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

# افزایش آستانه تخریب لیزری شیشه Nd:glass در اثر تابش لیزر $CO_2$

هاشم حجتی راد [۱و۲] ، سعید جلوانی [۱] ، سیدعلی هاشمی زاده عقدا [۲] ، سمیه پناهی بخش [۱]

[۱] پژوهشکده فوتونیک و فناوریهای کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای ، انتهای خیابان کارگر شمالی ، تهران

[۲] گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور،تهران

**چکیده – در این مقاله افزایش آستانه تخریب لیزری شیشه Nd:glass با استفاده از تابش لیزر $CO_2$ با طول موج ۱۰/۶ µm بررسی شده است. بدین منظور، نمونه های Nd:glass مورد تابش لیزر با پارامترهای متفاوت لیزری قرار گرفتند. سپس، طیف عبوری و طیف تفاضلی نمونه ها قبل و بعد از تابش مورد مقایسه قرار گرفت. پس از آن، ازیک سیستم لیزری نوسانگر-تقویت کننده سوئیچ Q با تپهای $TEM_{00}$ تک مد طولی در طول موج ۱۰۶۴ nm برای آزمایش آستانه تخریب استفاده گردید. با بهینه کردن شرایط تابش پالس های لیزر $CO_2$ ، آستانه تخریب برای نمونه تابش شده حدود ۳/۱۰ برابرافزایش یافته است. نتایج این پژوهش با توجه به این که شیشه Nd:glass به عنوان محیط فعال و محیط تقویت کننده در لیزرهای پرقدرت استفاده می شود بسیار ارزشمند است.**

**کلید واژه- شیشه Nd:glass ، آستانه تخریب لیزری ، لیزر $CO_2$ ، برهمکنش لیزر با ماده**

# Increasing the Laser Induced Damage Threshold of Nd:glass by $CO_2$ Laser irradiation

**Hashem Hojati Rad[1,2], Saeed Jelvani[1], Seyed Ali Hashemizadeh Aghda[2] , Somayeh Panahibakhsh[1]**

**[1] Photonics and Quantum Technologies Research school, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran**
**[2]Department of Physics, Payam Noor University, Tehran**

**Abstract- In this paper, increasing the laser induced damage threshold of Nd:glass by 10.6 µm $CO_2$ laser is investigated. For this purpose, Nd:glass samples were irradiated with different laser parameters. Then, transmission and differential absorption spectra of samples before and after the irradiation were compared. Next, a 1064 nm Q-switched oscillator-amplifier Nd:YAG laser system with single longitudinal mode $TEM_{00}$ pulses was used for the damage threshold experiment. By optimizing $CO_2$ laser irradiation parameters, damage threshold for an irradiated sample was increased about 3.10 times. The results of this study are very important, considering that Nd: glass is used as an active medium and amplifier in high-power lasers.**

Keywords: Nd:glass , Laser Induced Damage Threshold , $CO_2$ Laser



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

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04 ]

## مقدمه

شیشه های Nd:glass به طور گسترده در سیستم های لیزری پرقدرت مورد استفاده می گیرند که دارای کاربردهای صنعتی، پژوهشی، پزشکی و گداخت لیزری هستند.

ویژگیهای طیفی جذب و فلورسانسی یونهای $Nd^{3+}$ در میزبان شیشه و مشخصه های فیزیکی و شیمیایی و مکانیکی ماده میزبان، Nd:glass را نسبت به محیط های فعال لیزری حالت جامد دیگر متمایز می سازد[۱]. یکی از مشکلاتی که لیزرهای حالت جامد با آن مواجه هستند، تولید مقدار زیادی گرما در طی فرآیند دمش می‌باشد که این امر می تواند هم محدودیت افزایش شدت خروجی لیزر ایجاد کند و هم موجب تخریب محیط فعال و یا عناصر اپتیکی دیگر شود.

هنگامی که انرژی زیادی در محیط فعال شیشه ایجاد می‌شود و یا از عناصر اپتیکی عبور می کند می تواند شبکه ماده شیشه یا عناصر اپتیکی مورد نظر را تحت تاثیر قرار دهد که مکانیسم آسیب، متأثر از شدت انرژی لیزر می‌باشد.

