INSO
19388-3
1st. Edition
2014

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

استاندارد ملی ایران
۱۹۳۸۸-۳
چاپ اول
۱۳۹۳

اپتیک و فوتونیک – آرایه ریزعدسی
قسمت ۳:
خواص نوری غیر از بیراهی‌های جبهه موج – روش‌های آزمون

Optics and photonics - Microlens arrays – Part 3: Optical properties other than wavefront aberrations - Test methods

ICS: 31.260

به‌نام خدا

آشنایی با سازمان استاندارد ملی ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با یادآوری به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود .پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی 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 می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود .بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شود که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که مؤسسه استاندارد تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1] کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن یادآوری به شرایط کلی و نیازمندی های های خاص کشور، از آخرین پیشرفتهای علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بینالمللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان استاندارد ملی ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشو ر و / یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سا زمانها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش ، مؤسسهٔ استاندارد این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آنها نظارت می کند .ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (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 Electro technical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organization International de Metrology Legal)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

"اپتیک و فوتونیک _آرایه ریزعدسی‌ها-

قسمت ۳- خواص نوری غیراز بیراهی‌های جبهه موج _ روش‌های آزمون"

	سمت و/ یا نمایندگی
رئیس:	
حسنی، کامران (دکترای مهندسی پزشکی)	هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
دبیر:	
توکلی گلپایگانی، علی (دکترای مهندسی پزشکی)	هیئت علمی پژوهشگاه استاندارد
اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
پرند، فرشته آزادی (دکترای مهندسی کامپیوتر)	هیئت علمی دانشگاه علامه طباطبایی
رحمنی، سعید (کارشناس ارشد اپتومتری)	هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
رشیدی، یونس (کارشناس مهندسی مکانیک)	شرکت پرشیا آزما سیستم
عجمی، عاطفه (کارشناس ارشد فیزیک)	مدیر آزمایشگاه اپتیک جهاد دانشگاهی دانشگاه شریف
قلی پور، مسعود (کارشناس حقوق)	بازرس اتحادیه عینک سازان
محمدی لیواری، احد (کارشناس ارشد فیزیک)	سازمان ملی استاندارد مرکز اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاسها
مجدآبادی، عباس (دکترای فیزیک لیزر)	هیئت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

موحدی، محمد مهدی
(کارشناس ارشد مهندسی پزشکی)
هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی شیراز

نخعی، کوروش
(دکترای مهندسی پزشکی)
هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر

هاشمی عراقی، محمدرضا
(کارشناس فیزیک کاربردی)
سازمان ملی استاندارد مرکز اندازه‌شناسی، اوزان و مقیاسها

پیش گفتار

استاندارد « اپتیک و فوتونیک – آرایه ریزعدسی، قسمت ۳: خواص نوری غیر از روش بیراهی‌های جبهه موج _ روش‌های آزمون » که پیش نویس آن درکمیسیون های مربوط تهیه و تدوین شده و در چهار صد و شصت و هشتمین اجلاس کمیتهٔ ملی استاندارد مهندسی پزشکی مورخ ۹۳/۹/۹ مورد تصویب قرار گرفته است، اینک به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ ، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد یادآوری قرار خواهد گرفت . بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و ماخذی که برای تهیهٔ این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 14880-3:2006; Optics and photonics -- Microlens arrays -- Part 3: Test methods for optical properties other than wavefront aberrations

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ب
کمیسیون فنی تدوین استاندارد ج
پیش گفتار و
مقدمه ز
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات، تعاریف و نمادها ۳
۴ آزمون زیرلایه ۳
۵ روش آزمون میکروسکوپی ۴
۱.۵ اصول آزمون ۴
۲.۵ چیدمان اندازه‌گیری و وسایل آزمون ۵
۳.۵ آماده‌سازی ۷
۶ روش و رویه ۷
۱.۶ کلیات ۷
۲.۶ اندازه‌گیری فاصله کانونی موثر عقبی یا جلویی ۷
۳.۶ اندازه‌گیری بیراهی رنگی ۸
۴.۶ اندازه‌گیری یکنواختی موقعیت‌های مربوط به نقطه کانونی ۹
۷ نتایج و عدم‌قطعیتها ۹
۸ کیفیت تصویربرداری و بازده جفت‌شدگی ۹
۹ گزارش آزمون ۱۰
پیوست الف (اطلاعاتی) اندازه‌گیری‌ها با سیستم‌های اندازه‌گیری جبهه موج
پیوست ب (الزامی) اندازه‌گیری هم کانون فاصله کانونی جلویی یا عقبی مربوط به آرایه عدسی‌های نوری
پیوست پ (اطلاعاتی) بازده جفت‌شدگی و کیفیت عکس
پیوست ت (الزامی) اندازه‌گیری یکنواختی موقعیت‌های نقطه کانونی یک آرایه ریزعدسی

مقدمه

این استاندارد بیانگر روش های اندازه‌گیری خواص اپتیکی آرایه‌های ریزعدسی بجز آزمون بیراهی‌های جبهه موج می‌باشد. مثال‌های مربوط به کاربرد آرایه‌های ریزعدسی شامل نمایشگرهای سه بعدی، جفت‌کننده‌های اپتیکی بین منابع نور و آشکارسازهای نوری، نمایشگرهای اپتیکی کریستال‌های مایع و المانهای موازی پردازش نور می‌باشد. آزمون ریزعدسی‌ها در عمل مشابه اصول کلی و بنیانی اندازه‌گیری سایر عدسی‌ها است. پارامترهای مشابهی باید اندازه‌گیری شده و تکنیک‌های یکسان در اندازه‌گیری استفاده می‌شود. اما در عمل در بسیاری حالات، مشکلاتی ظاهر می‌شود که سبب می شود وسایل اندازه‌گیری استاندارد موجود در اندازه-گیری جهت عدسی‌های با اندازه معمولی برای عدسی‌های خیلی کوچک کاربرد نداشته باشند.

بازار آرایه‌های ریزعدسی پذیرش روش‌های آزمون و یک تعریف جامع و یکسان را در این ارتباط بوجود آورده است. معرفی مفاهیم روشن و واضح و واژگان فنی یکسان و استاندارد نه تنها جهت ارتقاء کارکردها بلکه برای دانشمندان و مهندسین برای تبادل آراء و مفاهیم جدید بر پایه فهم و درک مشترک الزامی می‌باشد.

هدف این استاندارد ملی تطابق و افزایش سازگاری و یا توانایی تعویض آرایه های ریزعدسی با توجه به وجود تولیدکنندگان متفاوت در سطح دنیا و نیز پیشرفت و توسعه مستمر فنآوری مربوط به این آرایه ها می‌باشد.

