INSO
15502
1st Edition
2018
Identical with
ISO/TR 20811:
2017

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۱۵۵۰۲
چاپ اول
۱۳۹۷

اپتیک و فوتونیک- لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر- آزمون آلودگی مولکولی ناشی از لیزر

Optics and photonics — Lasers and laser-related equipment — Laser-induced molecular contamination testing

ICS: 31.260

استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۱۵۵۰۲ (چاپ اول): سال ۱۳۹۷

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.org.ir

وبگاه: http://www.isiri.gov.ir

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No. 2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.org.ir

Website: http://www.isiri.gov.ir

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفهٔ تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«اپتیک و فوتونیک- لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر- آزمون آلودگی مولکولی ناشی از لیزر»

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
سیلاخوری، کاوه (کارشناسی ارشد مهندسی هسته‌ای)	سازمان انرژی اتمی ایران- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای- پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی
دبیر:	
ابوالحسینی، شهریار (کارشناسی ارشد فیزیک)	سازمان انرژی اتمی ایران- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای- پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
پورحسن‌نژاد، زهرا (کارشناس ارشد فیزیک)	سازمان انرژی اتمی ایران- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای- پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی
ترکمنی، محمدجواد (دکتری مهندسی مواد)	مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران
حلاجان، مهدی (کارشناسی ارشد فیزیک)	مرکز ملی علوم و فنون لیزر ایران
حمید بهنام، غزال (کارشناسی ارشد پرتو پزشکی)	سازمان ملی استاندارد ایران- اداره کل نظارت بر اجرای استاندارد
حق‌بین نظرپاک، معصومه (دکتری مهندسی پزشکی، بیومتریال)	دانشگاه صنعتی امیرکبیر- پژوهشکده فناوری‌های نو
دیده‌بان مهر، مراد (کارشناسی ارشد فیزیک)	شرکت دید افزار جنوب
رجبی، زهره (کارشناسی فیزیک)	سازمان انرژی اتمی ایران- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای- پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی
سمیع‌پور، فرهاد (کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)	پژوهشکده سیستم‌های پیشرفته صنعتی
عبدی، احسان (کارشناسی مهندسی مکانیک)	شرکت دید افزار جنوب

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	**سمت و/یا محل اشتغال:**
عجمی، عاطفه (کارشناسی ارشد مهندسی صنایع)	آزمایشگاه اپتیک جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی شریف
عربلو، رضا (کارشناسی فیزیک)	پژوهشکده سیستم‌های پیشرفته صنعتی
قشلاقی، مریم (دکتری فیزیک)	سازمان انرژی اتمی ایران- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای- پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی
ویسی، فاطمه (کارشناسی مترجمی زبان انگلیسی)	سازمان انرژی اتمی ایران- پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای- پژوهشکده فوتونیک و فناوری‌های کوانتومی

ویراستار:

حق بین نظرپاک، معصومه (دکتری مهندسی پزشکی، بیومتریال)	عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر- پژوهشکده فناوریهای نو

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

پیش‌گفتار ز
مقدمه ح
۱ هدف و دامنهٔ کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۲
۳ اصطلاحات و تعاریف ۳
۴ نمادها و کوته‌نوشت‌ها ۳
۵ روش آزمون ۴
۵-۱ چیدمان آزمون ۴
۵-۱-۱ محفظه خلأ ۴
۵-۱-۲ چشمه لیزری و خط باریکه اپتیکی ۵
۵-۲ چیدمان برای داده‌برداری ۵
۵-۲-۱ پایش نیم‌رخ باریکه ۵
۵-۲-۲ اندازه‌گیری انرژی تپ و تعیین تراگسیلش ۶
۵-۲-۳ پایش فلورسانس ناشی از لیزر ۶
۵-۳ آماده‌سازی آزمون ۷
۵-۳-۱ برشته‌سازی ۷
۵-۳-۲ آماده‌سازی نمونه‌های اپتیکی ۷
۵-۳-۳ آزمون شاهد ۸
۵-۴ آزمون LIMC ۸
۵-۴-۱ پارامترهای آزمون ۸
۵-۴-۲ مراحل جداگانه آزمون LIMC ۹
۵-۵ ارزیابی نتایج آزمون ۱۰
کتاب‌نامه ۱۴

پیش‌گفتار

استاندارد «اپتیک و فوتونیک- لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر- آزمون آلودگی مولکولی ناشی از لیزر» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی به عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی شمارهٔ ۵ تهیه و تدوین شده، در هفتصد و چهل و هفتمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد مهندسی پزشکی مورخ ۱۳۹۷/۰۵/۰۶ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم وخدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوطه، مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی مزبور است:

ISO/TR 20811: 2017, Optics and photonics— Lasers and laser-related equipment— Laser-induced molecular contamination testing

مقدمه

اهمیت فناوری لیزری در کاربردهای فضایی به‌گونه‌ای فزاینده در حال افزایش می‌باشد. سامانه‌های پیچیده لیزری برای مشاهدات زمینی و اکتشافات سیاره‌ای استفاده می‌شوند. در عملکردهای درازمدت، قطعات اپتیکی باید الزامات سخت‌گیرانه‌ای را از بابت دقت و قابلیت اطمینان برآورده سازند. تمامی قطعات اپتیکی باید قبل از استفاده در فضا، تحت آزمون‌های مختلفی قرار گیرند. توصیه می‌شود برای تعیین آستانه تخریب لیزری به‌صورت استاندارد، استاندارد ISO 21254 (تمامی قسمت‌ها) مورد استفاده قرار گیرد. برای مشخصه‌یابی قطعات اپتیکی درکاربردهای فضایی، توصیه می‌شود آزمون‌های مربوطه در شرایط خلأ انجام شوند. علاوه بر مسائل مربوط به تخریب لیزری، توصیه می‌شود آلودگی مولکولی ناشی از لیزر (LIMC)[1] در نظر گرفته شود. LIMC به‌معنای برهم‌کنش تابش لیزری، به‌ویژه در شاریدگی‌های[2] بالا و طول‌موج‌های کوتاه، با مولکول‌های فرّار و تشکیل نهشت‌ها[3] روی قطعات اپتیکی است. اگر هنگام کار سامانه لیزری در شرایط خلأ، LIMC به‌گونه‌ای چشمگیر از کارآمدی کل سامانه بکاهد، معلوم می‌شود که وضعیت آن به‌طور خاصی وخیم است. آلودگی مولکولی عمدتاً از مواد آلی و سیلیکون‌ها، مانند: چسب‌ها، مواد عایق‌بندی یا مدارهای الکتریکی به علت آهنگ گاززائی[4] بیشتر نسبت به مواد غیرآلی پدید می‌آید. با انتخاب مواد مناسب و پیش‌آماده‌سازی مانند برشتن[5] در دمای کاملاً بالاتر از دمای کاری برنامه‌ریزی‌شده، می‌توان گازپراکنی را کاهش داد، اما نمی‌توان آن را کاملاً از میان برداشت. رفتار گازپراکنی مواد معمولاً با پارامترهایی مانند: مواد قابل‌چگالش فرّار انباشته‌شده (CVCM)[6]، اتلاف جرم کل (TML)[7]، اتلاف جرم بازیافت‌شده (RML)[8]، مواد قابل‌چگالش فرّار (VCM)[9] و بخار آب بازیافت‌شده (WVR)[10] مشخصه‌یابی می‌شود؛ تعاریف و جزئیات اندازه‌گیری‌های مربوط به این کمیت‌ها در استاندارد ECSS[11] با کد Q-ST-70-02C، استاندارد ASTM E595: 2007 و استاندارد ASTM E1559 وجود دارند.