مکانیسم هایی که باعث می شوند در مواد و عناصر اپتیکی آسیب ایجاد شود می تواند ناشی از شکست دی‌الکتریک ، جذب گرمایی و وضعیت ترمودینامیکی باشد. تخریب القایی لیزر در عناصر اپتیکی می تواند ناشی از قدرت میدان الکترومغناطیسی پرتو لیزر باشد که این امر باعث شکست دی الکتریک ماده می شود[۴].

در بعضی مواقع جذب با حضور ناخالصی ها، مراکز رنگ و غیره در شیشه تبدیل به اثرات حرارتی شده و در نتیجه باعث ذوب و شکست ناحیه ای که پرتو لیزر به آن تابیده شده، می شود و این موضوع در ناحیه UV و IR به دلیل شروع جذب الکترونی و مولکولی بسیار مهم می باشد.

در بلور و شیشه های با ساختار تقریباً ایده آل، جذب ناشی از ناخالصی‌ها، جابه جایی‌ها، و غیره بسیار کوچک هستند. حضور هر یک از ناخالصی‌ها، مراکز رنگ و غیره می توانند منجر به جذب غیرخطی ماده شوند.

در شدتهای پایین، انرژی جذب تک فوتونی با توجه به انرژی نوار گاف اتفاق می افتد اما در شدتهای بالا جذب می تواند به صورت جذب چند فوتونی (جذب همزمان دو فوتون، سه فوتون و بیشتر) انجام شود [۲]. هنگامی که در ناحیه کوچکی از ماده دما به اندازه کافی افزایش یابد و عمل یونیزاسیون صورت گیرد، ناحیه یونیزه شده انرژی بیشتری جذب می کند که این عمل منجر به ایجاد میکروپلاسما و ابر گرمایی موضعی به همراه آسیب سطح می‌گردد.

جذب در محیط فعال لیزری نه تنها منجر به اتلاف انتقال، کاهش بازده دمش و فشار شعاعی می شود بلکه در نهایت سبب خودکانونی سازی و ایجاد تخریب در عناصر اپتیکی می شود.

بنابراین می توان با کاهش جذب به افزایش بازدهی عناصر اپتیکی کمک کرد و از این طریق بازدهی کل سیستم را افزایش داد.

وضعیت ترمودینامیکی با توجه به اینکه پرتو لیزر یک منبع غیریکنواخت گرمایی است مطرح می شود و لذا اثرات حرارتی در عناصر اپتیکی می تواند به ایجاد ذوب شدگی ، ترک خوردن و اعوجاج در سیستم منجر شود.

برهمکنش لیزر با ماده می تواند موجب تغییر ساختار و خواص ماده مانند خواص اپتیکی، حرارتی، مکانیکی، شیمیایی و نظایر آن شود[۳].



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

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04 ]

انتخاب پارامترهای مناسب لیزر مانند طول موج لیزر، شدت لیزر، تعداد تپهای تابشی در لیزرهای تپی، نرخ تکرار و شاریدگی لیزر در بدست آوردن تغییرات مورد نظر نقش مهمی دارد. بنابراین می توان با انتخاب مناسب پارامترهای لیزری به کاهش نقص‌ها در بلور یا شیشه‌ها دست یافت[۱].

در این پژوهش، اثر پارامترهای لیزر $CO_2$ به منظور کاهش جذب و همچنین افزایش آستانه تخریب در ماده محیط فعال (شیشه Nd:glass ) بررسی شده است.

## آزمایش و نتایج

در آزمایشات انجام شده از لیزر $CO_2$ با طول موج µm ۱۰/۶ استفاده شده است. سطح مقطع باریکه لیزر $CO_2$ مورد استفاده تقریباً به شکل مستطیل ۳×۱ سانتی‌مترمربع می باشد که با قرار دادن ماسک، به شکل دایره ای به قطر ۱ سانتی‌متر تغییر داده شد. نمونه های شیشه ای به طور عمود بر جهت انتشار پالس لیزر قرار داده شدند و قسمت مرکزی نمونه ها مورد تابش قرار گرفتند.