این استاندارد در راستای اهداف سری استانداردهای ملی ایران شماره ... و سری استاندارد ISO 14880 ارائه شده و هدف آن تطابق و افزایش سازگاری و یا توانایی تعویض آرایه‌های ریزعدسی با توجه به وجود تولیدکنندگان متفاوت در سطح دنیا و نیز پیشرفت و توسعه مستمر فنآوری مربوط به این آرایه‌ها می‌باشد.

اندازه‌گیری فاصله کانونی در متن این استاندارد بیان شده است و استفاده از یک تکنیک جایگزین (به‌نام تداخل‌سنجی) در پیوست الف آورده شده است. اندازه‌گیری فاصله کانونی یک آرایه ریزعدسی‌ها (بااستفاده از تکنیک هم‌کانونی) در پیوست ب بیان شده است. بازده جفت شدگی و کیفیت تصویربرداری در پیوست پ بیان می‌شود. به طور موازی، اندازه‌گیری موقعیت‌های مربوطه به نقطه کانونی یک آرایه ریزعدسی با استفاده از ابزار شاک_هارتمن در پیوست ت شرح داده شده است.

اپتیک و فوتونیک _ آرایه‌های ریزعدسی
قسمت ۳:
خواص نوری غیراز روش بیراهی‌های جبهه موج _ روش‌های آزمون

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، تعیین روش‌های خواص نوری به غیراز روش آزمون بیراهی‌های جبهه موج برای ریزعدسی‌ها در آرایه‌های ریزعدسی است. این استاندارد در مورد آرایه‌های ریزعدسی با عدسی‌های خیلی کوچک که روی یک یا چند سطح از یک زیرلایه مشترک قرار گرفته‌اند و نیز در مورد ریزعدسی‌هایی با ضریب شکست تدریجی کاربرد دارد.

۲ مراجع اصلی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آنها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات، جزئی از این استاندارد ملی محسوب می شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه های بعدی آنها مورد نظر است.

استفاده از مرجع زیر برای این استاندارد الزامی است.

2-1 ISO 14880-1, Optics and photonics -- Microlens arrays -- Part 1: Vocabulary

2-2 ISO 101105, Optics and optical instruments – Preparation of drawings for optical elements and systems – part 5: Surface from tolerances

۳ اصطلاحات، تعاریف و نمادها

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف تعیین شده در استاندارد ISO 14880-1 بکار می‌رود.

۴ آزمون زیرلایه

کیفیت نوری یک زیرلایه در کیفیت موقعیت‌های کانونی ریزعدسی‌ها تاثیر داشته و بایستی مطابق استاندارد ISO 10110-5 کمیت سنجی و ارزیابی گردد.

۵ روش آزمون میکروسکوپی

۵-۱ اصول

اصل اساسی آزمون، جانمایی سطح ریزعدسی تحت آزمون بوسیله یک وسیله اپتیکی است. فاصله کانونی موثر جلویی و یا عقبی با اندازه‌گیری جابجایی محوری لازم برای جانمایی مکان کانون تعیین می شود.

۵-۲ چیدمان اندازه‌گیری و تجهیزات آزمون

۵-۲-۱ کلیات

آزمون ریزعدسی‌ها به طورکلی مشابه آزمون عدسی‌های بزرگتر است هرچند در بسیاری از موارد اندازه‌گیری عدسی‌های خیلی کوچک مسائل و مشکلات عملی را به همراه دارد که استفاده از تجهیزات استاندارد را در این زمینه مشکل می‌سازد. به طورکلی دو روش اپتیکی یکی بر اساس روش میکروسکوپی و دیگری بر اساس روش تداخل‌سنجی در این زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در روش اول از یک میکروسکوپ، با روش کانونی، برای جانمایی راس ریزعدسی استفاده می‌شود. فاصله کانونی موثر عقبی (جلویی) از اندازه‌گیری جابجایی لازم برای کانونی نمودن مجدد میکروسکوپ برروی تصویر از یک منبع نقطه‌ای دور همانطور که در شکل(۱) نشان داده شده است به دست می‌آید.

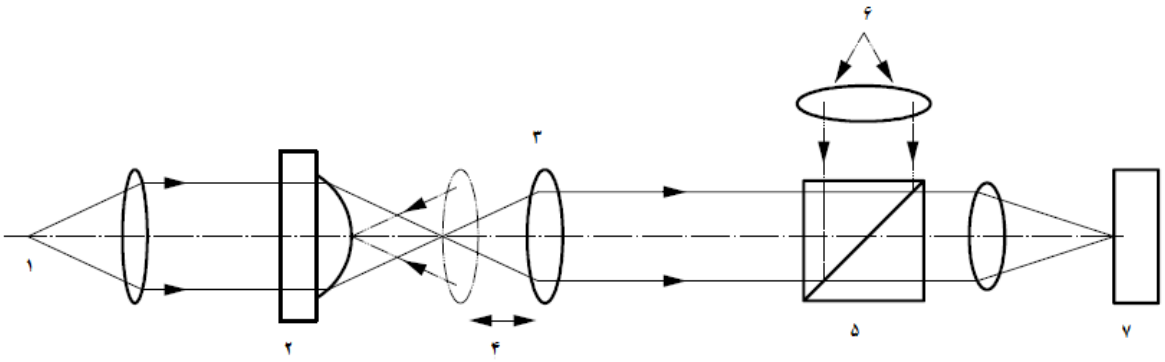
یک وسیله کمکی متمرکزکننده در میکروسکوپ مانند یک رتیکل تنظیم کننده میدان تقسیم‌شده[1] می‌تواند به طور واضح‌تری نوک راس ریزعدسی را در زمان مشاهده با نور منعکس شده جانمایی کند. برای اندازه-گیری‌های فاصله کانونی منبع نقطه‌ای می‌تواند نوک گسیلنده یک فیبر نوری یا یک رتیکل آزمون روشن باشد. آزمون‌ها با تابش نور سفید یا تکفام انجام می‌شوند.

روش دوم مشاهده جبهه موج برای جانمایی سطح آزمون یا مرکز انحنا می‌باشد. آزمون مکان‌یابی می‌تواند با کمک یکی از وسایل یا دستگاههای زیر انجام شود:

- تداخل‌سنج فیزیو[2]
- تداخل‌سنج تویمن _ گرین[3]
- تداخل‌سنج برش عرضی[4]
- دستگاه شاک _ هارتمن[5]

این موضوع به طور کامل در استاندارد ملی ایران شماره ... و استاندارد ISO/TR 14999-1 شرح داده شده است. یک مزیت تداخل‌سنجی این است که برای عدسی‌های با بیراهی زیاد، تغییرات فاصله کانونی با شعاع روزنه می‌تواند به سهولت از الگوی تداخلی نتیجه‌گیری شود. یکی از معایب این روش آن است که آزمون‌ها محدود به طول موج منبع نوری دستگاه تداخل‌سنج خواهند بود.

