



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



اثر هندسه برهم کنش در پراکندگی القایی بریلوئن

محمد جابری^{۱,۲,*}، پگاه جمشیدی^۳، اکبر نظری گلشن^۳

^۱تهران انتهای کارگر شمالی پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده پلاسما و گداخت هسته ای

^۲تهران انتهای کارگر شمالی پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، پژوهشکده فوتونیک و فناوری های کوانتومی

^۳تهران دانشگاه شاهد، دانشکده علوم پایه، گروه فزیک

چکیده- در این مقاله به مطالعه اثر تغییرات هندسه برهم کنش در فرایند پراکندگی القایی بریلوئن برای ساختار تک سلولی، جهت دستیابی به ساختار بهینه، پرداخته شده است. میزان تغییرات انرژی بازتابی از آینه مزدوج فاز و پایداری انرژی خروجی در محدودسازی اپتیکی از سلول پراکننده بریلوئن مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد با تغییر در هندسه برهمکنش می توان علاوه بر بهینه سازی انرژی بازتابی از آینه مزدوج فاز به انرژی پایدار و قابل کنترل در خروجی به عنوان محدود ساز اپتیکی همراه با سایر مشخصه های محدود سازی اپتیکی، دست یافت.

کلید واژه- پراکندگی القایی بریلوئن، آینه مزدوج فاز، محدود سازی اپتیکی، هندسه برهمکنش

Effect of Interaction Geometry on the Stimulated Brillouin Scattering

Mohammad Jaber^{1,2,*}, Pegah Jamshidi³, Akbar Nazari Golshan³

¹Plasma and Nuclear Fusion Research Institute, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran

²Photonic and Quantum Technology Research Institute, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran, Iran

³Department of Physics, Shahed University, Tehran, Iran

Abstract- In this paper, the effect of changes in the interaction geometry on the stimulated Brillouin Scattering process in a single-cell setup to achieve the optimized configuration is studied. The energy reflectivity variations of the phase conjugate mirror and energy stability in optical limiting of SBS cell have been investigated. Our results show that the energy reflectivity of phase conjugation mirror can be optimized and the output energy of the SBS cell as a SBS- optical limiter can be controlled by changing the interaction geometry.

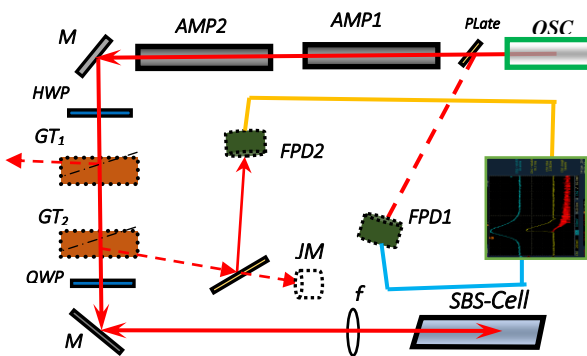
Keywords: Stimulated Brillouin Scattering, Phase conjugate mirror, Optical limiting, Interaction geometry

مقدمه

فاصله عدسی تا پنجره ورودی سلول SBS) به منظور تغییر در شدت باریکه و تغییر در طول برهمکنش در آرایش تک سلولی با طول‌های مختلف به صورت تجربی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. از استون خالص ۹۹٫۹۸٪ با ضریب بهره بریلوئن $g_B = 20 \text{ cm/GW}$ به عنوان ماده پراکننده استفاده شده است.

چیدمان آزمایش

در طی فرایند انجام تحقیقات از یک نوسانگر حلقوی تک جهتی برای تولید تپ‌های لیزری تک مد طولی و تک مد عرضی TEM₀₀ استفاده شده است [۵].



شکل ۱- چیدمان اپتیکی آزمایش: OSC: نوسانگر حلقوی تک مد طولی و تک مد عرضی، Plate: تیغه شیشه ای پولیش شده، AMP: تقویت کننده، M: آینه تمام بازتابان، HWP: تیغه نیم موج، GT: قطبش گر گلن تامسون، QWP: تیغه ربع موج، JM: کالریمتر، FPD: فوتودیود سریع، f: عدسی مثبت و SBS-cell: سلول پراکننده حاوی استن خالص.