نمونه‌های شیشه ای استفاده شده در این آزمایشات نمونه‌های Nd:glass ، به صورت دیسک های نازکی به قطر ۲۰ mm و ضخامت ۱/۵mm وبا صافی سطح $\lambda/4 \leq$ می‌باشند.

کیفیت اپتیکی بالا موجب افزایش آستانه تخریب هر عنصر اپتیکی می شود و در این آزمایش از شیشه‌های Nd:glass با کیفیت اپتیکی بالا که به عنوان محیط فعال و تقویت کننده مورد نظر می باشند استفاده شد.

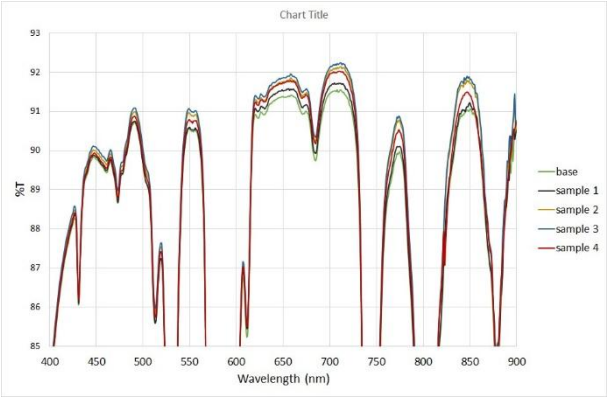
برای انجام برهمکنش غیر مخرب شاریدگی بسیار کمتر از شاریدگی آستانه کندگی انتخاب شد تا امکان تخریب سطح نمونه با تابش شمار زیادی از تپ لیزری از بین برود. برای این آزمایشها قبل و بعد از تابش، طیف سنجی UV-Vis به عمل آمد.

ابتدا ۴ نمونه شیشه Nd:glass انتخاب شدند و سپس تحت تابش لیزر $CO_2$ با طول موج µm ۱۰/۶، شاریدگی $۳۰mJ/cm^2$ و نرخ تکرار یک هرتز و با تعداد تپ معین قرار گرفتند. تعداد تپ های لیزری تابش شده به نمونه های ۱ تا ۴ به ترتیب ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰و ۳۰۰ می باشد.

جدول ۱ - اثر تابش لیزر $CO_2$ با شاریدگی $۳۰mJ/cm^2$ و نرخ تکرار تپ ۱ هرتز در تعداد تپ های مختلف بر طیف عبور نمونه های Nd:glass

| نمونه | تعداد تپ | افزایش/کاهش عبوردهی |
|---|---|---|
| ۱ | ۵۰ | افزایش |
| ۲ | ۱۰۰ | افزایش |
| ۳ | ۲۰۰ | افزایش |
| ۴ | ۳۰۰ | کاهش |

پس از اتمام تابش، از نمونه ها طیف سنجی UV-Vis به عمل آمد و نتایج ذیل مشاهده گردید:



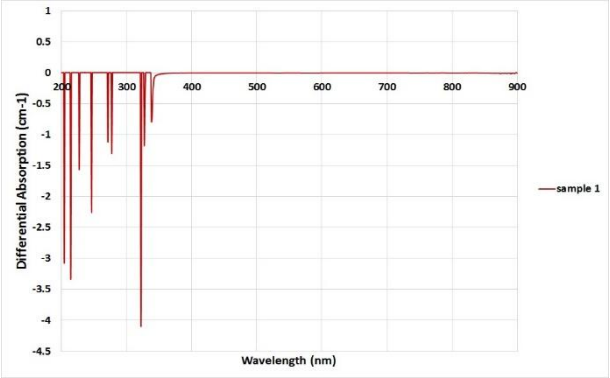

شکل ۱- طیف عبوری نمونه شماره ۴-۱ تابش شده با لیزر $CO_2$ با بزرگنمایی و طیف نمونه قبل از تابش دهی.

طیف های شکل ۱ نشان می دهد که با افزایش تعداد تپ، افزایش درصد عبور مشاهده می شود، یعنی در تابش با تعداد تپ های ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰، افزایش عبور اتفاق می افتد. همچنین، در تابش با تعداد ۳۰۰ تپ لیزری، کاهش عبور داریم که نشان از ایجاد نقص های جدید در شیشه مورد تابش می باشد.