این استاندارد روش انجام آزمون بررسی آلودگی مولکولی ناشی از لیزر را برای مقایسه میزان رشد نهشت‌های ناشی از لیزر روی سطوح اپتیکی برای مواد آلوده‌کننده مولکولی مختلف، بیان می‌کند.

1- Laser-Induced Molecular Contamination
2- Fluences
3- Deposit
4- Outgassing
5- Bake out
6- Collected Volatile Condensable Material
7- Total Mass Loss
8- Recovered Mass Loss
9- Volatile Condensable Material
10- Water Vapour Regained
11 -European Cooperation for Space Standardization

اپتیک و فوتونیک- لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر- آزمون آلودگی مولکولی ناشی از لیزر

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین چیدمان آزمون، روش آزمون و تجزیه و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده به‌منظور بررسی آلودگی مولکولی ناشی از لیزر (LIMC) برای کابردهای فضایی و تحت خلأ است.

تشکیل نهشت‌ها روی سطوح اپتیکی به دلیل برهم‌کنش تابش‌های نوری شدید با مولکول‌های ناشی از گازپراکنی، به‌ویژه از مواد آلی، LIMC نامیده می‌شود. این پدیده یک آلودگی مولکولی و متمایز از آلودگی‌های ذره‌ای است که در مراحل ساخت، مونتاژ و یکپارچه‌سازی یا آزمون قطعات اپتیکی ایجاد می‌شوند.

تشکیل نهشت‌های ناشی از لیزر می‌تواند به عملکرد بد دستگاه اپتیکی بیانجامد. آشفتگی فازی، پراکندگی و جذب می‌تواند به‌وسیلهٔ LIMC افزایش یابد. هنگامی که یک سامانه لیزری با طول‌موج کوتاه و دیرش[1] تپ کوتاه در خلأ کار می‌کند، LIMC از اهمیت خاصی برخوردار است. در چنین مواردی، حتی فشار پاره‌ای[2] کوچک مواد آلاینده در گستره 10^{-5} hPa می‌تواند تاثیر منفی بزرگی بر عملکرد اپتیکی داشته باشد. همچنین، نشان داده شده است که در صورت وجود نهشت‌های ناشی از لیزر، آستانه تخریب ناشی از لیزر می‌تواند با ضریب ۱۰ یا بیشتر، کاهش یابد.

آلودگی مولکولی ناشی از لیزر و تخریب ناشی از لیزر هر دو پدیده‌هایی هستند که در آن‌ها برهم‌کنش تابش لیزری با سطوح اپتیکی، البته با آلودگی‌های مولکولی اضافی برای LIMC، نقش بزرگی ایفاء می‌کند. بنابراین، این استاندارد همراه با استاندارد ISO 21254 (تمام قسمت‌ها) که روش‌های آزمون برای تعیین آستانه‌های تخریب ناشی از لیزر را مشخص می‌کند، به‌کار می‌رود.

این روش برای ارزیابی کیفی این موضوع فراهم آمده که آیا ماده تحت بررسی در شرایط فشار محیطی پایین در حضور تابش لیزر تپی نانوثانیه‌ای پرانرژی در طول موج ۳۵۵ nm روی سطوح اپتیکی نهشت ایجاد می‌کند. به‌دلیل طبیعت واکنش‌های سطحی نورشیمیایی[3]، نمی‌توان این نتایج را مستقیماً در مواردی که در آن‌ها ویژگی‌های نور تابشی تغییر کرده است (به‌ویژه طول‌موج، آهنگ تکرار، دیرش تپ و ...)، به‌کار گرفت. به‌دلیل رشد غیرخطی آلودگی‌های ناشی از لیزر و روش‌های آشکارسازی آن، این فناوری یک ابزار کمّی برای

1- Duration
2- Partial pressure
3- Photochemical

ارزیابی نهشت فراهم نمی‌کند و بنابراین توصیه می‌شود به‌عنوان وسیله‌ای برای مقایسه نسبی مواد برحسب رفتار آلایندگی ناشی از لیزر آن‌ها تلقی شود.

به‌علاوه، این استاندارد برای انتخاب مقادیر معرف مواد آلاینده، نسبت به فشار پاره‌ای مواد در نزدیکی سطوح اپتیکی در یک سامانه لیزری واقعی، کاربرد ندارد. این مقدار با روش‌های دیگر با دقت به‌دست می‌آید و یک پارامتر الزامی است که باید پیش از به‌کارگیری این روش تعیین شود.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

درصورتی‌که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 11145, Optics and photonics— Lasers and laser-related equipment— Vocabulary and symbols

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۷۳۶: سال ۱۳۹۶، اپتیک و فوتونیک - لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر– واژگان و نمادها، با استفاده از استاندارد ISO 11145: 2016 تدوین شده است.