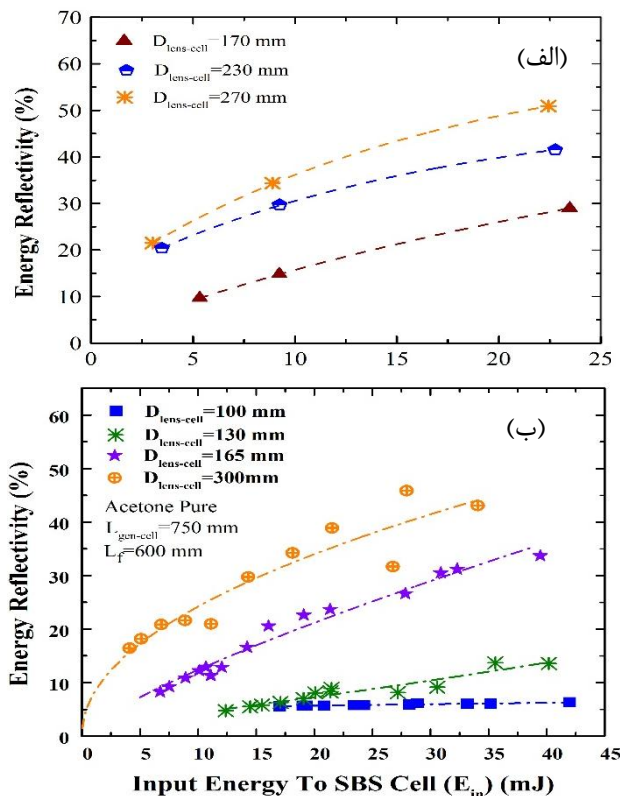
قطبش باریکه خروجی لیزر بعد از عبور از دو تقویت کننده با محیط فعال Nd:YAG، توسط دو قطبشگر گلن-تامسون (GT) خطی و به کمک یک تیغه ربع موج با قطبش دایروی توسط یک عدسی مثبت درون سلول SBS کانونی می‌گردد چیدمان آزمایش در شکل (۱) نشان داده شده است.

پراکندگی القایی بریلوئن، SBS، به واسطه کاربردهای آن به عنوان آینه مزدوج فاز اپتیکی و جبران انحراف‌های به وجود آمده در باریکه فرودی و همچنین تولید تپ‌های فشرده تا ده‌ها مرتبه کوتاه‌تر از طول عمر فونون آکوستیکی بسیار مورد توجه دانشمندان بوده است [۱، ۲]. از دیگر کاربردهای مهم پراکندگی القایی بریلوئن می‌توان به ایجاد محدود سازی اپتیکی^۱ (SBS-OL) اشاره نمود [۳] که تکنیکی برای عبور باریکه‌های کم شدت و انحراف بخشی دیگر از باریکه پرتوان لیزری می‌باشد. از محدود سازی اپتیکی برای محافظت قطعات اپتیکی و بهینه سازی پایداری سیستم لیزری در لیزرهای پرتوان و یا ساختارهای هندسی بزرگ، بکار گرفته می‌شود. در بسیاری از روش‌های مرسوم برای محدود سازی اپتیکی مانند جذب دو فوتونی، رسانندگی نوری و جاذب اشباع پذیر، به واسطه آسیب‌های ناشی از القای گرما و یا شکست‌های برگشت ناپذیر در دی-الکترونیک^۲ که در ذات فرایند محدود سازی اپتیکی وجود دارد، کنترل توان نوری لیزرهای پر قدرت کاملاً برآورده نمی‌شود. با توجه به اینکه در فرایند SBS آستانه تخریب بیشتر مواد مورد استفاده بالاتر از 100 GW/cm^2 می‌باشد، لذا SBS به عنوان یک فرایند خود پایدار (فعال) کننده با توانایی کنترل توان‌های بالای لیزری، روشی بسیار مناسب برای محدود سازی نوری می‌باشد [۴].

در پژوهش حاضر رفتار آینه مزدوج فاز و پدیده محدود سازی اپتیکی با کمک پراکندگی القایی بریلوئن را بر حسب ساختار هندسی سلول SBS (تغییر طول سلول و استفاده از عدسی‌ها با فاصله کانونی متناسب و تغییر

¹ Stimulated Brillouin Scattering Optical Limiting

² Irreversible Dielectric Breakdown

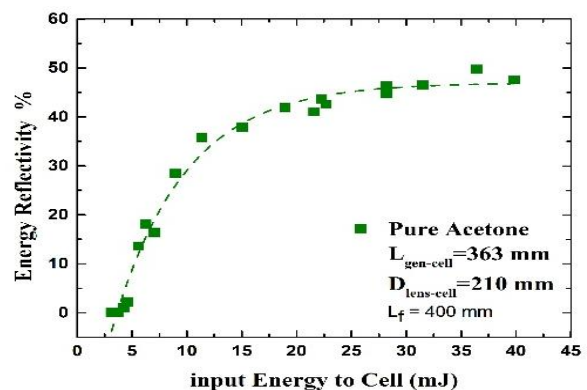


شکل ۳- رفتار انرژی بازتابی از سلول SBS در فواصل متفاوت بین عدسی و سلول برای سلول به طول الف) ۲۶۳ mm و ب) ۷۵۰ mm.

