

## پیشرفت در سیستمهای نوری: چگونه تکنیکهای آزمایش آستانه آسیب ناشی از لیزر (LIDT) بکاربریم؟

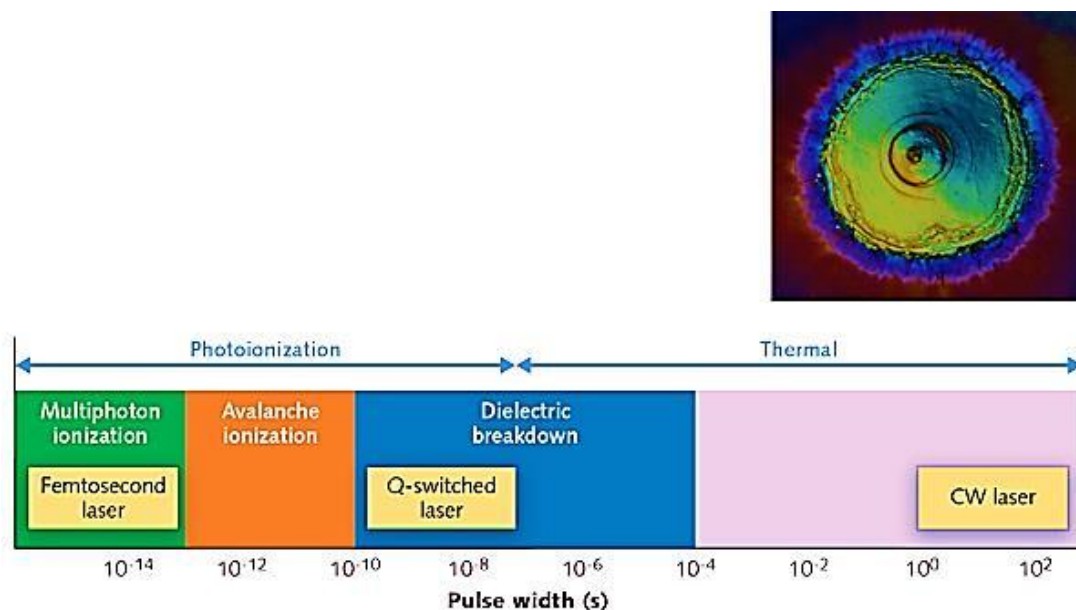
برای اجتناب از آسیب ناشی از لیزر در اپتیک، بهترین راه نه تنها درک شرایطی است که آن را ایجاد کرده بلکه در نظر گرفتن چگونگی تعیین آستانه آسیب ناشی از لیزر هم است.

نور لیزر چندین ویژگی منحصر بفرد مانند تک رنگی، همدوسی و همراستایی بالا دارد. به همین دلیل، لیزر به یک ابزار ضروری برای طیف گسترده ای از کاربردها نظیر فراوری مواد، ارتباطات، پزشکی، امنیتی و دفاعی تبدیل شده است.

با پیشرفت در مواد و پوششهای نوری، سیستمهای نوری لیزری در حال حاضر می توانند به شدت های باریکه ای در حدود پتاوات یا  $10^{15}$  وات برسند. با این حال، از زمان نمایش اولین لیزر در سال ۱۹۶۰ توسط تد میمن، یکی از محدودیتهای عمده آسیب نوری است. قطعات نوری نظیر لنزها، آینه ها، قطعات نوری غیر خطی، منشورها و فیبرها در سیستمهای لیزری با توان و انرژی بالا باید به درستی انتخاب شوند تا این اطمینان حاصل شود که مرز مورد نیاز اجتناب از آسیب ناشی از لیزر (LID) حفظ شده است. درک صحیح از اینکه چگونه آستانه آسیب ناشی از لیزر (LIDT) اندازه گیری می شود، در تعیین مناسب بودن یک قطعه نوری برای کاربردی معین، ضروری است.

### مبانی

بر طبق استاندارد ایزو ۲۱۲۵۴ آسیب ناشی از تابش لیزر به صورت هر تغییر دائمی ناشی از تابش لیزری در ویژگی های سطح یا حجم نمونه است تعریف می شود که با روش بازرسی، قابل مشاهده است. آسیب ناشی از لیزر را می توان بر طبق دو مکانیسم اصلی یعنی القای حرارتی و القای میدانی طبقه بندی کرد (شکل ۱).



شکل ۱: آسیب ناشی از لیزر، شامل خرابی نوری ناشی از حرارت و میدان، در کل عرض پالس نشان داده شده است. شکل ضمیمه شده مثالی از آسیب لیزری ناشی از میدان در یک پوشش دی الکتریک را نشان می دهد.