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

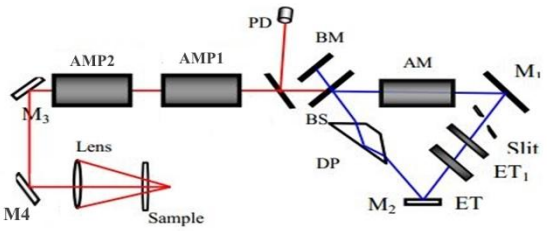
[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04 ]




شکل ۲- طیف تفاضلی جذب نمونه شماره ۱بعد از تابش دهی

طیف تفاضلی جذب نمونه شماره ۱ نشان می دهد قله های جذبی منفی زیادی در طیف در ناحیه فرابنفش (UV) به وجود آمده اند که نشان از حذف نقص‌های شیشه می باشد.

نمونه ۳ که در اثر تابش دهی لیزر $CO_2$ ، بیشترین افزایش عبوردهی در کل طیف UV-Vis برای آن مشاهده شد برای انجام آزمایش آستانه تخریب LIDT انتخاب گردید. چیدمان تجربی آزمایش LIDT در شکل ۳ نشان داده شده است.




شکل ۳ - چیدمان تجربی آزمایش LIDT با سیستم نوسانگر-تقویت کننده لیزر Nd:YAG با طول موج ۱۰۶۴ نانومتر،Mi آینه های سیتم با بازتاب کامل، ETi اتالون ها،PD فتودیود، ، BS شکافنده باریکه، DP منشور داو، BM آینه انتهایی، AM محیط فعال و AMP تقویت کننده است.

سیستم لیزری نوسانگر-تقویت کننده سوئیچ Q با تپهای $TEM_{00}$ تک مد طولی در طول موج ۱۰۶۴ nmبرای آزمایش آستانه تخریب مورد استفاده قرار گفت. آزمایش آستانه تخریب با روش اندازه گیری استاندارد " S به ۱ " اجرا شد. اندازه گیری تخریب در شرایط محیطی آزمایشگاهی صورت گرفت. نتایج اندازه گیری شار آستانه تخریب برای نمونه اولیه و نمونه تابش شده شماره ۳ در جدول ۲ مشاهده می شود.

جدول ۲ - نتایج آزمایش LIDT

| نمونه | LIDT($J/cm^2$) |
|---|---|
| نمونه اولیه ( بدون تابش دهی) | ۵۵/۳۸ |
| نمونه تابش داده شده با لیزر با تعداد تپ ۲۰۰ | ۱۷۲/۰۳ |

## نتیجه گیری

با تغییر تعداد تپ‌های لیزرتابشی می‌توان به بهینه کاهش جذب در محیط فعال لیزری Nd:glass دست یافت که از این طریق به کاهش نقص‌ها در آن کمک کرد. با کاهش نقص‌ها اثرات غیرخطی ضریب شکست و ترمواپتیکی ماده Nd:glass بهبود می یابد. در این آزمایش با استفاده از لیزر $CO_2$ با طول موج ۱۰/۶ µm و با شاریدگی ۳۰ $mJ/cm^2$ در نرخ تکرار ۱ هرتز و تعداد تپ ۲۰۰، آستانه تخریب نمونه تابش شده حدود ۳/۱۰ برابر افزایش یافت.

## مرجع‌ها

[1] S. Panahibakhsh ,S. Jelvani,M. Maleki , M.Mollabashi, M. Jaberi, “ Influence of XeCl laser irradiation on the laser damage threshold of the Nd:YAG crystal” , Optical and Quantum Electronics 47, No 5, pp 1101–1107

[2] Brown, D. C , “*High-Peak-Power Nd: Glass Laser Systems*”,first edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (1981).

[۳] اوراسیو سولتو، اکبر حریری (مترجم)، "*اصول لیزر*" مرکز نشر دانشگاهی، ۴۸۵-۵۱۶

[۴] راجر ام وود، سید محمد عترتی خسروشاهی، مهدی کاظم زاده (مترجمین)، " *آسیب لیزری مواد اپتیکی*" ، انتشارات جهاد دانشگاهی امیرکبیر، ۱۳۸۱



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

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-04 ]