

微纳光学元件

我们深入研究各种设计理论及方法，开发出多款专业光学设计软件，可提供全局最优设计方案。在多年实践基础上，积累多项技术并形成稳定工艺：可制备十六阶衍射器件、横向误差小于 1 μ m，深度误差小于 1.5%，衍射效率高于 90%。可精确控制连续表面微纳结构面形，面形误差小于 3%。发展了微、纳尺度压印及紫外光固化复制技术，可以实现高保真、低成本、大批量微纳结构制作。目前，已形成以微透镜列阵、位相板、衍射器件为主的系列产品，在科研、军工、工业、医疗等领域成功应用。

1、微透镜列阵

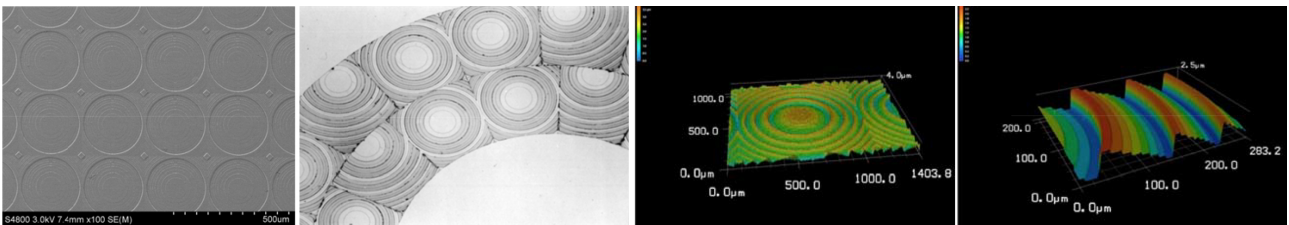
微透镜列阵元件是由通光孔径为微米级及浮雕深度为微纳米级的透镜组成的列阵，可实现聚焦成像、准直等功能，具有单元尺寸小、集成度高等优点。主要用于 Shack-Hartmann 波前传感、红外焦平面探测、CCD 列阵光聚能、LD 整形、激光列阵扫描、激光显示、光纤耦合、光场相机、3D 显示、数字无掩膜光刻(DMD) 等系统。



二元微透镜列阵

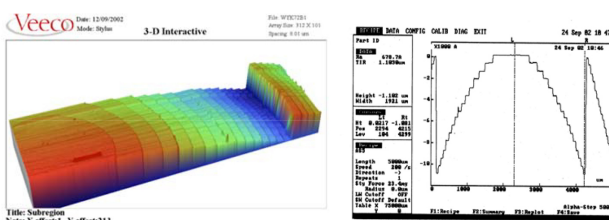
二元微透镜列阵指的是利用台阶状的面形结构来趋近于连续浮雕结构的微透镜列阵。该元件利用二元掩模通过多次套刻完成多个台阶结构的制备，可制备结构指标参数如下：

- 波段范围：0.248 μ m ~ 10 μ m；
- 子口径形状：圆形、矩形、正六边形、环形等
- 子透镜口径：0.01mm ~ 4mm
- 透镜材料：石英、硅、锗、硒化锌等
- 典型台阶数：2、4、8、16
- 衍射效率：75% ~ 95%



8 台阶口径 200 μ m 微透镜列阵方形排布和环形离轴排布

8 台阶口径 1mm 微透镜列阵



16 台阶口径 4mm 微透镜列阵

| 波长 (μm) | 子口径 (μm) | 口子径形状 | 焦距 (mm) | 列阵数 | 基片尺寸(mm) |
|---------|-------------|-------|---------|-------|----------|
| 1.064 | 275×275 | 四边形 | 8 | 30×30 | Φ 14×3 |
| 1.064 | 1000×1000 | 四边形 | 30 | 16×16 | Φ 30×5 |
| 0.55 | 1680 (平行对边) | 六边形 | 29.7 | 37×37 | Φ 14×3 |
| 0.5 | 1680 (平行对边) | 六边形 | 69.8 | 7×9 | Φ 20×3 |
| 1.064 | 1750×1750 | 正方形 | 90 | 6×6 | Φ 20×3 |

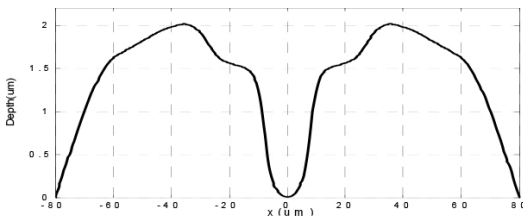
连续面形微透镜列阵

我们采用独特的成形及面形控制技术，实现无衍射色差，适用于宽波段系统成像和聚焦的高精度连续表面微透镜列阵。

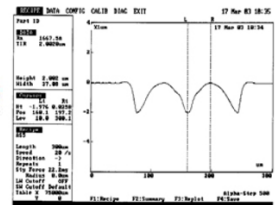
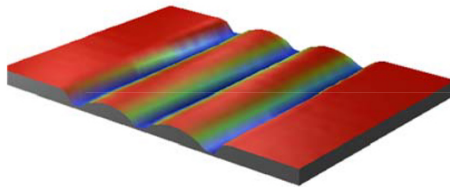
- 数值孔径：0.01~0.5
- 透镜面形：球面、抛物面、双曲面等
- 面形误差：<3%
- 子透镜口径：5 μm~4mm
- 填充因子：> 98%
- 子孔径形状：四边形、六边形、圆形、矩形等
- 透镜材料：石英、硅、锗、硒化锌、K9、氟化钙、PMMA、PC 等

柱透镜列阵

可以研制任意面形分布（如非球面）的微柱透镜列阵，结构周期 20 μm~5mm，应用于光聚焦、整形等领域。下图所示为我们研制的特殊面形的柱镜结构，面形精确控制在 50nm，表面粗糙度小于 10nm。



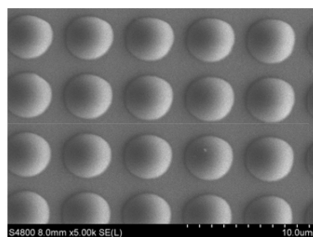
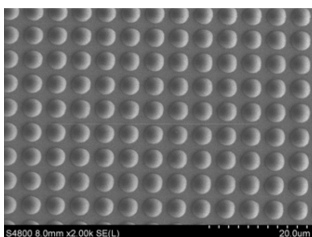
目标面形



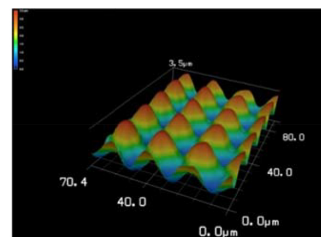
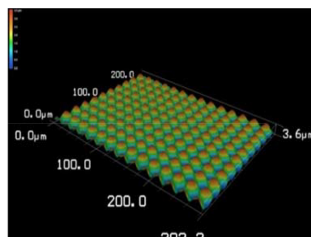
实物测试结果