ناشی از حرارت: در لیزرهای با مد پیوسته (CW)، آستانه خرابی توسط جذب حرارتی اعمال می شود. این حالت از خرابی اغلب در لیزرهای با پالس بلند و به همان شکل در لیزرهایی با عرض پالس به کوتاهی حدود  $10^{-10}$  ثانیه دیده می شود. این آسیب به دلیل ذوب و یا تبخیر ماده رخ می دهد. در این حالت، میزان جذب بیش از توانایی ماده در پخش حرارت از طریق هدایت گرمایی است. LIDT برای لیزرهای CW به صورت چگالی توان بیان می شود و به تابشی اشاره می کند که برابر است با میزان توان بر واحد سطح (برای مثال  $W/cm^2$ ).

ناشی از میدان: برای منابع لیزری با پالس کوتاهتر و مدت زمان پالس در حدود  $10^{-8}$  تا  $10^{-14}$  ثانیه، آستانه آسیب توسط اثرات فوتوایونیزاسیون یا اثرات ناشی از میدان ایجاد می شود (شکل ۱ را ببینید). اثرات میدان در قالب شار یا چگالی انرژی بحث می شوند که برابر است با انرژی بر مساحت سطح (برای مثال  $J/cm^2$ ).

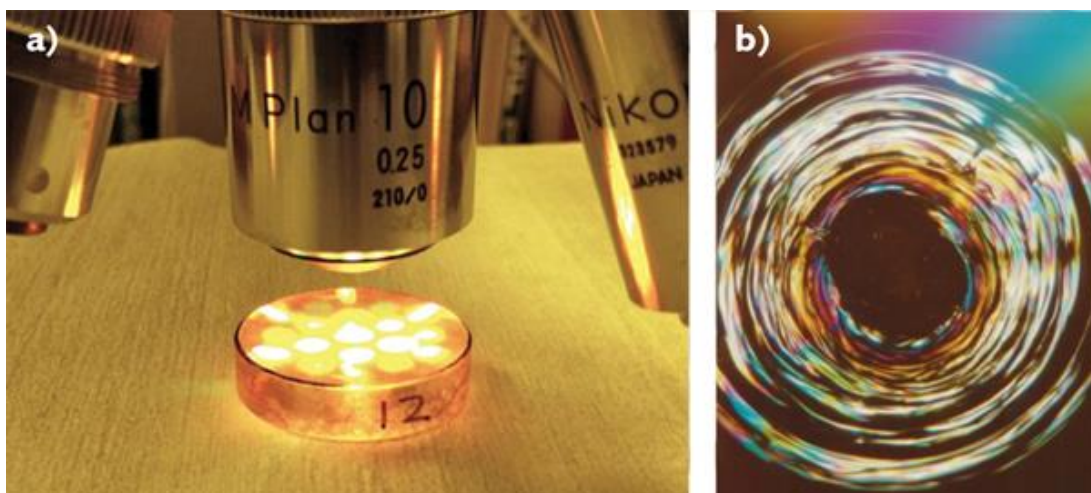
فوتوایونیزاسیون، یونیزاسیون ایجاد شده در یک محیط توسط تابش الکترومغناطیسی است. میدان الکتریکی ورودی به یک محیط، از طریق جذب فوتون سبب برانگیخته شدن الکترون ها به نوار رسانش می شود. این الکترون ها حالت پلاسمایی را ایجاد می کنند که به محض رسیدن به چگالی بحرانی به دلیل فرکانس پلاسمای تشدید شده توسط فرکانس لیزر، مستقیماً با فوتون های ورودی برهمکنش می کنند. سپس دمای پلاسما به صورت نمایی افزایش می یابد، یک انبساط انفجاری آغاز می شود و به این ترتیب شکل گیری یک موج شوک که می تواند شبیه یک جرقه ظاهر شود و احتمالاً یک ضربه محکم و ناگهانی قابل شنیدن ایجاد کند.