2-2 ISO 21254 (all parts), Lasers and laser-related equipment— Test methods for laser-induced damage threshold

یادآوری- مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۸۵۴۷، لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر، با استفاده از استانداردهای ISO 21254 تدوین شده‌اند:

- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۸۵۴۷: سال ۱۳۹۳، لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر – روش‌های آزمون برای آستانه تخریب ناشی از لیزر – قسمت ۱: تعاریف و اصول کلی، با استفاده از استاندارد ISO 21254-1: 2011 تدوین شده است.
- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۸۵۴۷: سال ۱۳۹۲، لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر– روش‌های آزمون برای آستانه تخریب ناشی از لیزر – قسمت ۲: تعیین آستانه، با استفاده از استاندارد ISO 21254-2: 2011 تدوین شده است.
- استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۸۵۴۷: سال ۱۳۹۲، لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر – روش‌های آزمون برای آستانه تخریب ناشی از لیزر – قسمت ۳: تضمین قابلیت کار با توان (انرژی) تابش لیزر، با استفاده از استاندارد ISO 21254-3: 2011 تدوین شده است.
- استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۸۵۴۷: سال ۱۳۹۶، لیزر و تجهیزات مرتبط با لیزر– روش‌های آزمون برای آستانه تخریب ناشی از لیزر – قسمت ۴: بررسی، تشخیص و اندازه‌گیری، با استفاده از استاندارد ISO/TR 21254-4: 2011 تدوین شده است.

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، علاوه بر اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استانداردهای ISO 11145 و ISO 21254، اصطلاحات با تعاریف زیر نیز به‌کار می‌رود:

۱-۳

نهشت ناشی از لیزر

laser-induced deposition

رشد مواد روی سطوح اپتیکی در نتیجه ساز وکارهای نورشیمیایی یا نورگرمایی ایجاد شده به‌وسیله برهم‌کنش تابش لیزری با مولکول‌های فرار ناشی از فرآیند گازپراکنی، به‌ویژه در مواد آلی می‌باشد.

۲-۳

فلورسانس ناشی از لیزر

laser-induced fluorescence

گسیل نور از ماده‌ای که با جذب تابش الکترومغناطیسی به حالت‌های تک‌تایه[1] برانگیخته شده است.

۴ نمادها و کوته‌نوشت‌ها

در این استاندارد، نمادها و کوته‌نوشت‌های زیر به‌کار می‌رود:

جدول ۱- فهرست نمادها

نماد	یکا	اصطلاح
α	rad	زاویه فرود
d	m	قطر باریکه
N_p	--	تعداد تپ‌ها
H_{peak}	J/m^2	چگالی انرژی قله
τ	s	دیرش تپ
f_p	Hz	آهنگ تکرار تپ
E	J	انرژی تپ
p	Pa	فشار
T_c	K	دمای آلاینده
λ	m	طول‌موج

1- Singlet

۵ روش آزمون

۵-۱ چیدمان آزمون

۵-۱-۱ محفظه خلأ

یک نمونه چیدمان برای آزمون‌های مربوط به قطعات اپتیکی پادبازتاب (زاویه فرود: صفر درجه) در شکل ۱ نشان داده شده است. بخش اصلی آن یک محفظهٔ خلأ بسیار بالا است. توصیه می‌شود از نبود هرگونه مواد آلی در این محفظه اطمینان حاصل شود. به‌ویژه توصیه می‌شود از سامانه تخلیه (خلأسازی) غیرروغنی و آب‌بندی فلزی به جای اورینگ‌های پلاستیکی استفاده شود. به‌طور خاص، توصیه می‌شود از استفاده مواد با پایه سیلیکون (مثل روغن‌ها پمپ) مطلقاً اجتناب شود. معمولاً سیلیکون‌ها دارای فشار بخار بسیار پایینی هستند و درصورت آلودگی محفظه آزمون با آن، زدودن آن‌ها بسیار دشوار است. علاوه بر این، سیلیکون‌ها به عنوان موادی شناخته می‌شوند که حتی در هوا یا اتمسفر اکسیژنی، نهشت‌های ناشی از لیزر تولید می‌کنند. در مقابل، در هیدروکربن‌ها، تشکیل نهشت‌های ناشی از لیزر دست‌کم در مورد تابش‌های لیزری فرابنفش به‌وسیله اکسیژن شدیداً کاهش یافته یا کاملاً متوقف می‌شود. محفظه خلأ از اجزای فولاد زنگ‌نزن و آب‌بندی مسی، برای نمونه براساس استاندارد CF[1]، ساخته شده است. سامانه تخلیه شامل یک پمپ توربومولکولار[2] و یک پیش‌پمپ[3] بدون روغن (مانند پمپ اسکرول[4]) است. توصیه می‌شود برای اندازه‌گیری فشار از فشارسنج‌های پیرانی[5]، پنینگ[6] یا خازنی استفاده شود. علاوه‌برآن، می‌توان از حسگر کریستالی کوارتز میکروبالانس (QCM)[7] و/یا طیف‌سنج جرمی برای تعیین آهنگ گازپراکنی و ترکیب مواد آلاینده استفاده کرد. اگر فشار کل کمتر از 10^{-5} hPa باشد، می‌توان فشار پاره‌ای مواد آلاینده در محفظه اصلی را با استفاده از طیف‌سنج جرمی تعیین کرد. اگر فشار کل بالاتر باشد، توصیه می‌شود از طیف‌سنج جرمی با تخلیه تفاضلی استفاده شود. نگهدارنده نمونه اپتیکی تحت آزمون، در مرکز محفظه خلأ قرار می‌گیرد. این نگهدارنده می‌تواند به‌وسیله یک اتصال توگذر[8] خلأ در جهت افقی حرکت کند. این قابلیت، اجرای آزمون‌های متوالی در نقاط مختلف سطح نمونه را بدون بر هم زدن خلأ امکان‌پذیر می‌سازد. نمونه آلاینده تحت آزمون در یک محفظه چشمه کوچک که با یک شیر سوزنی[9] از محفظه اصلی جدا شده است، قرار می‌گیرد. برای تسریع گازپراکنی، محفظه ماده آلاینده می‌تواند توسط نوارهای گرمایشی الکتریکی از بیرون گرم شود. توصیه می‌شود شارش جرمی به محفظه اصلی به‌وسیله یک شیر سوزنی تنظیم شود تا فشار پاره‌ای مواد آلاینده در

1- ConFlat
2- Turbomolecular pump
3- Forepump
4- Scroll pump
5- Pirani
6- Penning
7- Quartz Crystal Microbalance
8- Feedthrough
9- Needle valve

محفظه اصلی دارای ثبات زمانی باشد. چیدمان آزمون اصلاح شده برای بررسی قطعات اپتیکی دارای بازتاب بالا (HR)[1] در زاویه ۴۵ درجه در شکل ۲ نشان داده شده است.