四边形微透镜列阵

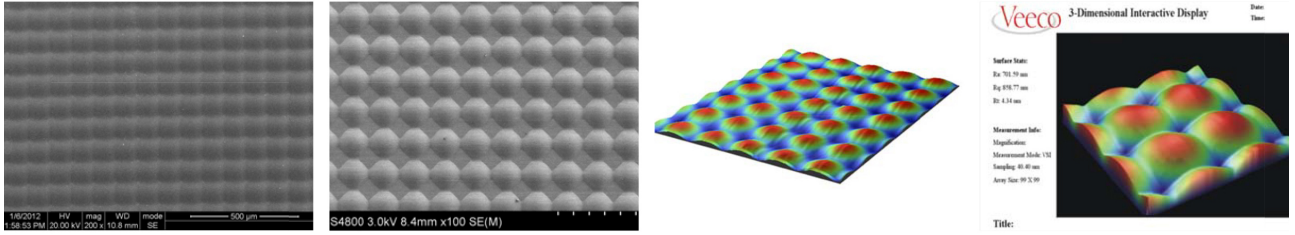
四边形微透镜是指口径形状为四边形或者按照四边形排布的透镜。我们可以定制口径范围在 5 μm~5mm 之间的四边形微透镜列阵。



口径 5μm 的四边形微透镜列阵



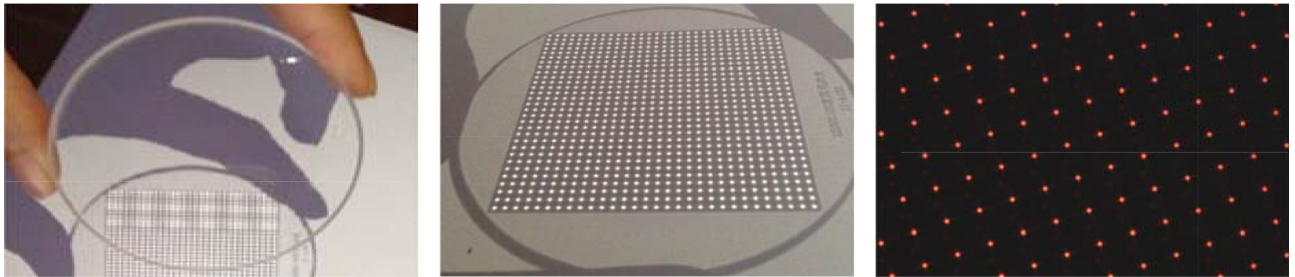
口径 20μm 四边形微透镜列阵测试结果



口径 100µm 的两种四边形微透镜列阵

口径 500µm 的四边形微透镜列阵

口径 1mm 四边形微透镜列阵



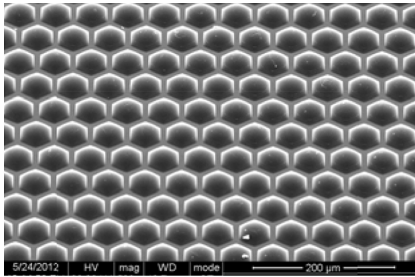
四边形微透镜列阵焦斑图

子口径 (µm) 子口径形状 列阵数 可订制焦距范围 (mm) 基片尺寸 (mm)

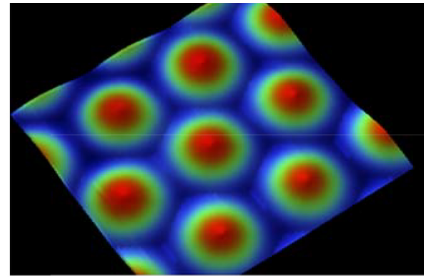
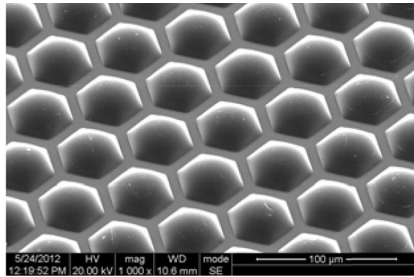
| | | | | |
|-----------|-----|-----------|-----------|-------|
| 20×20 | 正方形 | 2000×2000 | 0.1-1 | 可订制 |
| 100×100 | 正方形 | 400×400 | 0.6-20 | 可订制 |
| 150×150 | 正方形 | 300×300 | 1-60 | 可订制 |
| 180×180 | 正方形 | 64×64 | 1.8-90 | φ20×3 |
| 200×200 | 正方形 | 42×42 | 2-100 | φ14×3 |
| 300×300 | 正方形 | 150×150 | 5-240 | 可订制 |
| 400×400 | 正方形 | 21×21 | 9-440 | φ14×3 |
| 500×500 | 正方形 | 80×80 | 14-680 | 可订制 |
| 545×545 | 正方形 | 26×26 | 17-810 | φ25×3 |
| 600×600 | 正方形 | 34×34 | 20-980 | φ30×5 |
| 680×680 | 正方形 | 24×24 | 25-1260 | φ25×3 |
| 700×700 | 正方形 | 65×65 | 27-1340 | 可订制 |
| 720×720 | 正方形 | 30×30 | 28.5-1400 | φ45×5 |
| 800×800 | 正方形 | 10×10 | 35-1750 | φ20×3 |
| 850×850 | 正方形 | 18×18 | 40-1970 | φ20×3 |
| 1000×1000 | 正方形 | 25×25 | 55-2730 | φ40×5 |
| 1200×1200 | 正方形 | 9×9 | 80-3940 | φ20×3 |
| 1380×1380 | 正方形 | 30×30 | 105-5200 | φ60×6 |
| 1440×1440 | 正方形 | 26×26 | 115-5670 | φ60×6 |
| 3300×3300 | 正方形 | 5×5 | 600-29780 | φ25×3 |

六边形微透镜列阵

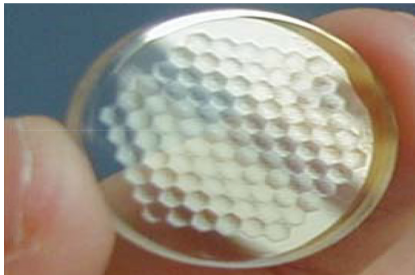
六边形微透镜列阵指的是口径形状为六边形或者按照六边形排布的微透镜列阵。可定制口径大小在 50µm~5mm (透镜中心间距) 之间的六边形微透镜列阵。



