

《超构透镜光学性能与相位分布测量方法》

(征求意见稿)

编制说明

一、工作简况

(一) 任务来源

本项目根据中国欧洲经济技术合作协会 2026 年团体标准制定计划，项目名称为《超构透镜光学性能与相位分布测量方法》项目计划号 T/CEATEC-2026-117 的任务而进行制订。

(二) 起草单位及主要起草人

本文件起草单位：复旦大学、清华大学深圳国际研究生院、空军工程大学防空反导学院、南开大学、南京大学、上海复享光学股份有限公司。

本文件主要起草人：石磊、宋清华、杨惠斌、李珏、杜鹏、蔡通、管春生、崔星烁、刘文玮、李涛、殷海玮。

(三) 标准制定目的和意义

从产业角度分析，制定《超构透镜光学性能与相位分布测量方法》团体标准的目的和意义主要体现在以下几个方面：

1. 目的

当前国内超构透镜行业缺少统一规范，离轴干涉、多距离相位成像两类主流相位检测手段没有标准化操作流程，各类实验室、生产企业、第三方检测机构采用的测试环境配置、数据处理算法、光学指标评判口径存在明显差异，相同样品在不同机构开展测试后所得结果难以横向对标，行业亟需一套通用测试规范作为参照。

本标准统一焦距、波像差、有效孔径、透射率、聚焦效率、Strehl 比、点扩散函数等核心参数的定量计算规则，理顺泽尼克像差展开、相位解包裹、自由空间焦场仿真整套计算逻辑，搭建覆盖透射式、反射式各类超构透镜，适配多工作波段的标准化测试

环境、设备配置、操作流程与报告模板，填补超构透镜研发验证、量产质检环节专用测试标准空白。

同时清晰界定本标准采用“相位反演结合衍射计算完成性能评价”方案与传统直接光功率测试、夏克-哈特曼波前检测手段的适用边界，搭建专属于超构透镜的相位测量完整技术体系。

2. 意义

产业层面，超构透镜作为平面光子学核心器件，广泛应用于 AR/VR 光学模组、车载光电感知、红外热成像、高速光通信、精密显微光学等前沿领域，是轻量化下一代光学系统关键元件。现阶段行业缺少统一测量判定依据，企业成品质检、上下游产品供需对接、第三方检测业务均缺少统一执行标尺，本标准实施后能够打通器件研发、批量生产、性能检测、产品验收全链条技术壁垒，有效降低行业整体研发与检测综合成本。

科研创新层面，各大高校与科研院所开展超构透镜相关课题研究、成果转化、项目结题验收时，长期缺少可复现、可对比的标准化实验方案，本标准统一两种主流相位重建技术的操作细节与数据处理逻辑，能够大幅提升国内微纳光子领域学术成果数据可比性，为行业学术交流、科研成果比对提供统一基准。

检测体系层面，现有光学相关国家标准仅针对传统折射透镜、常规微透镜阵列设计，GB/T 44221—2024 夏克-哈特曼波前测量、GB/T 41869.3—2024 微透镜阵列测试均无法适配超构透镜亚波长微结构、精准相位调制、超薄平面波前的独有特征。本标准填补聚焦型超构表面专用测量标准空白，完善国内微纳光学器件标准化检测体系。

行业规范化层面，统一测试温湿度、洁净等级、隔振、杂散光抑制等硬件环境要求，规范探测器采样设置、相位提取运算、系统本底扣除、相位解包裹等关键操作细节，减少人为操作偏差、设备硬件差异带来的测量误差，全面提升全行业检测结果一致性。

（四）主要工作过程

1. 前期准备工作

项目立项前，标准编制小组查阅、研读相关国内外文献，广泛搜集相关的材料。同时，标准编制小组安排相关人员，多次与相关行业人员进行调研、交流，广泛征求标准制定方面的意见和建议。

2026 年 4 月 23 日本团体标准由中国欧洲经济技术合作协会正式立项，立项名称为：《超构透镜光学性能与相位分布测量方法》。

2. 标准起草过程

2026 年 4 月，团体标准立项通知公示后，标准编制小组首先组织了标准制定工作会议，各编写人员根据工作计划分工和编写要求开展了相关工作。在标准起草期间，编制小组主编单位及参编单位组织了数次内部研讨会和专家咨询会，经过多次修改，于 2026 年 6 月初完成了标准初稿及编制说明的撰写工作。

二、标准编制原则和依据

（一）编制原则

标准起草小组在编制标准过程中，以国家、行业现有的标准为制订基础，结合我国目前的行业现状，按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定及相关要求编制。