1 - Split-field focusing graticule
2 - Fizeau Interferometer
3 - Twyman-Green Interferometer
4 - Lateral Shearing Interferometer
5 - Shack-Hartmann Device



راهنما:

۱ منبع نور نقطه‌ای دور
۲ زیرلایه و ریزعدسی شکل‌دهنده نقطه کانونی
۳ شیئی میکروسکوپ
۴ تنظیم محوری میکروسکوپ برای جانمایی سطح عدسی و کانون
۵ تقسیم‌کننده پرتو
۶ منبع برای مکان‌یابی کانون روی سطح عدسی
۷ دوربین CDD[1]

شکل۱ – یک منبع نور موازی شده و میکروسکوپ استفاده شده برای اندازه‌گیری فاصله کانونی عقبی و جلویی یک ریزعدسی

بندهای ۵ تا ۹ برروش میکروسکوپی تمرکز دارند و روش تداخل‌سنجی در پیوست الف و روش شاک – هارتمن در پیوست ت توضیح داده شده‌اند. روش اندازه‌گیری هم‌کانونی فواصل کانونی موثر آرایه‌های عدسی در پیوست ب بیان شده است.

۵-۲-۲ سیستم آزمون

۵-۲-۲-۱ کلیات

سیستم آزمون شامل یک میکروسکوپ مجهز به ترانسدیوسر و سنسورهای جابجایی، منبع نوری مناسب، جسم مورد آزمون، دوربین ویدئویی میکروسکوپ، نمایشگر و پردازشگر تصویر (اسکن خطی شدت) می‌باشد.

۵-۲-۲-۲ میکروسکوپ

یک میکروسکوپ مجهز به ابزار جانبی تمرکزکننده مانند یک فاصله‌یاب تقسیم‌کننده تصویر لازم می‌باشد تا تنظیمات کانونی روی سطوح صاف و بدون برجستگی از قبیل راس سطح ریزعدسی فراهم گردد. طراحی مکانیکی باید طوری باشد که منبع نور نقطه‌ای دور یا رتیکل روشن آزمون دقیقا زیر صفحه حامل عدسی‌های

1 -Charge – coupled device

مورد استفاده در آزمون قرار گیرد. حالت ایده‌آل زمانی است که عدسی تحت آزمون بدون هیچگونه قطعه اپتیکی اضافی، مانند یک تیغه شیشه‌ای بین عدسی آزمون و منبع نورانی نقطه‌ای دور یا رتیکل آزمون نگهداری شود، میزان جابجایی صفحه آزمون نسبت به شیئی میکروسکوپ توسط یک ترانسدیوسر جابجایی کالیبره اندازه‌گیری می‌شود.
روزنه عددی شیئی میکروسکوپ باید بزرگتر از روزنه عددی عدسی تحت آزمون در نقطه کانونی باشد.

۵-۲-۲-۳ منبع نور

یک منبع انتشار نور در یک باند طول موج یا یک طول موج مشخص جهت انجام آزمون مورد استفاده قرار می‌گیرد. ویژگی‌های منبع نوری باید در قسمت نتایج آزمون آورده و گزارش شوند. نور سفید از طریق یک لامپ هالوژنی کوارتز به همراه یک مانع روزنه‌ای مناسب می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. هر جا که طول موج‌هایی در گستره محدود مورد نیاز باشد می‌توان از فیلترهایی با باند باریک استفاده نمود. از یک لیزر می‌توان برای تابش‌های تک‌رنگ با شدت‌های بالاتر استفاده نمود.

۵-۲-۲-۴ اجسام آزمون

منبع نقطه‌ای دور بااستفاده از انتشار نور از نوک یک فیبر نوری به طور تقریب قابل حصول است. برای اندازه‌گیری فاصله کانونی لازم است تا منبع نقطه‌ای دور هم‌محور با عدسی بوده و در فاصله نسبتاً زیادی نسبت به آن قرار گرفته باشد.
به عنوان جایگزین، جسم آزمون می‌تواند یک رتیکل باشد. این امر سبب می‌گردد تا خواص اپتیکی بتوانند در فرکانس‌های فضایی و زاویه‌های میدانی مشخص بررسی شوند. شناسایی نقطه کانونی از طریق آرایه آشکارساز قابل حصول است. ویژگی‌های منبع نقطه‌ای دور یا رتیکل آزمون باید در مستندات گزارش آزمون شرح داده شود.

۵-۲-۲-۵ نمایش تصویر

اگر تصویر ایجاد شده توسط میکروسکوپ توسط یک دوربین ویدئویی به صورت یک نمایش ویدئویی بازپخش گردد، یک نمایشگر الکترونیکی شدت می‌تواند برای مکان‌یابی بهترین موقعیت کانونی بکار گرفته شود. شدت تصویر در سیستم آشکارساز باید به گونه‌ای تنظیم گردد که یک پاسخ خطی از آشکارساز دریافت گردد.

۵-۲-۲-۶ سطوح استاندارد

یک ریزعدسی با فاصله کانونی معلوم در یک طول موج تعریف شده و مشخص برای کالیبراسیون و تایید عملکرد سیستم اندازه‌گیری بکار می‌رود. یک الگوی پله‌ای، به عنوان مثال دو صفحه شیشه‌ای نازک که با تماس نوری کنار هم نگه داشته شده و یک پله با ارتفاع معلوم ایجاد نموده‌اند، برای ارزیابی عملکرد سیستم اندازه‌گیری جابجایی خطی بکار گرفته می شود.

۵-۳ آماده‌سازی

برای حصول نتایج سازگار، تجهیزات آزمون باید در محیط کنترل شده دمایی با دمای ترجیحی ۲۰ درجه سلسیوس نگه‌داری شود و سیستم اندازه‌گیری نباید در معرض ارتعاش قرار گیرد.

سطوح اپتیکی تحت آزمون باید تمیز باشند. سطوح شیشه‌ای فاقد پوشش مجاز هستند تا با استفاده از پارچه پشمی نخی و الکل تمیز شوند. پارچه کتانی پشمی در مقدار خیلی کمی از حلال قبل از تماس با سطح خیس شده و تنها یک بار برروی سطح نوری کشیده شود و سپس دور انداخته شود. این عمل کمک می‌کند تا احتمال خراش سطح به حداقل برسد. با استفاده از یک برس از جنس موی شتر یا هوای فشرده تصفیه-شده می‌توان گردوغبار را پاک نمود.

درخصوص سطوح نوری پوشش‌دار مانند سطوح ضدبازتاب باید دقت زیادی مدنظر قرار گیرد و نباید تا زمانی که واقعاً لازم است آنها را تمیز کرد. برای برطرف نمودن گردوغبار از آنها استفاده از هوای تصفیه شده فشرده توصیه می‌گردد. اطلاعات لازم در خصوص استفاده صحیح از حلال‌ها و مواد پاک‌کننده باید لحاظ و مدنظر قرار گیرند.