۵-۱-۲ چشمه لیزری و خط باریکه اپتیکی

همان‌طور که قبلاً در مقدمه گفته شد، در تابش فرابنفش،LIMC به‌طور خاص مسئله‌ساز است. بنابراین، در ادامه، یک چشمه لیزری و یک خط پرتو اپتیکی برای نور تپی ۳۵۵ nm تشریح شده است. اما برای سایر چشمه‌های لیزری و قطعات اپتیکی در خط باریکه مربوطه، آزمون‌های LIMC نیز می‌توانند برای دیگر طول‌موج‌ها، تپی یا پیوسته، انجام شوند. برای بررسی LIMC در طول‌موج فرابنفش، لیزر تپی Nd: YAG با واحدهای متوالی دو برابر و سه برابر کننده بسامد می‌تواند مورد استفاده قرارگیرد. برای ایجاد قطر باریکه مورد نیاز، می‌توان تلسکوپ گالیله‌ای نصب کرد. با تضعیف‌کنندهٔ اپتیکی شامل تیغه نیم‌موج و قطبنده، می‌توان انرژی و توان تپ را بدون تغییر عمده در نیم‌رخ باریکه تغییر داد. با باریکه‌شکاف[2] ٪ ۵۰ می‌توان دو باریکه یکسان ایجاد کرد. یکی از باریکه‌ها، باریکه اندازه‌گیری واقعی برای نمونه اپتیکی تحت آزمون است؛ باریکه دیگر به‌عنوان مرجع استفاده می‌شود. باریکه مرجع فقط از محفظه خلأ، به‌جز نمونه اپتیکی، عبور می‌کند. عدسی‌های کانونی‌کننده تضمین می‌کنند که قطر باریکه روی پنجره‌ها بزرگتر از روی نمونه باشد. در نتیجه، چگالی توان لیزر روی پنجره‌ها کمتر از روی نمونه است، و آلودگی به‌طور عمده روی نمونه و نه روی پنجره‌ها شکل می‌گیرد. توصیه می‌شود برای کاهش بیشتر رشد آلودگی، پنجره‌ها گرم شوند. فلنج‌های پنجره‌ای سازگار با خلأ استاندارد را می‌توان تا دمای ۲۰۰ °C گرم کرد.

با استفاده از باریکه شکاف‌های بیشتر، می‌توان باریکه‌ها را بیشتر تقسیم کرد و نمونه‌های بیشتری را به‌طور هم‌زمان تحت آزمون قرار داد.

۵-۲ چیدمان برای داده‌برداری

۵-۲-۱ پایش نیم‌رخ باریکه

پیش از آزمون، یک گُوِه داخل خط باریکه بین عدسی‌های کانونی‌کننده و محفظه خلأ قرار داده می‌شود. (به شکل ۳ مراجعه شود). نیم‌رخ باریکه به‌وسیله دوربین CCD[3]، که به گونه‌ای قرار می‌گیرد که طول راه نوری، l_1، بین گُوِه و دوربین با طول زاه نوری، l_2، بین گُوِه و نمونه اپتیکی برابر باشد، پایش می‌شود، به این ترتیب نیم‌رخ باریکه اندازه‌گیری شده، نشان دهنده نیم‌رخ باریکه در محل نمونه اپتیکی است. توصیه می‌شود برای تعیین پس‌زمینه، یک اندازه‌گیری با پرتو مسدودشده[4] انجام شود. توصیه می‌شود با برازش یک نیم‌رخ گاوسی بیضوی با نقاط داده اصلاح شده پس‌زمینه، محورهای کوچک و بزرگ نیم‌رخ برازش‌شده در $1/e^2$

1- High-Reflection
2- Beam splitter
3- Charge-Coupled Device
4- Blocked beam

شدت برآورد شوند. قطر مؤثر باریکه، d_{eff}، میانگین هندسی محور کوچک a و محور بزرگ b مطابق فرمول (۱) است:

$$d_{\text{eff}} = (a \times b)^{1/2} \qquad (۱)$$

۵-۲-۲ اندازه‌گیری انرژی تپ و تعیین تراگسیلش[1]

با گُوِه اپتیکی، بخشی از پرتو تقسیم نشده جدا و برای پایش برخط[2] انرژی تپ استفاده می‌شود. از این داده‌ها می‌توان انرژی فرودی بر نمونه اپتیکی را با کالیبره کردن به‌وسیله یک آشکارساز اضافی در خط باریکه بین عدسی کانونی‌کننده و محفظه خلأ به‌دست آورد (به شکل ۴ مراجعه شود). بدین‌طریق، می‌توان یک ضریب کالیبراسیون، $F_1 = E_4/E_1$ ، به‌دست آورد. برای کالیبراسیون انرژی تپ خروجی، ابتدا یک اندازه‌گیری با آشکارساز ۳ انجام می‌شود (به شکل ۵ مراجعه شود). بنابراین، آشکارساز ۵ در مسیر مستقیم باریکه خروجی آورده می‌شود و ضریب کالیبراسیون، $F_2 = E_5/E_3$، به‌دست می‌آید. در مدت آزمون LIMC، اندازه‌گیری‌های برخط با آشکارسازهای ۱ و ۳ تعیین مقادیر تراگسیلش را ممکن می‌سازد: $T = E_5/E_4 = (F_2/F_1) \times (E_3/E_1)$. برای باریکه مرجع نیز باید کالیبراسیون متناظر انجام شود. توصیه می‌شود اتلاف تراگسیلش به‌وسیله پنجره‌ها از داده‌های باریکه مرجع به‌دست آید و برای اصلاح مقادیر تراگسیلش باریکه اندازه‌گیری شده به منظور رسیدن به مقادیر تراگسیلش نمونه اپتیکی استفاده شود.