（二）标准主要内容与确定依据

1. 标准主要内容

1.1 范围

本文件规定了超构透镜样品光学性能与相位分布的测试原理、测试条件、测试设备、测试步骤、数据处理及测试报告等内容。

本文件适用于超构透镜样品光学性能与相位分布的测试，包括但不限于透射式、反射式超构透镜，以及基于不同原理设计的具有不同功能与工作波段的超构透镜样品。

本文件中的焦场分布、点扩散函数（PSF）、聚焦效率、Strehl 比等光学性能评价结果，基于测得的相位分布和透射率分布，通过自由空间传播计算获得，不涉及直接光功率测量方法。

1.2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

1.4 测试原理

离轴干涉法依靠平行光干涉、傅里叶滤波提取样品波前相位，测量精度高，适合实验室高精度表征。多距离相位成像通过轴向多平面采集强度图，迭代算法反演相位，无需参考光路，适配产线快速检测。采样平面不少于 4 个、高 NA 样品加密采样等要求均经过平行试验验证，保障相位重建稳定收敛。

1.5 测试条件

明确温湿度、洁净度、杂散光、隔振等环境控制指标，温湿度、粉尘、杂散光、振动均会直接影响干涉与相位重建精度，参数阈值依托对比试验确定。装置包含通用照明、三维样品台、成像探测器、偏振组件等，离轴干涉增设可调参考光路，满足两类测试方法全部硬件需求，符合光学成像基础规范。

1.6 测试设备

规范光路搭建、样品装调、光强配比、偏振匹配、图像采集、频谱校验、本底扣除全套操作，限定样品与参考光强比 $1:1 \sim 1:4$ ，要求频谱无重叠再采集干涉图，通过无样品本底图像消除系统固有相位误差，保障测量准确度。

1.7 测试步骤

规定光路共轴装调、样品朝向区分、轴向扫描采集规则，扫描范围覆盖焦点前后区域，高 NA 样品缩小步长加密采样，同步采集有无样品光强用于计算透射率，避免相位复原失真，消除照明不均匀带来的误差。

1.8 数据处理

以泽尼克离焦项系数归零判定样品焦距，相位折叠区域需先解包裹，采用前 36 项泽尼克展开表征波像差并输出 PV、RMS 值。基于透射率与相位分布衍射仿真得到焦场 PSF，统一聚焦效率、Strehl 比计算方式， $SR > 0.8$ 判定接近衍射极限，整套计算逻辑为光学行业通用成熟手段。

1.9 测试报告

报告包含基础信息、样品参数、测试条件、完整测量结果、测量重复性、综合结论，强制列明有效孔径、相位、焦距、波像差、聚焦效率等关键数据，满足检测溯源、项目验收、产品质检的数据复现要求。

2. 确定标准主要内容的依据

整体内容框架参照 GB/T 1.1—2020 标准化文件通用结构搭建，同步参考 GB/T 44221—2024、GB/T 41869.3—2024 两项光学检测国标逻辑层次，结合超构透镜亚波长微结构、相位主动调制的独有光学特性进行针对性调整。

全部技术方法选取国内高校、头部光学企业、第三方检测机构现阶段主流在用方案，兼顾高精度科研表征与量产快速质检两类场景，摒弃小众、成本高昂的专用检测手段，保证标准落地普适性。

三、主要试验[或验证]情况分析、技术经济论证、预期经济效果

编制阶段搭建两套标准测试光路，选用可见光透射、红外反射、不同 NA 梯度样品开展平行试验。验证不同温湿度、洁净度、杂散光对相位误差的影响，确定标准环境参数；比对不同干涉光强、离轴角对条纹与频谱分离的作用；测试不同采样平面数量对相位重建收敛性的影响；验证泽尼克展开阶数、本底扣除、相位解包裹对最终性能指标的修正效果；对比两种测试方法测试结果，证明二者误差可控、具备等效性。

四、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准的制定过程、技术要求的选定、试验方法的确定、检验项目设置等符合现行法律、法规和强制性国家标准的规定。

五、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

六、废止现行有关标准的建议

本标准不涉及对现行标准的废止。

七、知识产权情况说明

本文件不涉及必要专利等知识产权情况。

八、标准作为强制性或推荐性标准的建议

建议该标准作为推荐性团体标准。

九、贯彻标准的要求和措施建议，包括（组织措施、技术措施、过渡办法）

本标准首次制定，没有特殊要求。

十、其他应予说明的事项

无。

《超构透镜光学性能与相位分布测量方法》团体标准编制组

2026 年 7 月