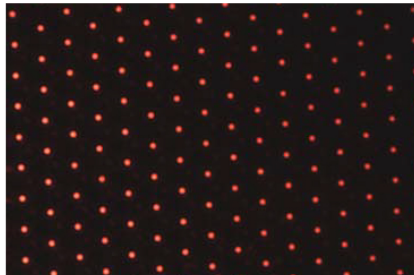
口径 50um 的六边形微透镜阵列



口径 480um 六边形微透镜阵列



口径 1.36mm 的六边形微透镜阵列



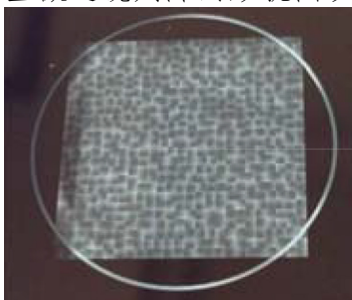
六边形微透镜阵列焦斑及成像结果



子口径 (μm) 子口径形状 列阵数 可订制焦距范围 (mm) 基片尺寸 (mm)

| | | | | |
|-------------|------------|----------|---------|--------|
| 207 (平行对边) | 六边形 | 13×13 | 1.2-88 | φ 14×3 |
| 259 (平行对边) | 六边形 | 77 | 2.5-183 | φ 14×3 |
| 300 (中心间距) | 圆形 (六边形排布) | ≥100×100 | 3.2-246 | 可订制 |
| 336 (平行对边) | 六边形 | 17×17 | 4-308 | φ 14×3 |
| 480 (平行对边) | 六边形 | 17×19 | 8.4-630 | φ 14×3 |
| 1120 (平行对边) | 六边形 | 13×13 | 46-3430 | φ 25×3 |
| 1360 (平行对边) | 六边形 | 187 | 68-5000 | φ 25×3 |

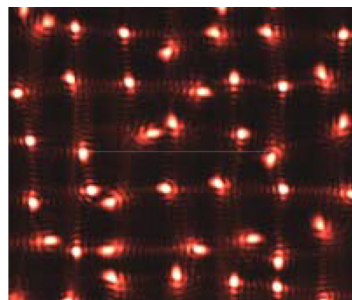
可以按照客户的特殊需求订制任意面形任意排布的微透镜阵列。以下为本单位所制备的离轴型微透镜阵列的形貌图以及焦斑图。



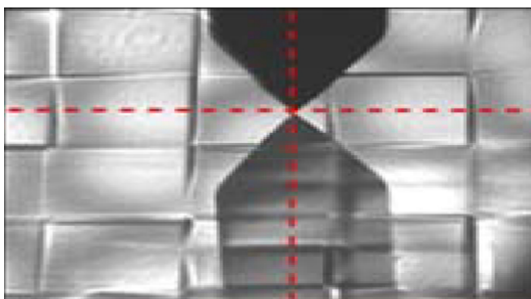
离轴型微透镜阵列掩模板



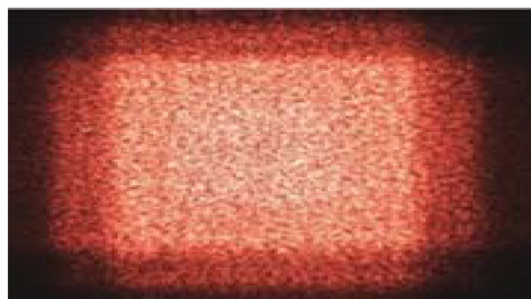
制备结果



离轴型微透镜阵列焦斑图



离轴型微透镜阵列形貌测试图

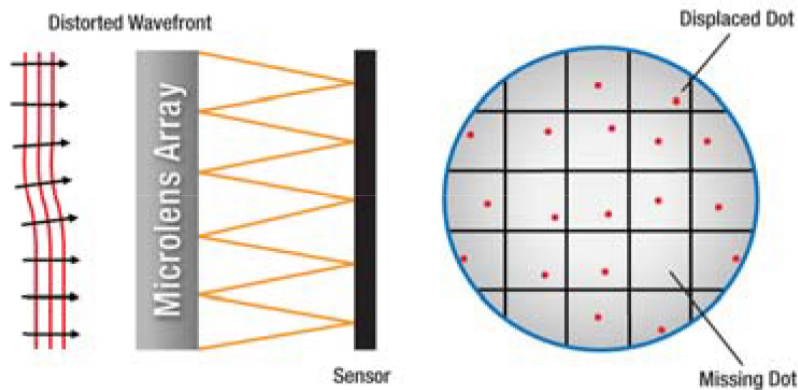


可有效消除激光相干产生的点阵效应

微透镜阵列典型应用

哈特曼波前传感器

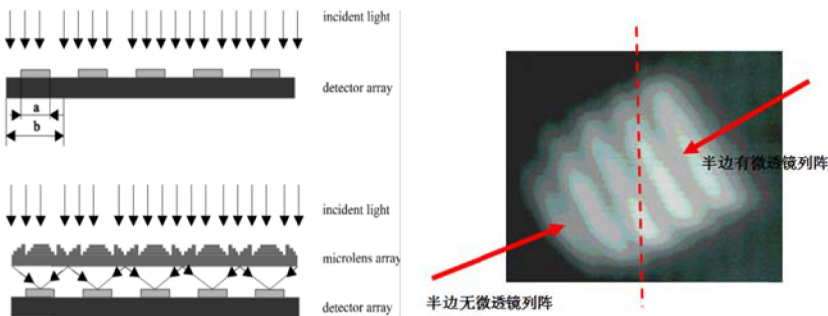
微透镜阵列是夏克-哈特曼波前传感器波前分割的核心器件，通过计算其焦斑位置的偏移来测量波前。该波前传感系统可应用于半导体制造、航空航天、眼科医学等研究及工业加工领域的高精度、无损、在线波前检。



哈特曼传感器原理示意图

焦平面聚能器件

由于传感器本身的结构特点，感光元与感光元之间存在间隙，这些间隙的存在造成光入射能量的极大损失，利用微透镜阵列将原本入射到这些间隙上的光会聚到感光元上，可以极大的提高传感器的光能利用率。