۵-۲-۳ پایش فلورسانس ناشی از لیزر

اگر آزمون‌های LIMC با نور لیزر فرابنفش انجام شود، توصیه می‌شود فلورسانس ناشی از لیزر برای پایش درجای[3] رشد نهشت استفاده شود. به محض اینکه مواد آلی روی سطح نهشته شوند، به‌وسیله لیزر فرابنفش برانگیخته و نور فلورسانس تابش می‌کنند. مناسب‌ترین آشکارساز نور فلورسانس، دوربین‌های CCD با تکثیرکننده الکترون یکپارچه[4] (EM-CCD) هستند. این دوربین ها دارای نسبت سیگنال به نوفه بسیار بالایی هستند و گستره دینامیکی بزرگی دارند. در طی آزمون LIMC، تصاویر فلورسانس در بازه‌های زمانی منظم (Δt = ۱ min تا ۱۰ min) ثبت می‌شوند. توصیه می‌شود برای حذف نور فرابنفش پراکنده شده، اپتیک ثبت‌کننده را به فیلتر مناسب مجهز کرد. شکل ۶ نمونه‌ای از تصویر فلورسانس را نشان می‌دهد. برای تجزیه و تحلیل کمّی، مقادیر شدت فلورسانس تمامی پیکسل‌ها در یک منطقه، B_1، شامل لکه فلورسانس با هم جمع می‌شوند تا I_1 به‌دست آید. برای تعیین پس‌زمینه، یک جمع شدت متناظر I_2 برای منطقه‌ای مانند، B_2، که مشابه منطقه B_1 ولیکن خارج از لکه فلورسانس است، محاسبه می‌شود. توصیه می‌شود مجموع شدت تصحیح‌شده پس‌زمینه، $I = I_1 - I_2$، برحسب زمان تابش به‌عنوان معیاری برای اندازه‌گیری رشد نهشت رسم شود.

---

1 -Transmission
2- Online
3- In-situ
4- Integrated electron multiplier

۵-۳ آماده‌سازی آزمون

۵-۳-۱ برشته‌سازی

برای جلوگیری از آلودگی ترکیبی مواد آلاینده باقی‌مانده از آزمون‌های قبل، محفظه خلأ قبل از هر آزمون جدید باید برشته شود. بنابراین، برای حصول اطمینان از توزیع دمایی همگن، تا حدامکان محفظه به‌طورکامل با نوارهای گرمکن پوشانده می‌شود. استفاده از گرمکن‌های فلنجی اضافی، گرمایش موثر فلنج‌های بزرگ را ممکن می‌سازد و از فرار گرما جلوگیری می‌کند. بیشینه دمای برشته‌سازی به اجزای محفظه خلأ بستگی دارد، به‌ویژه توصیه می‌شود پنجره‌ها، حسگرهای فشار و دیگر دستگاه‌های اندازه‌گیری در نظرگرفته شوند. توصیه می‌شود پیش از برشته‌سازی، کابل‌های حساس به گرما و جعبه حسگرها در صورت امکان جدا شوند. همچنین، توصیه می‌شود محدودیت‌های احتمالی تحمل دمایی، به ویژه برای پنجره‌ها مورد توجه واقع شود. اگر این مورد در نظر گرفته شود، محفظه‌های خلأ آب‌بندی‌شدهٔ فلزی، قابلیت گرم شدن تا ۲۰۰ °C را دارند. توصیه می‌شود زمان برشته‌سازی حداقل ۲۴ ساعت یا بیشتر باشد. توصیه می‌شود در حین برشته‌سازی سامانه تخلیه روشن باشد. پاکسازی[1] محفظه خلأ در حین برشته‌سازی با نیتروژن خشک می‌تواند حذف مولکول‌های گازپراکنی را تسهیل کند. توصیه می‌شود فشار محفظه خلأ پس از برشته‌سازی کمتر از 10^{-8} hPa باشد. پس از آن، توصیه می‌شود برای بررسی اثربخشی برشته‌سازی یک آزمون شاهد[2] (به زیر بند ۵-۳-۳ مراجعه شود) انجام شود.

۵-۳-۲ آماده‌سازی نمونه‌های اپتیکی

پیش از آزمون‌ها، توصیه می‌شود نمونه‌های اپتیکی تمیز شوند. بهتر است برای زدودن غبار و ذرات چسبنده نمونه اپتیکی با نیتروژن خشک دمیده شود. سپس، توصیه می‌شود نمونه اپتیکی با روش قطره و کشش[3] تمیز شود: با یک پیپت، یک قطره استن فوق خالص روی یک کاغذ تمیزکننده عدسی ریخته می‌شود. بخش مرطوب کاغذ بر روی نمونه اپتیکی قرار داده شده و به آرامی روی سطح کشیده می‌شود تا آنکه نمونه اپتیکی و کاغذ تقریباً خشک شوند.

علاوه بر آن، نمونه اپتیکی را می‌توان با اُزُن تمیز کرد. توصیه می‌شود اُزُن را از نورفرابنفش، مانند لامپ جیوه، فراهم کرد. نمونه‌های اپتیکی در مجاورت لامپ جیوه تا ۱۲ h در معرض اُزُن قرارداده می‌شوند.

پس از تمیزکردن، نمونه اپتیکی به روش تباین تداخل تفاضلی (DIC) بازرسی میکروسکوپی می‌شود (با حداقل بزرگ‌نمایی ۱۰۰). اگر آلودگی‌های باقی‌مانده یا رگه‌ها قابل تشخیص باشند، توصیه می‌شود روند تمیزکردن تکرار شود.

1- Purging
2- Blank test
3- Drop and drag

۵-۳-۳ آزمون شاهد

قبل از آزمون‌های LIMC باید آن‌چه «آزمون شاهد» نامیده می‌شود، انجام شود تا اطمینان حاصل شود که محفظهٔ خلأ عاری از مواد آلاینده باقی‌مانده از آزمون‌های LIMC قبلی است. آزمون شاهد بدون هیچ آلودگی، و در شرایطی مشابه با آزمون LIMC زمان‌بندی‌شده (شاریدگی، طول‌موج، آهنگ تکرار، نیم‌رخ و دیرش باریکه) انجام می‌شود. برای آزمون شاهد و آزمون LIMC، توصیه می‌شود از نمونه یا نمونه‌های اپتیکی مشابه از همان بهر[1] استفاده شود. تنها زمانی‌که هیچ آلودگی قابل تشخیصی وجود نداشته باشد، آزمون شاهد را می‌توان موفقیت‌آمیز در نظرگرفت. در غیر این صورت، باید آزمون شاهد تکرار شود.