۶ روش اجرایی

۶-۱ کلیات

سطح عدسی و زیرلایه مربوطه که قرار است تحت آزمون قرار گیرند تمیز شوند.

۶-۲ اندازه‌گیری فاصله موثر کانونی عقبی یا جلویی

روش‌های اجرایی کالیبراسیون استاندارد دستگاه، باید به طور متناوب انجام پذیرفته و عدم‌قطعیت کالیبراسیون برآورد گردد.

عملکرد سیستم آزمون با اندازه‌گیری فاصله موثر کانونی جلویی و عقبی مربوط به سطح کروی استاندارد مطابق روش زیر انجام و نتایج بدست‌آمده با مقدار معین مقایسه می‌گردد.

میکروسکوپ ابتدا روی سطح ریزعدسی متمرکز شده و سپس جابجا می شود تا برروی تصویر رتیکل یا منبع نقطه‌ای در فاصله نامتناهی کانونی گردد. بهترین محل کانون برای این تصویر با کمک یک دوربین یا نمایشگر دوربین[1] با اسکن خطی و متعاقب آن اندازه‌گیری میزان جابجایی برای بدست آوردن حداکثر شدت روشنایی برروی تصویر بدست می‌آید. در این راستا لازم است دوربین از تفکیک‌پذیری فضایی مناسبی برخوردار بوده تا تصویر تفکیک‌شده مناسبی بدست آید. جابجایی محوری با استفاده از ترانسدیوسر جابجایی بدست می‌آید.

---

1 -Vidicon

۶-۳ اندازه‌گیری بیراهی رنگی[1]

به طور معمول، ریزعدسی‌ها ساختاری نسبتا ساده دارند و نیازی به تصحیح بیراهی رنگی ندارند. فاصله کانونی با طول موج تابش تغییر خواهد کرد.

در مورد عدسی‌های معمولی، پرتویی در سطح مشترک بین دو محیط نوری با ضرایب شکست بطور واضح متفاوت منحرف می‌شود. مقدار فاصله کانونی مجاور محوری برای یک سطح کروی تنها با شعاع r از رابطه (۱) بدست می آید.

$$f = R[\eta_1(\lambda) - \eta_2(\lambda)] \qquad (۱)$$

که n_1 و n_2 ضریب شکست مربوط به دو محیط قبل و بعد از سطح مشترک در طول موج λ است. بیراهی رنگی عدسی توسط مشخصات پاشندگی دو محیط $[\eta_1(\lambda), \eta_2(\lambda)]$ تعیین می‌شود.

روش متعارف مشخص‌کردن پاشندگی مواد اپتیکی توسط عدد آبه[2] یا (υ) بیان می‌شود، که تعریف آن بر اساس مقدار ضریب شکست ماده در سه طول موج مختلف می‌باشد. برای مثال در سه طول موج ۴۸۰ nm و ۵۴۶ nm و ۶۴۴ nm، برای عدد آبه در خط e سبز جیوه برابر ۵۴۶ nm $= \upsilon_e$ است.

$$\nu_e = (n_{546} - 1)/(n_{480} - n_{644}) \qquad (2)$$

عدد آبه معمولاً بین ۲۰ و ۶۰ تغییر می‌کند و موادی با عدد آبه بالاتر، پاشندگی رنگی کمتری نسبت به مواد با عدد آبه پایین تر دارند. عدد آبه ماده یک ریزعدسی را می توان با اندازه‌گیری فاصله کانونی عدسی در طول موج‌های معین و به همراه ترکیب معادلات (۱) و (۲) بدست آورد:

$$\nu_{eff} = (1/f_{546})/(1/f_{480} - 1/f_{644}) \qquad (۳)$$

براساس انتخاب طول موج‌های مختلف، اعداد آبه مختلفی بدست می‌آید. شاید استفاده از منابع لیزری و تعریف عدد آبه در طول موج های آن اجرایی تر و عملی تر باشد. در بند (۶-۲) محاسبه فاصله کانونی یک عدسی با استفاده از تابش نور تک فام شرح داده شد. اندازه‌گیری توسط نور تک‌رنگ در طول موج‌های مختلف با همین روش تکرار می‌شود تا بیراهی رنگی عدسی مورد نظر بدست آید، که مقدار نهایی بیراهی از معادله (۴) بدست می‌آید.

$$\Delta S_z = S_z(\lambda_1) - S_z(\lambda_2) \qquad (۴)$$

1 - Chromatic aberration
2 - Abbe

که $S_z(\lambda)$ موقعیت کانون محوری و (λ_2, λ_1) طول‌موج‌های تابش بکار رفته بوده و $\lambda_1 > \lambda_2$ می‌باشد. در عمل، برای مقادیر مربوط به عملکرد عدسی باید به مقدار پراکندگی زیرلایه هم توجه شود. این روش براساس اندازه‌گیری تغییرات اندک فاصله کانونی با طول موج بناشده است و این مطلب مهم است که فاصله کانونی تا جای ممکن به درستی اندازه گیری شود تا عدم‌قطعیت عدد آبه کاهش یابد.

۶-۴ اندازه‌گیری یکنواختی موقعیت‌های نقطه کانونی

آرایه‌های ریزعدسی معمولاً برای اندازه‌گیری جبهه موج مانند آزمون شاک - هارتمن استفاده می‌شوند. جابجایی عرضی نقطه کانونی از محور نوری بیانگر زاویه مورب (یا شیب) موضعی جبهه موج تحت آزمون می‌باشد. لذا داده‌های قابل اعتماد مربوط به یکنواختی آرایه ریزعدسی (به سبب چیدمان منظم و مختصات موقعیت‌های مرکز روزنه عدسی برای هریک از تک عدسی‌ها در آرایه) امری مهم و اساسی برای اندازه‌گیری درست جبهه موج می‌باشد.

همخوانی تغییر مکان‌های موقعیت نقطه کانونی تک عدسی‌های یک آرایه مشخص‌کننده میزان یکنواختی آرایه است.

چیدمان آزمون در پیوست ت شرح داده شده است.

۷ نتایج و عدم‌قطعیت‌ها

متوسط یک دسته از مقادیر اندازه‌گیری شده مربوط به فاصله کانونی باید محاسبه و ثبت گردد. یک تحلیل آماری از واریانس مقادیر اندازه‌گیری شده باید صورت پذیرد و ارزیابی از برآورد انحراف معیار انجام شود. این فرآیند مشخص‌کننده سهم عدم‌قطعیت نوع A مربوط به عدم‌قطعیت گسترده است.(به منبع ۴ از کتابنامه مراجعه شود)

منابع نوعی برای عدم‌قطعیت در جدول یک آورده شده‌اند.