焦平面聚能原理图

实验效果

光场相机

利用微透镜阵列与场镜之间的相互匹配，获取大数据量丰富的图像数据，利用后续算法可实现多景深图像信息再现，进而可实现连续空间的数据获取。



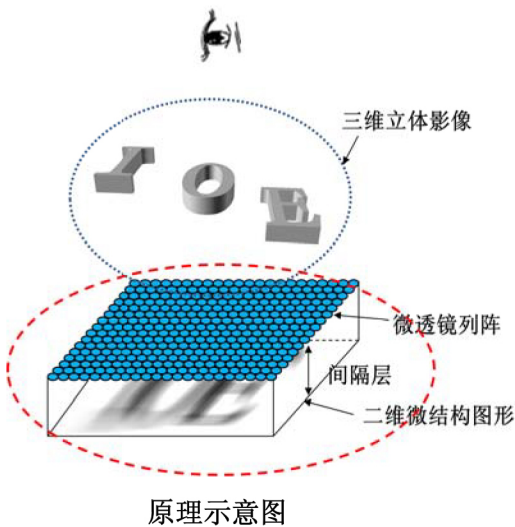
光场相机结构图

光场相机成像结果

利用后续数据处理获得的不同景深处的图像

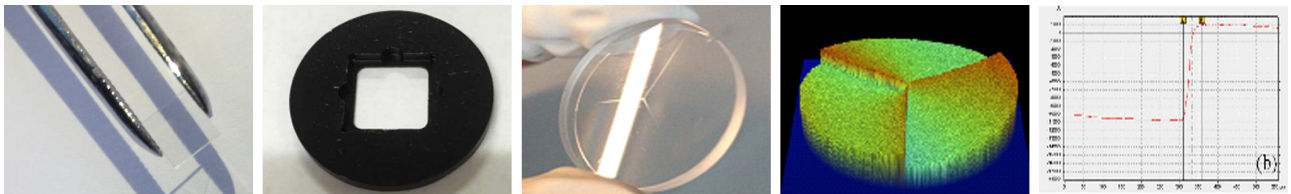
三维显示

利用微透镜列阵与微结构图形之间的相互作用，可实现三维立体影像的获取和重现，进而发展可应用于包装、防伪、3D 印刷、立体广告牌、三维影视、立体画等技术领域。



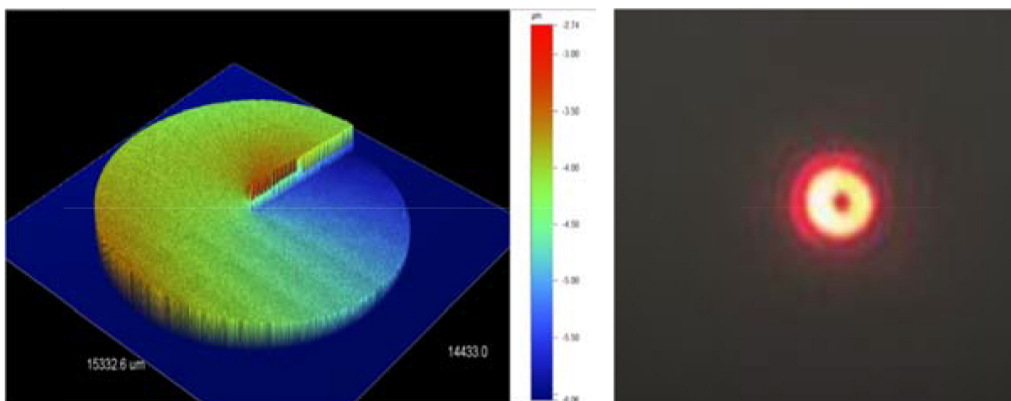
2、相位板器件

研制各种基于微光学技术的波前调制器件，包括台阶型和连续表面型，具有准确、系统紧凑、方便调节等优点。拥有多种自主开发的设计软件及数据处理模块，主要包括波前转换方法，改进遗传算法及模拟退火的全局优化技术等。器件主要用于像差校正，相位模拟、非球面检测（CGH），光束控制、景深及视场调制等领域。可制备元件尺寸可达 100mm，应用范围涵盖紫外到红外波段。



螺旋相位板

连续面形螺旋相位板相对于传统的台阶状元件极大提高了光的利用率，其典型应用为将入射平行光转换为带角动量的涡旋光，用于光摄、光子捕获。本研究小组可以进行各种拓扑电荷数的螺旋相位板的制备，如下图所示。

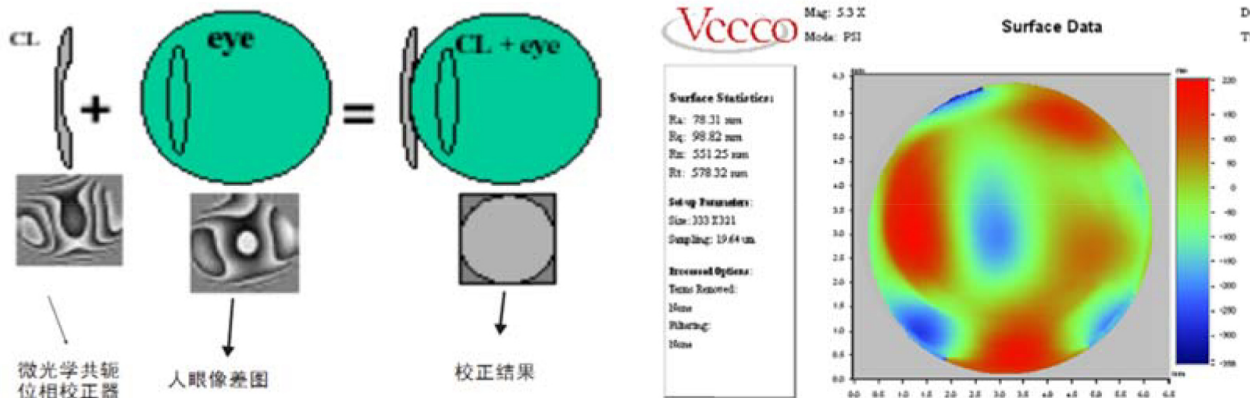


螺旋相位片 3D 扫描测试结果

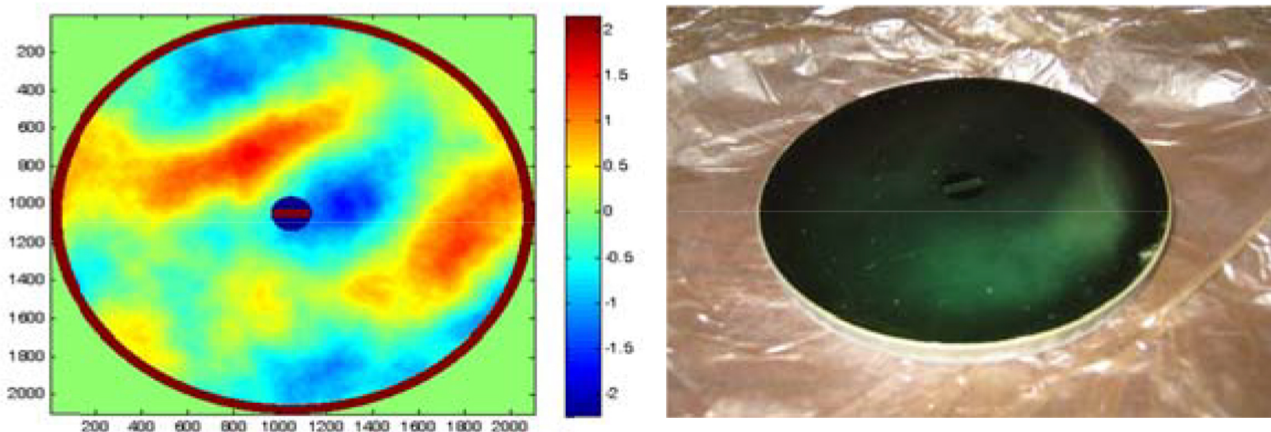
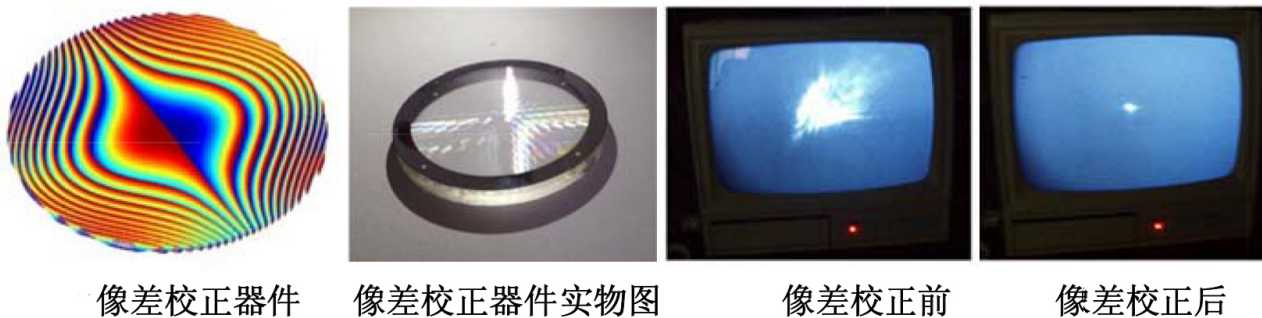
相位板产生的涡旋光照片