۵-۴ آزمون LIMC

۵-۴-۱ پارامترهای آزمون

توصیه می‌شود آزمون با پارامترهای زیر مشخصه‌یابی شود:

الف- طول موج لیزر، λ؛

ب- دیرش تپ، τ؛

پ- آهنگ تکرار تپ، f_{p}؛

ت- قطر باریکه در صفحه هدف، d؛

ث- انرژی تپ، E؛

ج- زاویه فرود، α (برای مثال صفر درجه برای نمونه‌های لایه نشانی‌شده AR و 45° برای HR)؛

چ- دمای چشمه آلاینده، T_c؛

ح- فشار پاره‌ای گاز آلاینده، p؛

خ- دیرش برتابندگی، Δt؛

د- ابعاد نمونه اپتیکی (قطر، ضخامت)؛

ذ- لایه‌نشانی نمونه اپتیکی (بازتاب بالا[2]، پادبازتاب و غیره).

۵-۴-۲ مراحل جداگانه آزمون LIMC

توصیه می‌شود آزمون LIMC با پیروی از روش اجرایی زیر انجام شود:

- تمیزکاری نمونه اپتیکی (به زیربند ۵-۳-۲ مراجعه شود)؛

1- Batch
2- High-reflective

- تعیین جرم نمونه آلاینده؛
- نصب نمونه اپتیکی درون محفظه خلأ؛
- افزودن ماده آلاینده به چشمه آلاینده؛
- تخلیه محفظه خلأ ($p < 10^{-6}$ hPa)؛
- تعیین نیم‌رخ و تیزی[1] باریکه (به زیربند ۵-۲-۱ مراجعه شود)؛
- کالیبراسیون حسگرهای انرژی (به زیربند ۵-۲-۲ مراجعه شود)؛
- تنظیم فشار آلاینده؛
- تنظیم چگالی انرژی لیزر؛
- شروع تابش‌دهی؛

در مدت آزمون LIMC، توصیه می‌شود داده‌های زیر به‌صورت برخط ثبت شوند:

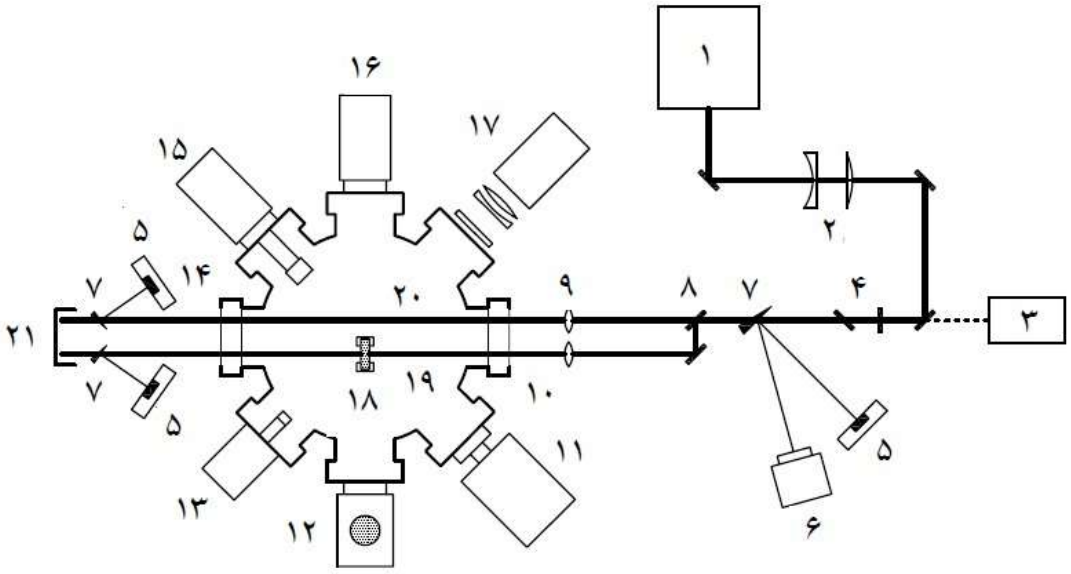
- تراگسیلش و بازتاب؛
- فلورسانس ناشی از لیزر (به زیربند ۵-۳-۲ مراجعه شود)؛
- فشار؛
- دما؛
- آهنگ گازپراکنی (QCM)؛

پس از پایان آزمون، توصیه می‌شود نمونه‌های اپتیکی به روش دگرجا[2] به‌تفضیل بررسی شوند. توصیه می‌شود نهشت‌های ناشی از لیزر بر روی نمونه‌های اپتیکی به روش فلورسانس و DIC بازرسی میکروسکوپی شوند. بازرسی میکروسکوپی فلورسانسی ابزاری حساس برای آشکارسازی مواد آلی است. حتی فیلم‌های نازک با ضخامت حدود چند نانومتر می‌توانند تشخیص داده شوند. برای تجزیه و تحلیل ساختار سطح، بازرسی میکروسکوپی تداخل نور سفید و نیروی اتمی می‌تواند مورد استفاده قرارگیرد. ترکیب شیمیایی نهشت‌های ناشی از لیزر می‌تواند با استفاده از طیف‌سنجی جرمی یون ثانویه زمان پروازی (TOF-SIMS)[3] یا دیگر روش‌های تحلیل سطح، تجزیه و تحلیل شود.