اگر مدت زمان پالس به اندازه کافی طولانی باشد، گرمای ناشی از پلاسما می‌تواند در شبکه‌های اطراف ممزوج شده و آسیب حرارتی ایجاد کند. برای مدت زمان‌های پالس بین  $10^{-10}$  و  $10^{-13}$  ثانیه، یونیزاسیون بزرگ و ناگهانی، نقش اصلی را ایفا می‌کند. برای لیزرهای فمتوثانیه با عرض پالس‌های کمتر از  $10^{-13}$  ثانیه، فرآیندهای یونیزاسیون چند فوتونی محرک اصلی هستند و نقش آن‌ها همانطور که مدت زمان پالس کاهش می‌یابد، بیشتر می‌شود. این رژیم اساس فراوری لیزری سرد است چون زمان انبساط پلاسما بسیار کوتاه است این انرژی نمی‌تواند بطور مؤثری به مواد اطراف منتقل شود.

### پروتکل تست خرابی لیزر

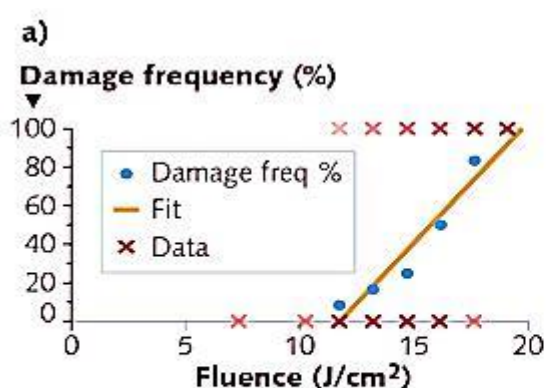
معمولترین پروتکل‌های مورد استفاده ایزو ۲۱۲۵۴، "لیزرها و تجهیزات مرتبط با لیزر-روش‌های تست آستانه خرابی ناشی از لیزر" و استاندارد ماقبل آن یعنی ایزو ۱۱۲۵۴ است. این استانداردهای بین‌المللی در تعیین خرابی غیر قابل بازگشت قطعات نوری ناشی از باریکه لیزر بکار برده می‌شوند به گونه‌ای که نتایج تکرارپذیر و مستقل از شرایط آزمایشگاه تست کننده باشد.

نمونه‌ها شامل تست‌های یک به یک (یک تک پالس بر نمونه) و S بر یک (چند پالس بر نمونه) است. خرابی می‌تواند به صورت هر تغییر دائمی ناشی از لیزر که بتواند با یک روش بازرسی، که معمولاً قابل مشاهده با میکروسکوپ تباین تداخل تفاضلی (DIC) 150X است، توصیف شود. میکروسکوپ DIC همچنین به عنوان میکروسکوپ تباین تداخلی نومارسکی نیز شناخته می‌شود (شکل ۲ را ببینید). این روش آشکارسازی برای تقویت تمایز در نمونه‌های شفاف استفاده می‌شود. روش DIC روشی برای بدست آوردن اطلاعاتی درباره طول مسیر نوری نمونه و روشن نمودن دیگر عوارض غیر قابل مشاهده نمونه، بر اساس اصول تداخل است.



شکل ۲. بازرسی نوری با استفاده از میکروسکوپ نومارسکی انعکاسی ۱۵۰ (a) خرابی لیزر را آشکار می‌کند (b).

در روش تناوبی خرابی ناشی از لیزر S بر یک (ISO-21254)، نمونه تست در چند سطح شارش مختلف با تعدادی از جایگاه های از پیش تعیین شده در هر سطح، بر اساس استاندارد ISO-21254 تحت تابش قرار می گیرد. این سطوح هدفمندانه انتخاب می شوند بنابراین شارش های بالاتر احتمال ایجاد خرابی بالاتری دارند در حالیکه در سطوح پایین تر، احتمال خرابی کمتر است. درصد خرابی ها برحسب سطوح شارش رسم شده اند. در نهایت برازش خطی مربعات این داده ها محاسبه می شود، اغلب محل تلاقی با محور خرابی صفر درصد سطح آستانه خرابی را تعیین می کند. در شکل ۳ مجموعه ای از نمونه داده ها، نشان داده شده است. این روش، دقیق ترین سنجش از آستانه خرابی را فراهم می کند.