随机相位板

随机相位板可对系统位相进行精确模拟、校正或调制。可产生单阶、多阶像差位相器件，用于各种光学系统静态像差校正；也可产生具有特定功率谱的动态随机波像差等。典型应用为用于矫正人眼高阶像差模拟器、大气湍流位相调制效应像差补偿元件及非球面检测用CGH位相板。

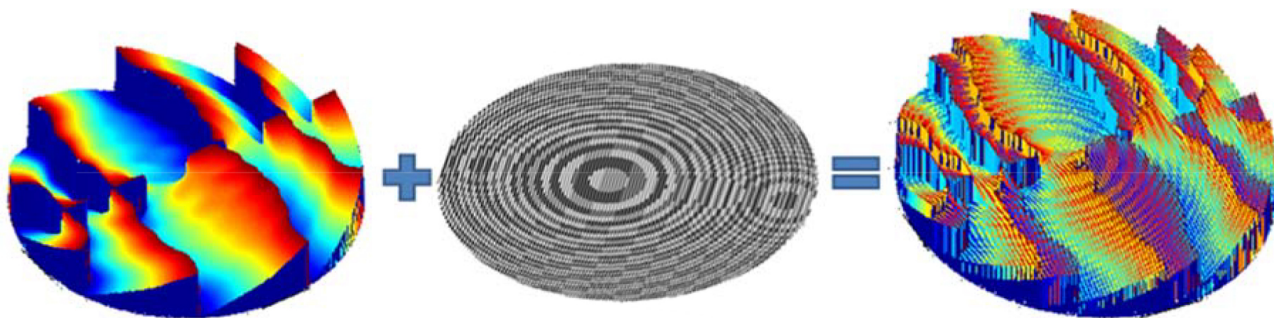


人眼高阶相差校正元件原理及制备结果 (PV: 0.578; RMS: 0.099)



复合型相位板

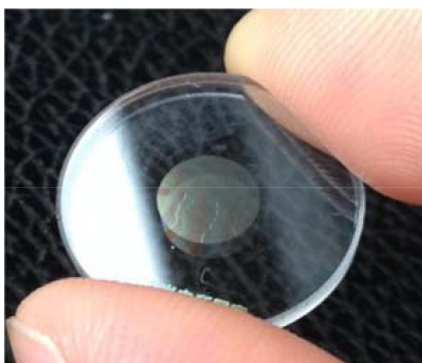
可以研制兼具连续面形和二元结构的复合型相位板，使其能够对光进行特殊调制，从而产生特定的光学效果。



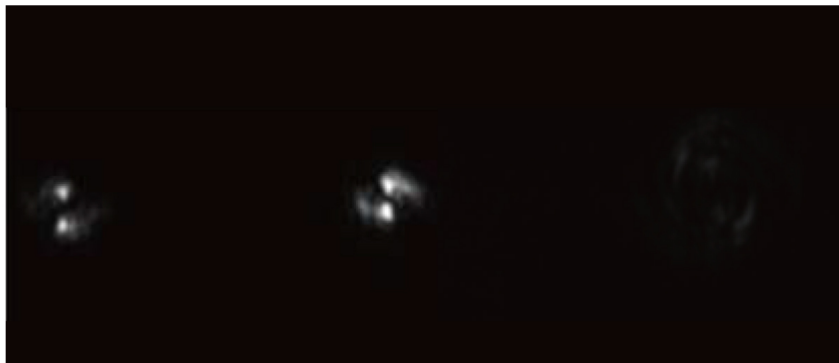
连续面形

二次光栅

复合相位片



复合型相位片制备结果



测试结果

3、衍射器件 (DOE)

衍射光学器件在激光加工、激光光束整形、激光医疗、移动智能设备、人机自然交互体感、手姿控制系统等领域应用广泛，可实现高衍射效率、高均匀性光束变换、整形、分光及位相调制等。深入研究基于标量衍射理论的G-S算法、直接二元搜索法(DBS)、模拟退火算法(SA)、遗传算法(GA)、能量守恒算法及基于矢量衍射理论的积分法、微分法、模态法、耦合波法，开发出多款专业光学设计软件，可提供全局最优设计方案。深入开展高深宽比纳米结构的制备研究，成功实现大角度(70度)、复杂图形的设计、加工、制备。

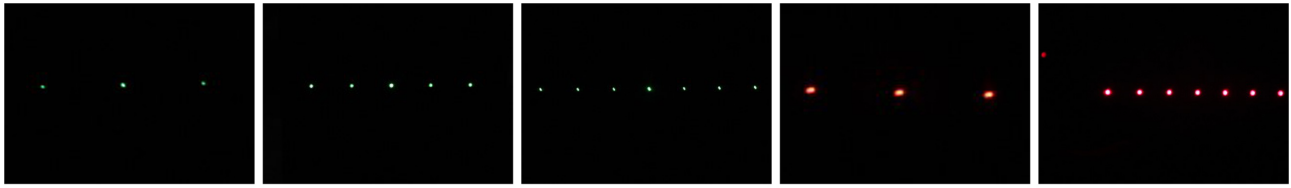
主要技术参数

- 器件口径：<100mm
- 器件材料：熔融石英、BK7、硅、锗、硒化锌、K9、氟化钙、蓝宝石等
- 特征尺寸：百纳米~微米
- 量化台阶：多阶
- 衍射效率高