فاصله وجود دارد. افزایش بیشتر فاصله D دلیل تشکیل کمر باریکه در نزدیکی پنجره ورودی و شکست پنجره، امکان پذیر نبود. همچنین در فواصل کوچک D انرژی استوکس بازتابی به شدت کاهش می‌یابد. نتایج بدست آمده همچنین نشان از کاهش مقدار انرژی آستانه بریلوئن و در نتیجه کاهش مقدار G_{th} با کاهش طول برهمکنش و افزایش شدت باریکه، دارد.

در شکل ۳(ب) رفتار انرژی بازتابی برای سلولی به طول ۷۵۰ mm و عدسی با فاصله کانونی ۶۰۰ mm در فواصل متفاوت $D = 100 - 300 \text{ mm}$ در بازه انرژی $E_{in \text{ cell}} = 3 - 45 \text{ mJ}$ ترسیم شده است. با افزایش فاصله، مقدار انرژی آستانه بریلوئن برای تشکیل موج استوکس از ۱۶ mJ به ۳ mJ کاهش یافته و همچنین افزایش انرژی بازتابی از ۹٪ تا ۵۰٪ در انرژی فرودی $E_{in \text{ cell}} = 45 \text{ mJ}$ مشاهده می‌شود. این روند در سلولی به طول ۱۵۷ mm نیز مشاهده گردید. لذا با توجه به طول

رفتار انرژی بازتابی از تک سلول SBS با طول ۲۶۳ میلی‌متر- قطر دهانه ورودی ۱۴ میلی‌متر- با استفاده از عدسی با فاصله کانونی ۴۰۰ میلی‌متر در فاصله $D = 215 \text{ mm}$ تا پنجره ورودی سلول، در شکل شماره (۲) ترسیم شده است. و مطابق با تئوری و نتایج دیگران می‌باشد [۱، ۲] و به منظور مقایسه و صحت نتایج بدست آمده، آورده شده است.



شکل ۲- رفتار انرژی بازتابی از سلول SBS به طول ۲۶۳ mm.

لازم به ذکر است که مقدار انرژی بازتابی به صورت نسبت انرژی بازگشتی بر انرژی ورودی به سلول تعریف می‌شود. همچنین مقدار انرژی استوکس با احتساب ضرایب عبوردهی قطعات اپتیکی (تیغه شیشه‌ای و تیغه ربع موج $T_1 = 91\%$ و قطبشگر گلن-تامسون $T_{GT} = 75\%$) در نظر گرفته شده لذا ضریب عبور دهی برابر با:

$$T = T_1 \times T_{GT} \times T_1 = 62.5\%$$

می‌شود. رفتار ضریب بازتابش انرژی به صورت نمایی با افزایش انرژی فرودی به سلول تا مقدار مجانبی حدود ۵۰٪ افزایش می‌یابد. رفتار ضریب بازدهی این سلول SBS به ازای تغییر در فاصله عدسی تا ورودی سلول از ۱۵۰ تا ۲۷۰ میلی‌متر برحسب انرژی فرودی (۳ الی ۲۵ میلی‌ژول) در شکل ۳(الف) نشان داده شده است. با افزایش فاصله، افزایش انرژی بازتابی مشهود می‌باشد. این فرایند در حقیقت با افزایش شدت باریکه لیزر و کاهش طول برهمکنش، رخ داده است، لذا با توجه به معادلات حاکم بر پراکندگی القایی بریلوئن انتظار وجود یک نقطه بهینه برای

نشان می‌دهد با افزایش فاصله عدسی تا سلول مقدار انرژی محدود شده اپتیکی کمی متفاوت می‌باشد لذا با تغییر در طول سلول و فاصله بین عدسی و سلول می‌توان انرژی اپتیکی عبوری پایدار و قابل کنترل بدست آورد. از دیگر اثرات محدود سازی اپتیکی می‌توان به تولید باریکه با توزیع 1,2 فضایی تقریباً تخت و همچنین رفتار زمانی با قله تخت اشاره داشت که در این مقاله مجال بررسی آن یافت نشد و در مقالات بعدی مورد تحلیل قرار خواهند گرفت.

