراه تپ استوکس بازتابی از ساختار دو سلولی به همراه تبدیل فوریه آن در نقطه بیشینه فشردگی نشان داده شده است. پهنای زمانی تپ ها و سایر اطلاعت مورد نیاز در سمت راست تصاویر ثبت شده است.

نتیجه گیری

نتایج نشان می دهد، در تمامی حالات مدی، یک بیشینه برای میزان فشردگی بر حسب انرژی ورودی به سلول وجود دارد. با افزایش تعداد مدهای طولی، مقدار بیشینه فشردگی برای هر دو ساختار کاهش می یابد.. لذا می توان گفت که بیشینه فشردگی در حالت تک مدی رخ خوهد داد. همچنین دیده می شود که در پیکر بندی دو سلولی، میزان فشردگی تا حدود ٤ برابر بدست آمده که نسبت به پیکربندی تک سلولی از افزایش قابل ملاحظه ای برخوردار می باشد. در سیستم های پر انرژی با تعداد مد طولی زیاد تولید تپ های کوتاه پایدار تر خواهد بود که به عنوان مزیت اینگونه سیستمها با حالت چند مدی نسبت به حالت تک و دو مدی دانست.

تقویت دو عبوری توسط آرایش دوسلولی مولد و تقویت کننده می تواند بر محدودیت های آرایش تک سلولی غلبه کند. ضریب فشرده سازی بالاتر مستقل از تعداد مدها و حذف بهتر اعوجاج شکل موج استوکس پراکنده شده به عقب، از مزایای پیکربندی دو سلولی می باشد. بنابراین برای فشرده سازی با انرژی بالا پیکربندی دو سلولی بسیار مناسب تر است.

مرجع‌ها

1- Bai, Zhenxu, et al. "Stimulated Brillouin scattering materials, experimental design and applications: A review." *Optical Materials* 75 (2018): 626-645.

2- Bose, M., Aghamkar, P., & Sen, P. K. (1992). Optical phase conjugation via stimulated Brillouin scattering in magnetoactive doped semiconductors. *Physical Review B*, *46*(3), 1395.

3- A. Brignon, and J.-P. Huignard, "*Phase conjugate laser optics*", **Vol. 9**. (2004) Wiley. Com

4- M. Jaberi, A. H. Farahbod, and H. Rahimpour, "Spectral behavior of amplified back-scattered Stokes pulse in two-cell phase conjugating mirror", *Opt. Commun.***335**,(2015), 7-15.

5- M. Jaberi, A. Farahbod, and H. Rahimpur Soleimani, "Longitudinal mode structure in a non-planar ring resonator". *IJPR*, **13(1)** (2013). p. 35-44

6- Narum, P. A. U. L., Skeldon, M., & Boyd, R. (1986). Effect of laser mode structure on stimulated Brillouin scattering. *IEEE journal of quantum electronics*, *22*(11), 2161-2167.

7-Lee SK, Lee DW, Kong HJ, Guo H. Stimulated Brillouin scattering by a multi-mode pump with a large number of longitudinal modes. Journal of the Korean Physical Society. 2005;46:443-7.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در تارنمای انجمن فیزیک ایران به آدرس زیر معتبر است:

https://www.psi.ir/f/physics۱۴۰۰