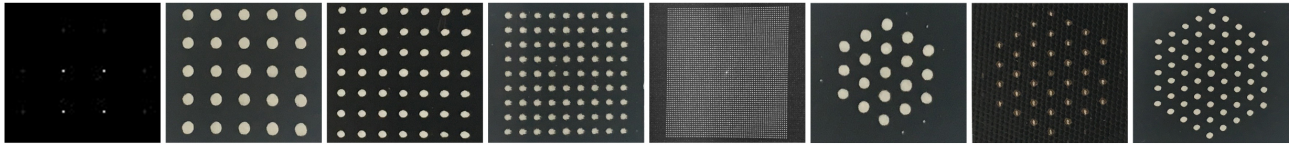
分束器件

将入射光按照设计要求分成所需的一维或二维多束出射光，如 2×2 、 4×4 、 7×7 、 9×9 、 15×15 、 65×65 等。使用波长涵盖565nm、694nm、850nm、1064nm、2940nm、10.6um等。分束器点阵间能量一致性高、中央主极大可有效控制，也可根据设计需求达到特定能量比分布。可广泛应用于激光医疗、激光加工等领域。

上面反射体是已有并且在市场上大量使用的。一般来说，反射体总是根据客户的要求订制的。请上我们的网站看反射体的机械图，以便理解其应用。如有具体要求，请联系我们。



一维分束器光斑分布图



二维分束器光斑分布图

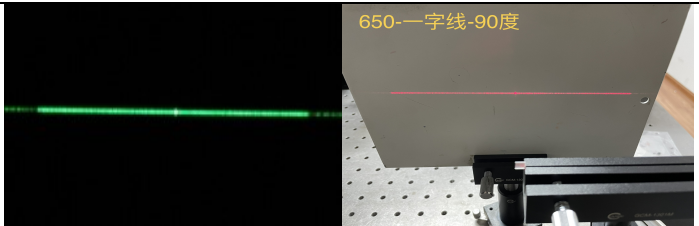
一维分束器型号（波长-分束数-角度） 二维分束器型号（波长-分束数-角度）

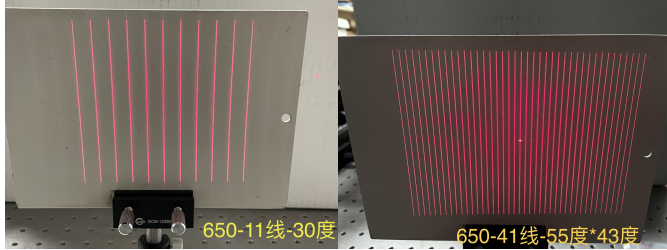
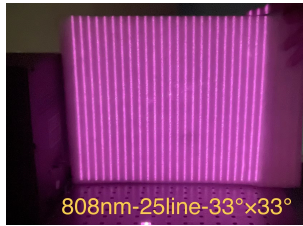
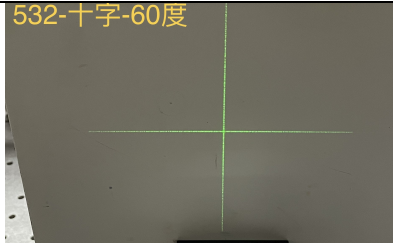
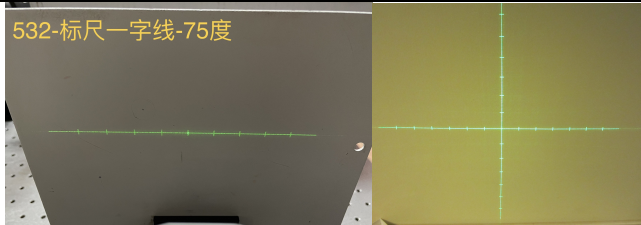
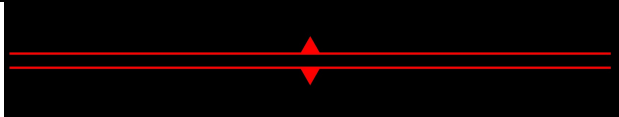
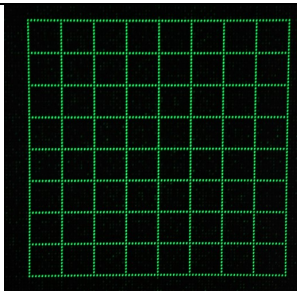
| | |
|---------------|------------------|
| 450-1×3-2.3 | 405-3'3-0.229 |
| 450-1×3-9 | 450-11'11-53 |
| 450-1×3-15 | 525-5×5-7.5 |
| 450-1×5-10.5 | 532-4'4-3.51 |
| 450-1×5-14 | 532-5×5-60 |
| 450-1×7-20 | 532-7×7-6.8 |
| 450-1×9-25 | 532-7×7-11 |
| 450-1×11-12 | 532-8×8-3.51 |
| 450-1×11-30 | 532-9×9-50 |
| 450-1×11-35 | 532-11×11-50 |
| 450-1×13-34 | 532-11×11-64 |
| 450-1×13-38 | 532-17×17-60 |
| 450-1×15-36 | 532-19-11 |
| 450-1×17-25.4 | 532-61-11 |
| 450-1×17-30 | 565-2×2-5.4 |
| 450-1×17-40 | 650-15×15-8 |
| 450-1×21-35 | 650-17×17-60 |
| 450-1×25-18 | 650-21×21-30 |
| 450-1×25-35 | 694-15×15-7.5 |
| 450-1×49-23 | 850-65×65-10 |
| 450-1×99-45 | 780-2'2-2 |
| 450-1×101-15 | 800-3×5-1.5×3 |
| 638-1×11-30 | 830-5×5-0.28 |
| 650-1×3-1.27 | 850-65×65-10 |
| 650-1×3-9 | 850-151×47-70×49 |
| 650-1×3-15 | 980-9×9-11 |
| 650-1×5-19 | 1064-3×5-8×16 |
| 650-1×7-23 | 1064-5×5-11 |
| 650-1×7-28 | 1064-7×7-5.7 |
| 650-1×7-50 | 1064-7×7-11 |