جدول (۱) – ملاحظات عدم‌قطعیت

منبع	نوع	حدود عدم قطعیت
اندازه‌گیری فاصله کانونی	A	از حداقل یک دسته شامل نه نمونه اندازه-گیری محاسبه می‌شود
کالیبراسیون	A/B	با نوع وسایل اندازه‌گیری و روش کالیبراسیون تغییر می‌کند

بهترین شرایط اندازه‌گیری بهینه می‌تواند توسط ثبت و کنترل دما و رطوبت نسبی در طی اندازه‌گیری صورت پذیرد و همیشه بایستی زمان لازم به دستگاه برای هم‌دمایی با محیط داده شود. خطای انحراف عدد آبه از طریق نزدیکی هرچه بیشتر ترانسدیوسر اندازه‌گیری جابجایی با محور اپتیکی به حداقل می‌رسد.

۸ کیفیت تصویر و بازده جفت‌شدگی[1]

ریزعدسی‌ها معمولاً برای موازی‌کردن نور از یک منبع کوچک مانند دیود لیزری، برای تمرکز نور بر روی یک روزنه کوچک و یا جفت‌کردن نور به یک فیبر استفاده می‌شوند. در کاربردهای دیگر ریزعدسی‌ها برای تولید تصاویر کوچک از یک جسم بکار گرفته می‌شوند. بنابراین ملاحظات مربوط به بازده جفت‌شدگی و کیفیت تصویر مربوط به آرایه‌های ریزعدسی در پیوست (پ) شرح داده می‌شوند.

۹ گزارش آزمون

نتایج آزمون باید ثبت شده و تا حدامکان شامل موارد زیر باشد.

الف- اطلاعات کلی

۱- آزمون باید مطابق این استاندارد ملی انجام شود.
۲- تاریخ کالیبراسیون، فرآیند کالیبراسیون و آزمون عدم‌قطعیت مربوط به کالیبراسیون
۳- تاریخ آزمون
۴- نام و آدرس سازمان انجام‌دهنده آزمون
۵- تاییدصلاحیت (در صورت ارتباط)
۶- نام شخص انجام‌دهنده آزمون

ب- اطلاعات درخصوص عدسی مورد آزمون:

۱- نوع عدسی
۲- سازنده
۳- مدل سازنده
۴- شماره سری

پ- شرایط محیطی آزمون:

۱- دما
۲- رطوبت نسبی

ت- اطلاعات مربوط به روش آزمون و ارزیابی:

۱- روش آزمون مورد استفاده
۲- سیستم اپتیکی مورد استفاده
۳- منبع نور:

---

1 - Coupling Efficiency

الف- نوع منبع

ب- طول موج

پ- ترانسدیوسر جابجایی مورد استفاده

ث- نتایج آزمون:

۱- فاصله کانونی موثر عقبی

۲- فاصله کانونی موثر جلویی

۳- تغییرمکان نقطه کانونی شامل ΔSy , ΔSx

۴- بیراهی رنگی (ΔSz)

۵- جدول عدم‌قطعیت

پیوست الف

(اطلاعاتی)

اندازه‌گیری‌ها براساس سیستم‌های اندازه‌گیری جبهه موج

الف-۱ اصول اندازه‌گیری تداخل‌سنجی

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری فاصله کانونی عدسی‌ها وجود دارد(به منبع ۵ از کتابنامه مراجعه شود). فاصله کانونی جلویی (عقبی) با استفاده از تداخل‌سنج قابل اندازه‌گیری است. تعیین راس سطح عدسی و پیدا نمودن بهترین نقطه کانونی بااستفاده از یک ترانسدیوسر جابجایی خطی برای اندازه‌گیری طول به این مسئله کمک می‌کند. یکی از وسایل زیر می‌تواند برای این منظور به کار رود.

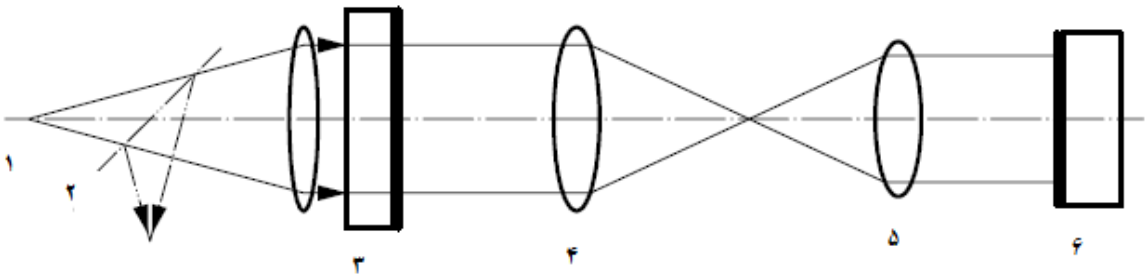
- تداخل‌سنج فیزیو
- تداخل‌سنج تویمن - گرین
- تداخل‌سنج برش عرضی
- دستگاه شاک – هارتمن

استفاده از یک تداخل‌سنج فیزیو در اینجا به عنوان مثال توضیح داده می‌شود. یک دسته پرتو موازی از یک منبع نور همدوس از یک مرجع تخت بازتابیده می‌شود تا یک جبهه موج مرجع را بوجود آورد. توسط یک عدسی با کیفیت بالا نور انتقالی بر روی یک نقطه متمرکز می‌شود که این نقطه جهت شناسایی و یافتن موقعیت سطح عدسی و نقطه کانونی بکار گرفته می‌شود. الگوهای تداخلی برای مشخص نمودن هر دو نقطه مورد نظر به تصویر کشیده می‌شوند.

یادآوری- برای ریزعدسی‌های با بیراهی به شدت بالا، فاصله کانونی مؤثری که در استاندارد *ISO 14880-1* بیان شده است می‌تواند به طور قابل توجهی با مقادیری که برپایه معیارهای بیراهی جبهه موج مشخص شده اختلاف داشته باشد.

الف-۲ چیدمان اندازه‌گیری و تجهیزات آزمون

تداخل‌سنج فیزیو در شکل (الف-۱) نشان داده شده است. به طور کلی، تداخل‌سنج‌های معمول و دردسترس، خصوصا تداخل‌سنج فیزیو برای آزمون عدسی‌هایی با اندازه‌های معمول، ممکن است به ظاهر برای اندازه‌گیری‌های ریزعدسی‌ها نیز مناسب باشند. اما در عمل بازتابهای سرگردان از سطوح ثانویه در نزدیکی سطح تحت آزمون ممکن است سبب بروز برخی مشکلات شوند. خاصیت بزرگنمایی نسبتاً بالای موجود ممکن است سبب بروز مشکلاتی در مورد تمرکز بر روی سطوح تحت آزمون ریزعدسی گردد. تداخل‌سنج‌هایی که برای ریزسطحها طراحی شده‌اند بر این‌گونه مشکلات غلبه می‌کنند. صفحه تخت اپتیکی باید تا حدامکان نزدیک به ریزعدسی تحت آزمون قرار داشته باشد تا خطاهای مربوط به پراش روزنه به حداقل رسیده و آرایه عدسی بر روی آرایه آشکارساز متمرکز شود.