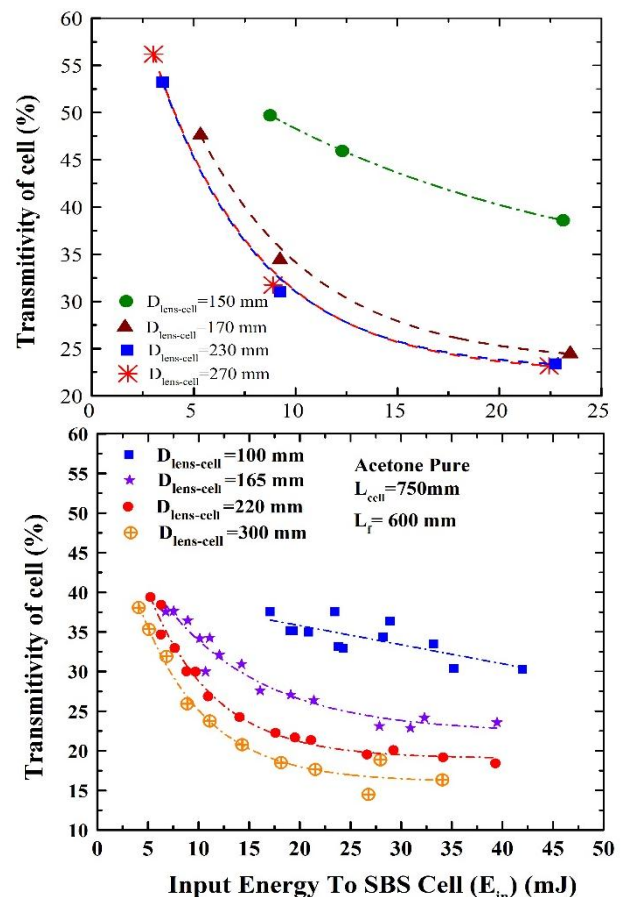
نتیجه‌گیری

در این پژوهش به مطالعه پدیده پراکندگی القایی بریلوئن به عنوان آینه مزدوج فازی و محدود ساز اپتیکی پرداخته شد و نتایج با تغییر در طول هندسی سلول و یا فاصله عدسی تا دهانه ورودی باریکه در سلول مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد افزایش فاصله بین عدسی و سلول منجر به افزایش ضریب بازتابش انرژی و کاهش انرژی آستانه بریلوئن می‌شود این نتایج در حالتی است که طول برهمکنش کاهش می‌یابد. همچنین با تغییر در ساختار هندسی پراکندگی القایی بریلوئن (طول سلول، طول برهمکنش و شدت باریکه ورودی) ویژگی‌های فرایند محدود سازی اپتیکی در انرژی خروجی از سلول برقرار است و همچنین می‌توان میزان انرژی خروجی پایدار از سلول را با وجود تغییر در انرژی ورودی، کنترل نمود.

مرجع‌ها

1. Damzen, M., et al., Stimulated Brillouin scattering: fundamentals and applications. 2010: CRC Press.
2. Brignon, A. et al., Phase conjugate laser optics. Vol. 9. 2004: Wiley. com.
3. Bai, Z., et al., Stimulated Brillouin scattering materials, experimental design and applications: A review. Optical Materials, 2018. **75**: p. 626-645.
4. Hasi, W., et al., Generation of flat-top waveform in the time domain based on stimulated Brillouin scattering using medium with short phonon lifetime. Laser and Particle Beams, 2008. **26**(4): p. 511-516.
5. Jaber, M. et al., Longitudinal mode structure in a non-planar ring resonator. Iranian Journal of Physics Research, 2013. **13**(1): p. 35-44.

سلول و فاصله بین عدسی تا سلول می‌توان مقادیر انرژی بازتابی و انرژی آستانه را تعیین نمود. با توجه به فرایند پراکندگی القایی بریلوئن هنگامی که انرژی ورودی بازتاب پیدا می‌کند و بخشی از انرژی باریکه لیزر از سلول خارج می‌شود که ویژگی‌های محدود سازی نوری را دارد. در شکل ۴ (الف و ب) رفتار انرژی عبوری از سلول به ترتیب برای طول‌های ۳۶۳ و ۷۵۰ میلی‌متر نشان داده شده است.



شکل ۴- رفتار انرژی عبوری به منظور محدود سازی نوری از سلول SBS در فواصل متفاوت بین عدسی و سلول و پایداری انرژی خروجی برای سلول به طول الف) ۳۶۳ mm و ب) ۷۵۰ mm.

همانطور که از نمودارها پیداست با افزایش انرژی ورودی به سلول، انرژی عبوری به صورت نمایی کاهش می‌یابد، این روند کاهشی تا یک مقدار مجانبی و تقریباً پایدار و مستقل از انرژی ورودی ادامه می‌یابد. این روند در فواصل بسیار کم D کاهشی و به صورت خطی می‌باشد و با افزایش انرژی تقریباً مقدار ثابتی بدست می‌دهند. نتایج