1- Caustic
2- Ex-situ
3- Time-of-Flight

۵-۵ ارزیابی نتایج آزمون

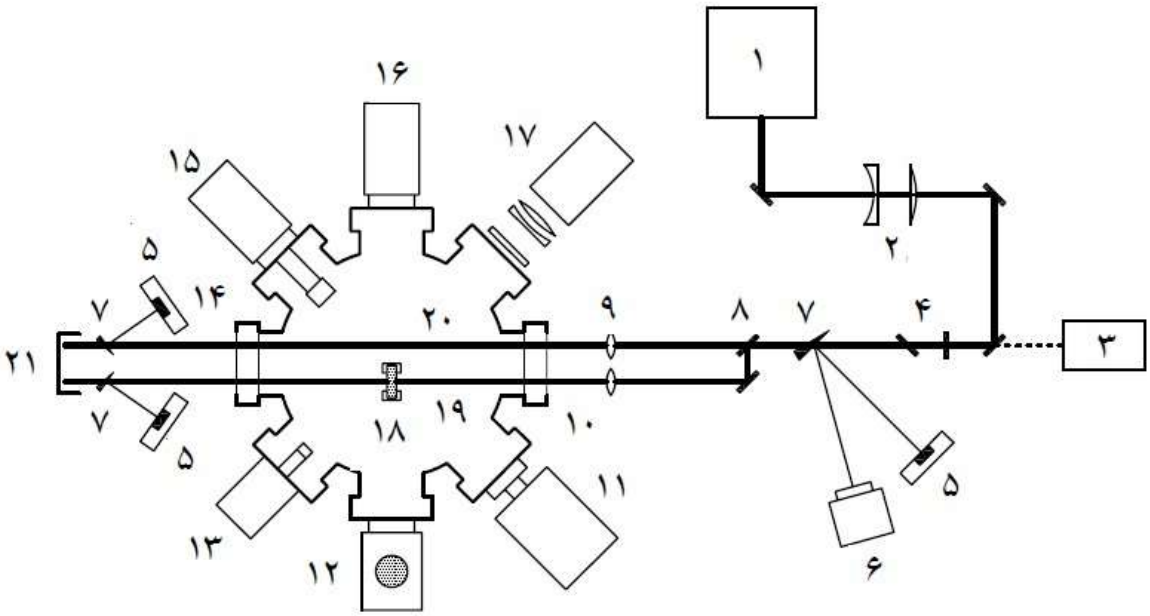
کاهش بازتابش برای اپتیک‌های لایه‌نشانی‌شده بازتاب بالا، یا کاهش تراگسیلش برای اپتیک‌های لایه‌نشانی‌شده پادبازتاب و افزایش شدت فلورسانس در مدت آزمون LIMC، نشانه‌های واضحی از شکل‌گیری نهشت‌های ناشی از لیزر می‌باشند. با مقایسه کاهش بازتابش یا تراگسیلش و شدت فلورسانس برای نمونه‌های اپتیکی مختلف مورد آزمون قرار گرفته در یک مرحله یا تحت شرایط یکسان، می‌توان کارکرد نمونه‌های اپتیکی آزموده شده را از نظر آلودگی مولکولی ناشی از لیزر ارزیابی کرد. کاهش ناگهانی تراگسیلش یا بازتابش، شاهد روشنی برای تخریب لایه‌نشانی است، که به‌طور بالقوه با تشکیل نهشت‌های ناشی از لیزر تشدید شده است.



راهنما :

۱	منبع لیزر	۱۲	منبع آلاینده
۲	تلسکوپ	۱۳	کریستال کوارتز میکروبالانس
۳	لیزر He-Ne	۱۴	پنجره خروجی
۴	تضعیف‌کننده	۱۵	طیف‌سنج جرمی
۵	آشکارساز انرژی	۱۶	سامانه پمپاژ (تخلیه)
۶	CCD (نیم‌رخ باریکه)	۱۷	EM-CCD (نمایشگر فلورسانس)
۷	گُوِه	۱۸	نمونه اپتیکی
۸	باریکه‌شکاف	۱۹	باریکه اندازه‌گیری
۹	عدسی‌های کانونی‌کننده	۲۰	باریکه مرجع
۱۰	پنجره ورودی	۲۱	مسدودکننده باریکه
۱۱	حسگر فشار		

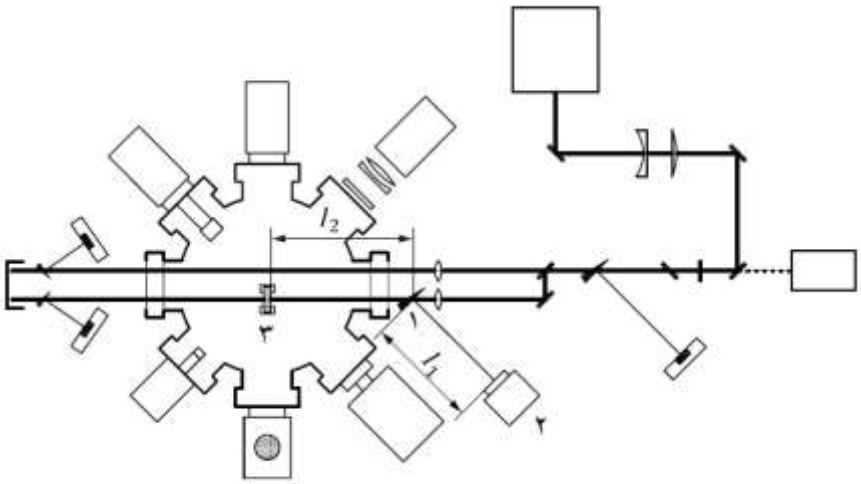
شکل۱ - چیدمان آزمایشی برای آزمون‌های LIMC نمونه‌های اپتیکی AR



راهنما

۱	منبع لیزر	۱۲	منبع آلاینده
۲	تلسکوپ	۱۳	پنجره خروجی
۳	لیزر He-Ne	۱۴	پنجره خروجی
۴	تضعیف‌کننده	۱۵	طیف‌سنج جرمی
۵	آشکارساز انرژی	۱۶	سامانه تخلیه
۶	CCD (نیم‌رخ باریکه)	۱۷	EM-CCD (نمایشگر فلورسانس)
۷	گُوِه	۱۸	نمونه اپتیکی
۸	باریکه‌شکاف	۱۹	باریکه اندازه‌گیری
۹	عدسی‌های کانونی‌کننده	۲۰	باریکه مرجع
۱۰	پنجره ورودی	۲۱	مسدودکننده باریکه
۱۱	حسگر فشار		