راهنما:

۱ منبع نور همدوس و موازی‌ساز
۲ تقسیم‌کننده نور
۳ صفحه مرجع
۴ شیئی میکروسکوپ با کیفیت بالا
۵ ریزعدسی تحت آزمون
۶ صفحه تخت اپتیکی[1]

شکل الف-۱ - تداخل‌سنج فیزیو

الف-۳ اندازه‌گیری فاصله کانونی موثر عقبی یا جلویی

جهت اندازه‌گیری فاصله کانونی، ریزعدسی تحت آزمون روی محور نوری قرار می گیرد. در این حالت دسته پرتو نور واگرا را موازی می‌نماید. یک آینه تخت با کیفیت بالا یا یک صفحه تخت اپتیکی به کار می رود تا نور را درون سیستم بازتاب نموده تا از ترکیب با جبههء موج مرجع الگوهای تداخلی شکل گیرند. توصیه می‌شود ابتدا آینهء تخت در مکان خود بدون حضور ریزعدسی و شیئی میکروسکوپ در مکان خود تنظیم می‌شود. آینه را آنقدر کج می‌کنیم تا الگوی تداخلی از بین برود. در این حالت شدت به طور یکنواخت توزیع خواهد شد. سپس شیئی میکروسکوپ و ریزعدسی مورد نظر درمکان خود قرار گرفته و موقعیت محوری ریزعدسی طوری تنظیم می‌شود تا مجدداً الگوی تداخلی محو شود. به طور متناوب، یک شیب کوچکی بین دو جبهه موج باعث تولید یک دسته الگوی تداخلی می‌گردد که مجددا تغییر و تنظیم موقعیت محوری ریزعدسی تا زمانی که دسته‌های تداخلی به صورت موازی مستقیم و با فاصله یکسان درآیند ادامه می‌یابد.

عدسی تحت آزمون سپس به طور محوری جابجا می‌شود تا دسته پرتو برروی سطح عدسی متمرکز گردد. در این وضعیت، نور جزئی در الگوی چشم گربه‌ای به تداخل‌سنج تابیده می‌شود تا یک دسته الگوی تداخلی را شکل دهد. وضعیت عدسی به گونه‌ای تنظیم می‌شود که این دسته‌ها به طور اسمی مستقیم شده و یا محو گردند.

1 -Optical Flat

اندازه‌گیری‌های فاصله کانونی از جابجایی‌های محوری عدسی تحت آزمون بین موقعیت‌هایی که در بالا اشاره شد بدست می‌آید. چنین اندازه‌گیری‌هایی باید به طور مناسب با یک تداخل‌سنج مجهز به اندازه-گیری طول لیزری انجام پذیرد.

یادآوری در عمل، بدست آوردن نوارهای تداخلی کاملا مستقیم به ندرت شکل می‌گیرد. اثر بیراهی‌ها در عدسی تحت آزمون سبب خم شدن این نوارهای تداخلی می‌گردد که در سراسر میدان تغییر می‌کنند. بیراهی‌های باقیمانده در سیستم آزمون هم می‌تواند ظاهر شود، به خصوص زمانی که در چیدمان چشم گربه‌ای استفاده می‌شود که سبب برگردان یک جبهه موج نسبت به دیگری می‌شود.

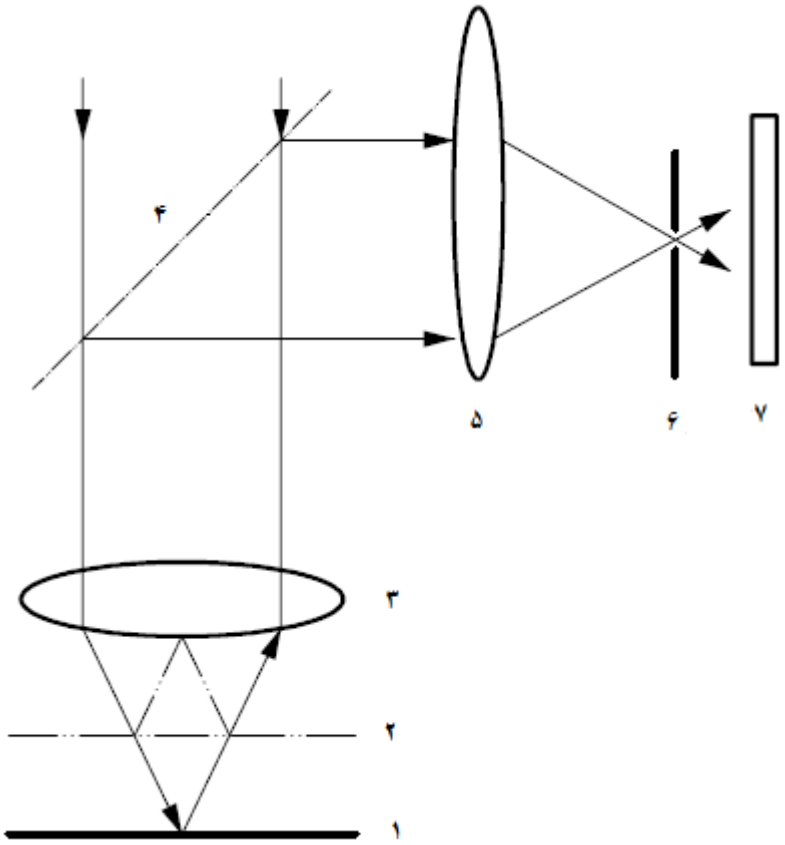
پیوست ب
(الزامی)
اندازه‌گیری هم‌کانونی فاصله کانونی موثر جلویی یا عقبی یک آرایه عدسی

ب-۱ اصول اندازه‌گیری

فاصله کانونی موثر عقبی (جلویی) عدسیهای چندتایی در یک آرایه با استفاده از اصل هم‌کانونی و با استفاده از نور متمرکز شده توسط یک تک عدسی مطابق شکل (ب-۱) انجام می‌پذیرد.

یک آینه تخت در موقعیت A باید توسط تمرکز نور روی سطح در جایی که نور در چیدمان چشم گربه-ای بازتابیده می‌شود، قرار گیرد. نور بازتابیده شده از میان عدسی به یک تقسیم‌کننده نور تابیده می‌شود و بر روی سوراخ متمرکز می‌شود، نور عبوری از این سوراخ به صورت الکترونیکی آشکارسازی می‌شود. زمانی که سطح آینه در نقطه کانونی ریزعدسی قرار دارد شدت نور بازتاب شده از میان سوراخ درحداکثر میزان خود قرار دارد. اگر فاصله بین عدسی تا سطح آینه کم شود، موقعیتی شبیه وضعیت B پیدا می-شود که شدت نور عبوری توسط سوراخ به دومین میزان حداکثر می‌رسد. در این وضعیت نور از سطح عدسی در چیدمان چشم گربه تابیده خواهد شد. فاصله بین موقعیت‌های A و B نصف فاصله کانونی موثر ریزعدسی است.