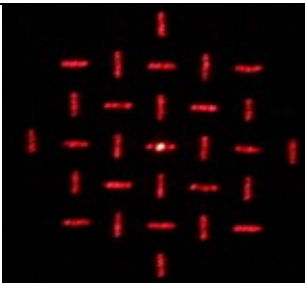
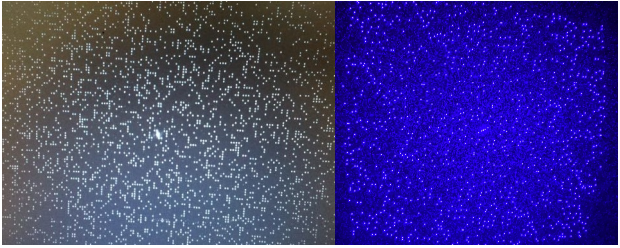
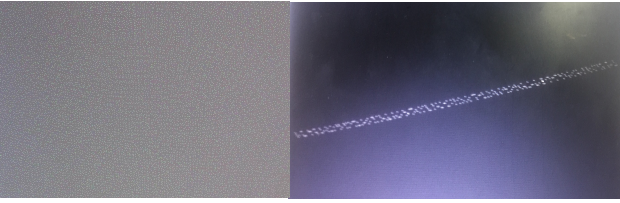
| | |
|-----------------|-----------------|
| 650-1×9-30 | 1064-8×8-3.51 |
| 650-1×9-37 | 1064-8×8-7 |
| 650-1×11-30 | 1064-8×8-11 |
| 650-1×13-38 | 1064-9×9-5.6 |
| 650-1×15-36 | 1064-9×9-8 |
| 650-1×17-40 | 1064-9×9-11 |
| 650-1×25-36 | 1064-32×32-1.59 |
| 780-1×11-32 | 1064-7-11 |
| 780-1×49-30 | 1064-19-11 |
| 800-1×7-3 | 1064-37-11 |
| 850-1×7-18 | 1064-61-11 |
| 850-1×11-30 | 1064-61-16 |
| 905-1×5-12 | 1535-61-5 |
| 905-1×32-25 | 1550-16'2-32'2 |
| 1064-1×3-0.32 | 2940-9×9-11 |
| 1064-1×4-0.43 | 9600-9×9-11 |
| 1064-1×4-5.39 | 10600-5×5-5.7 |
| 1064-1×4-10.8 | 10600-7×7-11 |
| 1064-1×14-41 | 10600-9×9-11 |
| 1064-1'23-3.23 | |
| 1550-1×4-1.5 | |
| 1550-1×4-2.85 | |
| 1550-1×19-18 | |
| 1550-1×32-2.5 | |
| 1550-1×32-5 | |
| 1550-1×32-40 | |
| 1550-1×33-3.2 | |
| 1550-1×33-16 | |
| 1550-1×41-40 | |
| 1550-1×65-32 | |
| 10600-1×10-10.2 | |

工具类结构光

单线、多线、网格、随机散斑结构光 (SL)

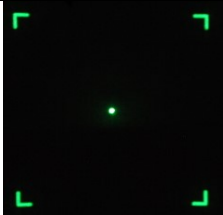
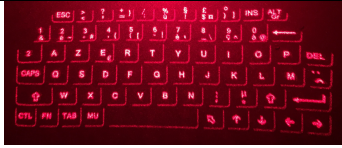
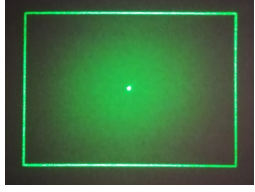

| 型号 (类型-波长-角度) | 图例 |
|---------------|--|
| SL- L1-650-43 |  |
| SL- L1-650-60 | |
| SL-L1-650-90 | |


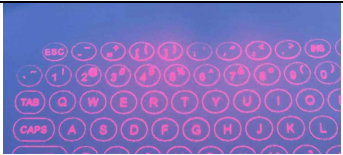
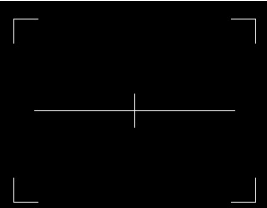

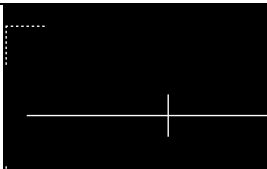

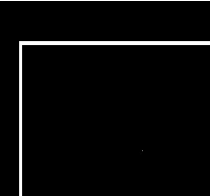


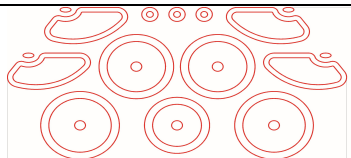
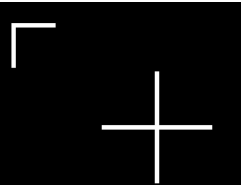
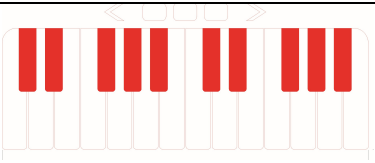


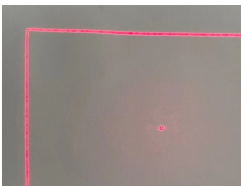
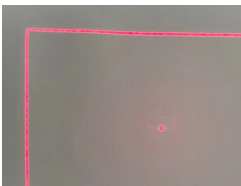
| | | |
|---------------------|--|--|
| SL-L1-905-60 | 一线 | |
| SL-L1-905-100 | | |
| SL-L3-650 -67×17 | 七线 | |
| SL-L7-650-23×50 |  | |
| SL-L7-808-33 | | |
| SL-L11-650-30 | | |
| SL-L41-650-55×43 | | |
| SL-L25-808-33 | |  |
| | | 多线 |
| SL-C-532-15 |  | |
| SL-C-532-60 | | |
| SL-C-650-60 | | |
| SL-LK-532-75 |  | |
| SL-CK-525-75 | | |
| SL-CK-650-75 | | |
| SL-A-635-47×4.6 |  | |
| SL-G-532-8×8-8 |  | |
| SL-G-532-8×8-36 | | |
| SL-G-450 -10×10-53 | | |
| SL-G-650 -10×10-2.9 | | |
| | 网格 | |

| | |
|--------------------|--|
| DWX-650-10 |  |
| DWX-650-15 | |
| SL-830-NJ-63×51 |   <p>随机散斑</p> |
| SL-532-962-30 | |
| SL-532-35000-30×40 | |
| SL-830-35000-63×51 | |
| SL-830-53×0.36 | |
| SL-830-4800-40 | |
| SL-830-900-38 | |
| SL-940-4800-42 | |
| SL-940-962-60 | |

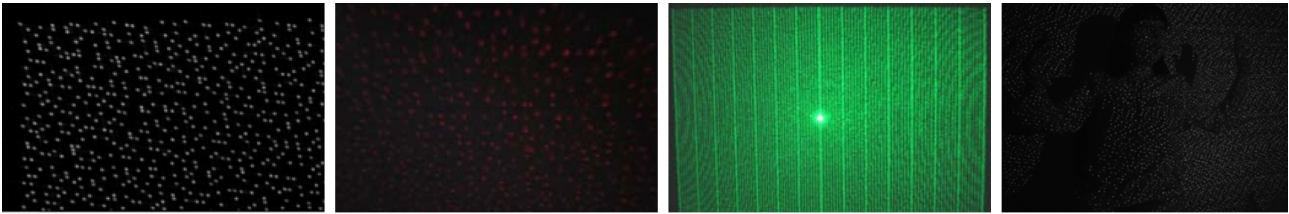
定位及人机交互结构

人机行为交互是指计算机通过定位和识别人类，跟踪人类肢体运动，表情特征，从而理解人类的动作和行为，并做出响应的智能反馈过程的一种全新的、和谐、普适的交互方法。由于衍射件可以把激光变换成几乎任意复杂的结构光(Structured light)，包括散斑、条纹等，在体感、手姿控制等系统中得到广泛应用。另外，DOE 在深度相机、3D 测量等领域应用前景广泛。