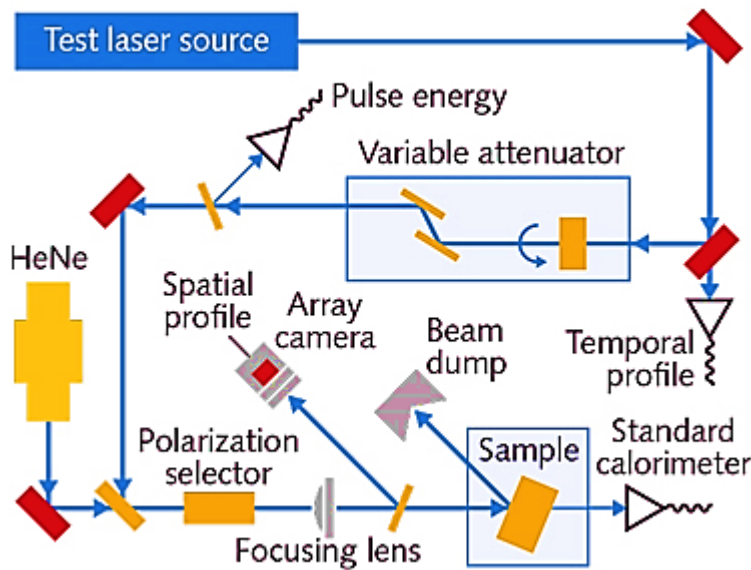
b)

| LIDT test parameters for a typical case |                   |
|-----------------------------------------|-------------------|
| Wavelength                              | 1064 nm           |
| Pulse width                             | 20 ns             |
| Repetition rate                         | 20 Hz             |
| Angle of incidence                      | Normal            |
| Polarization state                      | Linear            |
| Beam diameter                           | 1.0 mm            |
| Transverse modes                        | TEM <sub>00</sub> |
| Axial modes                             | Single            |

شکل ۳. نتایج یک تست LIDT در نمودار فرکانس خرابی نشان داده شده است (a)، و پارامترهای تست در جدول فهرست شده است (b).

### طرح موقعیت تست خرابی لیزر

نمونه ای از آرایش تست پرتو دهی نمونه، در شکل ۴ نشان داده شده است. این منبع آزمون یک تقویت کننده نوسانی Nd:YAG، Q سوئیچ الکترواپتیکی با دمش لامپی است که محدود به عمل در تک مد عرضی (TEM<sub>00</sub>) شده است. خروجی منبع آزمون با یک تضعیف کننده متغیر در سطحی مطلوب تنظیم شده، در یک آینه دوفام با باریکه مرئی ناشی از یک لیزر هلیوم-نئون (HeNe) ترکیب می شود و به نمونه تست قرار گرفته در کانون لنز مثبت با بهترین شکل یا پشت آن، تحویل داده می شود. استفاده از لنز اجازه ایجاد چگالی های انرژی مخرب (شارش ها) را در نمونه تست می دهد.



شکل ۴. نمونه طرح موقعیت تست نمایشی LIDT

لنز روی یک نرده انتقال نصب شده است که امکان تنظیم اندازه نقطه تابش به میزان مطلوب را فراهم میکند-پس از تنظیم، اندازه نقطه تابش در طول تست ثابت نگه داشته می‌شود. نمونه بر روی یک پایه چند محوری دقیق نصب شده است که برای تست مکان‌های مختلف با یک باریکه و تنظیم زاویه تابش مورد استفاده قرار می‌گیرد. حالت قطبش با یک صفحه موج انتخاب می‌شود. از پالس لیزری ورودی به وسیله بخش‌های گوه ای بدون پوشش کوارتز نمونه گیری شده و این جزء برای اندازه گیری انرژی کلی پالس، تصویر فضایی و جبهه موج وابسته به زمان به آشکارسازهای مختلفی هدایت می‌شوند. سطح نمونه و تابش لیزر مرئی پخش شده از آن، توسط یک میکروسکوپ نوری 20X مشاهده میشود (در شکل نشان داده نشده است).

## تعمیم نتایج LIDT

به دلیل اینکه نتایج LIDT تا حد زیادی به پارامترهای آزمون مورد استفاده بستگی دارد، یک سؤال رایج این است که آیا نتایج می‌تواند به سایر طول موج‌ها یا عرض‌های پالس تعمیم داده شود. برای افزایش عرض پالس، تقریب مورد قبول صنعت ریشه  $T$  افزایش یافته است. ضریب افزایش برای هر رژیم عرض پالس، ثابت است. برای مثال، ضریب افزایش ریشه  $T$  با افزایش متناسب با  $T^{1/2}$  (که  $T$  طول پالس است) می‌توان تقریباً از ۳۰ پیکوثانیه تا ۱۰۰ نانوثانیه از معادله زیر استفاده کرد:

$$Irradiance (MW/cm^2) = Irradiance_{old} (MW/cm^2) * SQRT(T_{old}/T_{new})$$

$$Fluence\ (J/cm^2) = Fluence_{old}\ (J/cm^2) * SQRT(T_{old}/T_{new})$$

نشان داده شده است که تعمیم طول موجی دقیق نبوده و توصیه نمی شود.