با جایگزینی عدسی با یک آرایه عدسی، متوسط فاصله کانونی موثر آرایه می‌تواند اندازه‌گیری شود.



راهنما:

۱ سطح آینه در موقعیت A
۲ سطح آینه در موقعیت B
۳ ریزعدسی
۴ تقسیم‌کننده نور
۵ عدسی متمرکزکننده
۶ سوراخ ظریف[1]
۷ آشکارساز

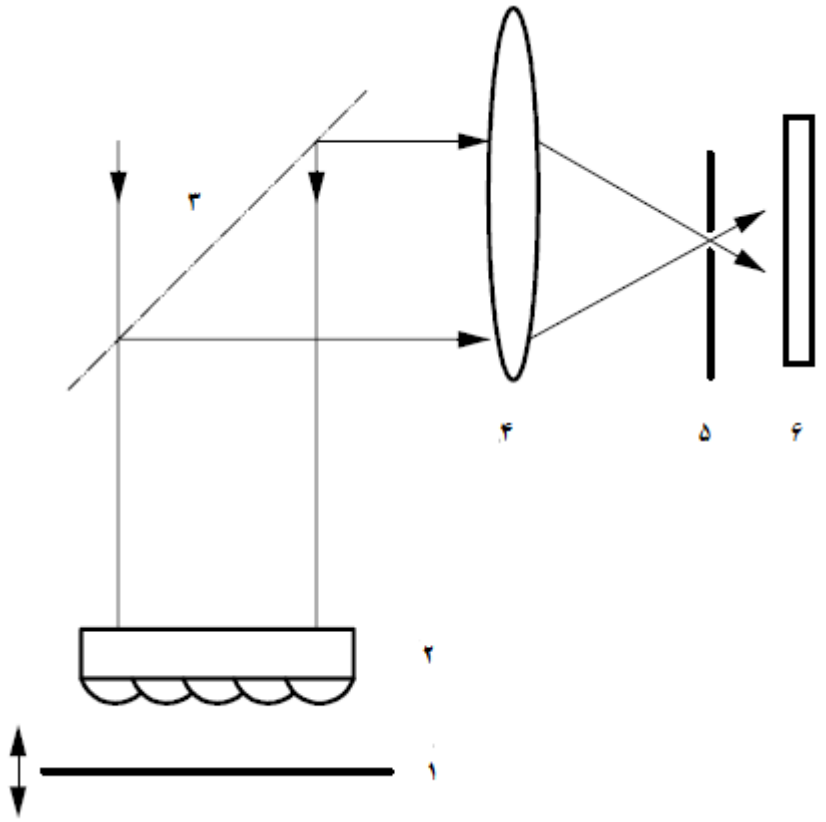
شکل ب-۱ اندازه‌گیری فاصله کانونی موثر یک آرایه ریزعدسی

ب-۲ سیستم اندازه‌گیری برای آرایه ریزعدسی

یک سیستم نوری هم‌کانون و یک آینه تخت قرار گرفته برروی صفحه قابل تنظیم مجهز به یک ترانسدیوسر جابجایی مطابق شکل (ب-۲) مورد نیاز است. آینه نزدیک صفحه کانونی آرایه عدسی قرار گرفته و موقعیت محوری طوری تنظیم می‌گردد که حداکثر شدت نور از طریق سوراخ منتقل گردد. آرایه آشکارساز (برای مثال دوربین CCD) توزیع فضایی دسته پرتوهای نور را از هر دهانه ریزعدسی که جهت نمایش لازم است، فراهم می‌سازد.

1 -Pinhole

موقعیت محوری آینه ابتدا اسکن شده و موقعیتی که مربوط به حداکثر شدت در آشکارساز برای هر عدسی است نیز به دنبال آن ثبت می‌گردد.



راهنما:

۱ آینه قرار گرفته در صفحه کانونی آرایه ریزعدسی
۲ آرایه ریزعدسی
۳ تقسیم‌کننده نور
۴ عدسی متمرکزکننده
۵ سوراخ
۶ آرایه آشکارساز

شکل ب-۲ اندازه‌گیری فاصله کانونی عقبی یا جلویی یک آرایه ریزعدسی

پیوست پ
(اطلاعاتی)
بازده جفت‌شدگی و کیفیت تصویر

پ-۱ بازده جفت‌شدگی

ریزعدسی‌ها معمولاً جهت موازی‌سازی نور از یک منبع کوچک مانند دیود لیزری، برای تمرکز نور بر روی یک روزنه کوچک و یا جفت‌کردن روی یک فیبر استفاده می‌شوند. بازده جفت‌شدگی معمولاً بصورت نسبت توان ورودی به توان انتقالی تعریف شده و فاکتور مهمی در شبکه‌های مخابراتی نوری است که از فیبرهای نوری برای انتقال سیگنال‌ها بهره می‌گیرند. بازده جفت‌شدگی به اندازه نقطه‌کانونی بستگی دارد که این پارامتر خود تابعی از روزنه عددی و برگرفته از جبهه موج کانونی، بیراهی‌های جبهه موج و طول موج نور می‌باشد. این پارامتر همچنین به ویژگی‌های ورودی فیبر هم بستگی دارد. برای بدست آوردن بازده بالای جفت‌شدگی، لازم است که میدان موج با مود فیبر تطابق داشته باشد(به منبع ۷ از کتابنامه مراجعه شود).

هنگامیکه نقطه‌کانونی تابع پخش نقطه‌ای ایده‌آل فاصله گیرد انرژی نیز در سطح بزرگتری پخش می‌گردد و مناسب است که در این شرایط نسبت حداکثر میزان شدت‌های کانونی در نقطه بیراهی به تابع پخش نقطه‌ای ایده‌آل در غیاب بیراهی‌ها کمی گردد(به منبع ۸ از کتابنامه مراجعه گردد). این نسبت به نام نسبت استرل[1] معرفی شده و توسط نسبت هندسی استرل که با تابع زیر تقریب زده می‌شود، بیان می‌شود.

$$S = e^{-(2\pi\delta)^2}$$

که δ انحراف جذر میانگین مربع جبهه موج در طول موج‌ها است. بیراهی‌های جبهه موج با استفاده از روش تداخل‌سنجی اشاره شده در استاندارد ملی شماره ... اندازه‌گیری می‌شوند و نرم‌افزارهای مدرن پردازش جبهه موج معمولاً گزینه‌ای را جهت محاسبه نسبت استرل از طریق الگوهای تداخل‌سنجی پیشنهاد می‌کنند.