شکل۲ - چیدمان آزمایشی برای آزمون‌های LIMC نمونه‌های اپتیکی HR، ۴۵ درجه



راهنما

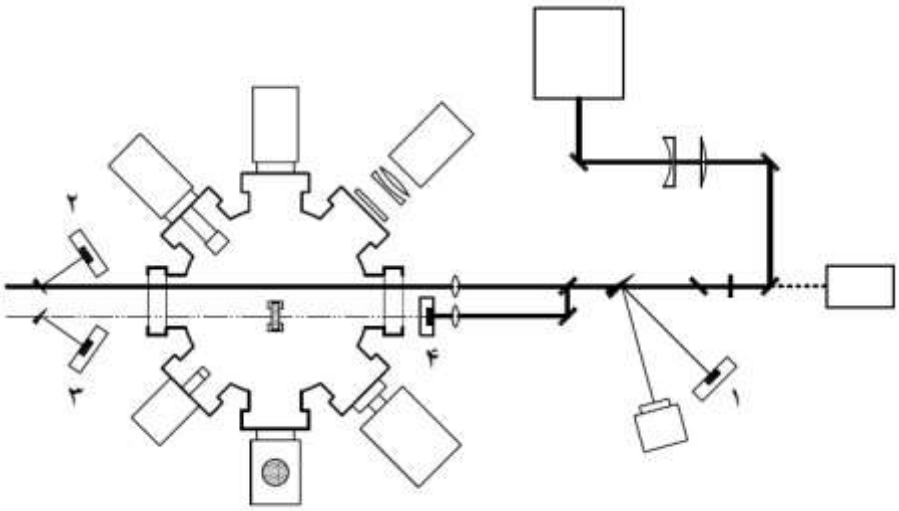
:

۱ گُوِه

۲ دوربین CCD

۳ نمونه اپتیکی

شکل ۳ – اندازه‌گیری نیم‌رخ باریکه



راهنما :

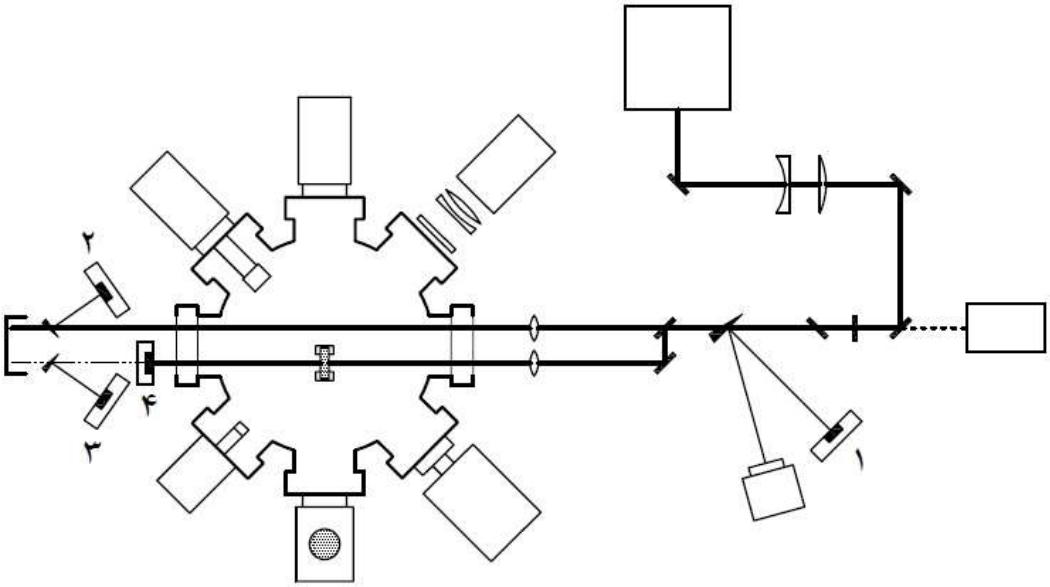
۱ آشکارساز انرژی ۱

۲ آشکارساز انرژی ۲

۳ آشکارساز انرژی ۳

۴ آشکارساز انرژی ۴

شکل ۴ – کالیبراسیون انرژی تپ ورودی

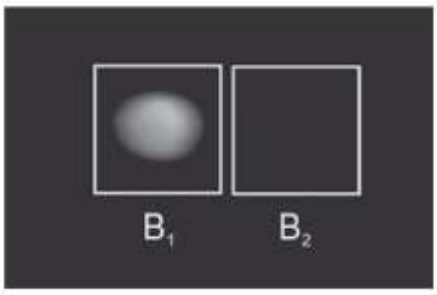


راهنما :

۱	آشکارساز انرژی ۱
۲	آشکارساز انرژی ۲
۳	آشکارساز انرژی ۳
۴	آشکارساز انرژی ۴

شکل۵- کالیبراسیون انرژی تپ خروجی

الف- نمونه‌ای از تصویر فلورسانس ناشی از لیزر روی نمونه اپتیکی ایجاد شده به‌وسیله آلاینده مولکولی ناشی از لیزر



ب- نواحی موردنظر برای محاسبه شدت فلورسانس و پس‌زمینه

شکل۶ – نمونه‌ای از تصویر فلورسانس

کتاب‌نامه

[1] ISO 11146-1, Lasers and laser-related equipment — Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios — Part 1: Stigmatic and simple astigmatic beams

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۱۷۱۰: سال ۱۳۸۷، لیزرها و تجهیزات مرتبط –روش‌های آزمون برای تعیین پهنا، زوایای واگرایی و نسبت انتشار پرتو لیزر – قسمت ۱ : پرتوهای آستیگماتیک و آستیگماتیک ساده، با استفاده از استاندارد ISO 11146-1: 2005، تدوین شده است.

[2] ISO 15388, Space systems— Contamination and cleanliness control

[3] ISO 14644-8, Cleanrooms and associated controlled environments— Part 8: Classification of air cleanliness by chemical concentration (ACC)

یادآوری- استاندارد ملی ایران شماره ۸-۶۲۵۲: سال ۱۳۹۵، اتاق‌های تمیز و محیط‌های کنترل شده - قسمت ۸: طبقه‌بندی تمیزی هوا بر اساس غلظت مواد شیمیایی، با استفاده از استاندارد ISO 14644-8: 2013، تدوین شده است.

[4] ASTM E595-07, Standard test method for total mass loss and collected volatile condensable materials from outgassing in a vacuum environment

[5] ASTM E1559-09, Standard test method for contamination outgassing characteristics of spacecraft materials

[6] ECSS-Q-ST-70-02C, Space product assurance— Thermal vacuum outgassing test for the screening of space materials