پ-۲ کیفیت تصویر

ریزعدسی‌ها گاهی برای تولید تصاویر کوچک یک جسم به عنوان مثال در سیستم های سه‌بعدی یا سیستم‌های تصویربرداری نوین به کار می‌روند. کیفیت تصویر در این حالت با بکارگیری یک نمودار آزمون به عنوان یک جسم و بازرسی تصاویر کوچک به کمک یک میکروسکوپ قابل کمی کردن است. فاکتورهایی از قبیل وضوح تصویر با این روش قابل آزمون می‌باشند. فاکتور مفید دیگر تابع انتقال مدولاسیون[2] است. این پارامتر می‌تواند توسط وسایل ویژه اندازه‌گیری شود. نحوه اندازه‌گیری به این ترتیب است که از یک شکاف به عنوان جسم آزمون استفاده شده و تحلیل فوریه بر روی تصویر تشکیل شده بوسیله یک ریزعدسی، انجام می‌شود. تابع انتقال مدولاسیون همچنین می‌تواند از تحلیل جبهه موج

1 - *Strehl*
2 -MTF: Modulation Transfer Function

بوسیله تداخل‌سنجی مطابق استاندارد ملی ایران شماره ... محاسبه گردد. اندازه‌گیری‌های مربوط به تابع انتقال مدولاسیون در استاندارد ISO 15529 شرح داده شده است(به منبع ۳ از کتابنامه مراجعه شود).

پیوست ت
(لزامی)
اندازه‌گیری یکنواختی موقعیت‌های نقطه‌کانونی یک آرایه ریزعدسی

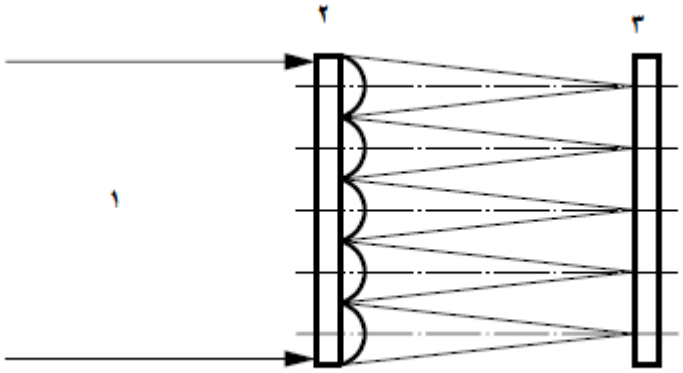
ت-۱ اصول اندازه‌گیری

جابجایی موقعیت نقطه‌کانونی توسط مقایسه مختصات موقعیت نقطه‌کانونی با مختصات موقعیت مرکز دهانه بدست می‌آید.

جابجایی موقعیت نقطه‌کانونی هر عدسی (برابر استاندارد ISO ۱۴۸۸۰-۱) در یک آرایه ریزعدسی، توسط تابیدن یک دسته پرتو موازی و روشن کردن آرایه با یک موج تخت مرجع در یک سیستم آزمون شاک_هارتمن بدست می‌آید. کیفیت موج تخت مرجع به عنوان مثال با استفاده از تداخل‌سنج برشی باید آزمون شود.

ت-۲ چیدمان اندازه‌گیری و تجهیزات آزمون

چیدمان اندازه‌گیری سیستم شاک_هارتمن در شکل (د-۱) نشان داده شده است.



راهنما:

۱ موج تخت مرجع
۲ آرایه ریزعدسی تحت آزمون
۳ آرایه آشکارساز

شکل د-۱ اندازه‌گیری یکنواختی موقعیت‌های نقطه‌کانونی

ت-۳ اندازه‌گیری یکنواختی موقعیت‌های نقطه‌کانونی

آشکارساز در صفحه موثر کانونی عقبی یک آرایه ریزعدسی قرار می‌گیرد. مختصات هر نقطه‌کانونی ثبت می‌گردد. مختصات موقعیت‌های نقطه‌کانونی با موقعیت‌های مربوط به مرکز روزنه مقایسه می‌شود تا این که جابجایی‌های نقطه کانونی ΔSx و ΔSy برای هر عدسی درون آرایه بدست آید.

کتابنامه

[**1**] ISO 14880-2, Optics and photonics — Microlens arrays — Part 2: Test methods for wavefront aberrations
[**2**] ISO/TR 14999-1, Optics and photonics — Interferometric measurement of optical elements and optical systems — Part 1: Definitions and fundamental relationships
[**3**] ISO 15529, Optics and optical instruments — Optical transfer function — Principles of measurement of modular transfer function (MTF) of sampled imaging systems
[**4**] Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM), BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP,
OIML, 1993, corrected and reprinted in 1995
[**5**] MALACARA, D. Optical Shop Testing. John Wiley and Sons, 1992
[**6**] SCHWIDER, J., FALKENSTORFER, O. Twyman-Green interferometer for testing microspheres. Proc
IOP/NPL meeting Microlens Arrays, held at NPL Teddington, May 1995, pp. 60-64
[**7**] WAGNER, R.E., TOMLINSON, W.J. Coupling efficiency of optics in single-mode fiber components. Appl.Opt., **21**, 1982, pp. 2671-2688
[**8**] BORN, M., WOLF, E. Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light. Cambridge University Press, 1999
[**9**] HUTLEY, M.C., DALY, D., STEVENS, R.F. The testing of microlens arrays. Proc. IOP/NPL meeting on Microlens Arrays, , held at NPL Teddington, IOPP Bristol, May 1991, pp. 67-81
[**10**] DALY, D, HUTLEY, M.C. Microlens measurement at NPL. Proc IOP/NPL meeting Microlens Arrays, held at NPL Teddington, May 1993, pp. 50-54
[**11**] YINGEN, GAO, HUTLEY, M.C. Chromatic dispersion of microlenses. Proc IOP/NPL meeting Microlens Arrays, held at NPL Teddington, May 1995, pp. 65-69
[**12**] IGA, K., KOKUBUN, Y., OIKAWA, M. Fundamentals of Microoptics. Academic Press, New York, 1984
[**13**] BORRELLI, N. Microoptics Technology. Fabrication and applications of lens arrays and devices. Marcel Dekker, Inc., New York,1999
[**14**] TIZIANI, H.J., HAIST, T., REUTER, S. Optical inspection and characterisation of microoptics using confocal microscopy. Optics and Lasers in Engineering, **36**, 2001, pp. 403-415
[**15**] BÄHR, J., KRACKHARDT, U., BRENNER, K.-H. Fabrication and Testing of Planar Micro Lens Arrays by Ion Exchange Technique in Glass, SPIE 46. Annual Meeting, Workshop on Microlens Measurement Standardization, San Diego, USA, Proc. SPIE, Vol. **4455**, 2001, pp. 281-292