| 型号 (类型-波长-角度) | 图案 | 型号 | 图案 |
|------------------|---|---------|---|
| DWK-520-21 |  | PT-JP-F |  |
| DWK-520-50.8×39 |  | PT-JP-I |  |
| DWK-520-60×45 | | | |

| | | | |
|---------------|---|----------|---|
| DWK-650-30×21 |  | PT-JP-I |  |
| DWK-650-40×31 |  | PT-JP-SB |  |
| DWK-650-42×24 |  | PT-TY-WY |  |
| DWK-650-45×45 |  | PT-TY-DT |  |
| DWK-635-47×35 |  | PT-G |  |
| DWK-650-53×39 |  | PT-Q |  |
| DWK-650-45 |  | PT- |  |
| DWK-650-60×45 |  | | |
| DWK-650-70×50 |  | | |

2014年12月26日，我们成功研制出零级满足人眼安全标准的830nm随机点阵产生器。可广泛应用于运动物体追踪，手势识别，三维传感与测量等领域。下图为微光学组实拍的830nm下随机点阵图，中心零级功率低于0.04mw。



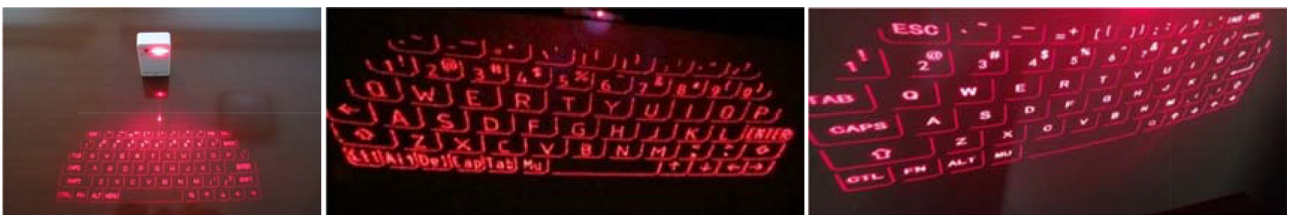
随机点阵分布结构光

线条结构光

结构光测试照片

激光虚拟键盘

激光虚拟键盘通过衍射光学元件在指定平面产生虚拟的键盘图像，再通过红外传感器感知使用者的手指位置，从而达到输入目的。目前激光虚拟键盘已应用于手机、平板电脑、便携式充电设备等。研制的虚拟键盘字体清晰、均匀性好、能量利用率高。提供标准键盘衍射器件，接受定制不同字体、不同排布、不同语言的特种键盘研发。



激光键盘实物照片

两种不同排布的激光键盘

任意图形生成器件

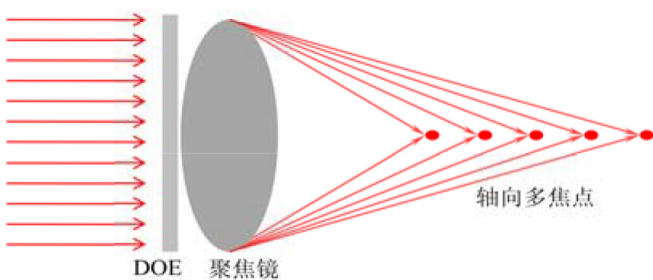
发展了基于矢量理论的设计方法，成功实现大角度、复杂图形的设计，并成功实现多台阶衍射元件的加工和制备。可根据用户需求，生成任意的图形分布，比如各种标志、人像、枪瞄、网格等衍射元件的设计和加工以及检测。



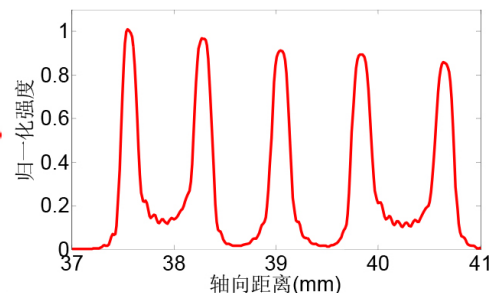
各种光分布实测结果

轴向多焦点及长焦深 DOE

轴向多焦点 DOE，当准直平行光入射时，可以在光轴方向上产生多个焦点，且焦点的数量、间距和能量比可以根据用户需求灵活地调控。长焦深 DOE，对于确定的入射光尺寸和透镜的 F 数，可以灵活调节焦深。



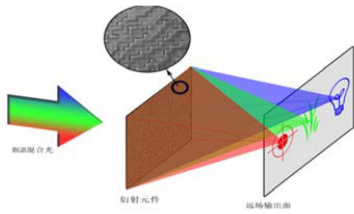
轴向 5 焦点 DOE 示意图



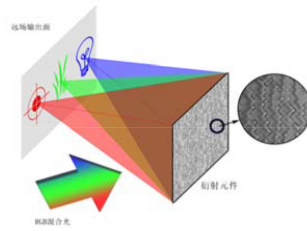
轴向 5 焦点强度分布图

多波长 DOE

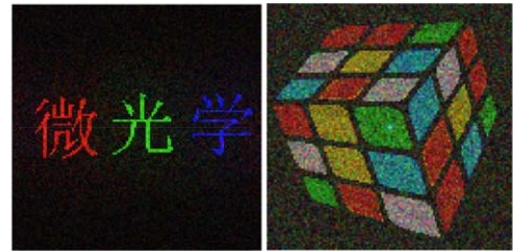
通过衍射元件实现对混合光的精确控制，在成像、全息、光镊、彩色成像像差校正、信息处理、信息传输、防伪、保密等领域有广泛的用途。



透射式多波长衍射元件



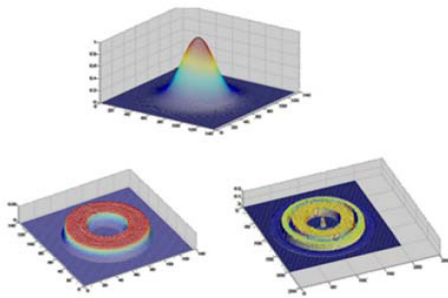
反射式多波长衍射元件



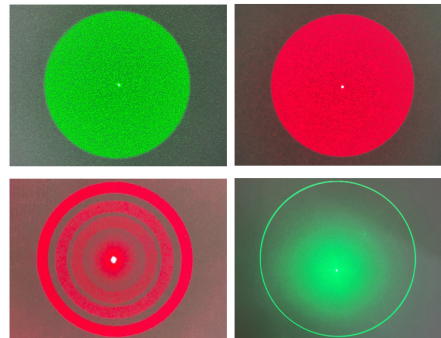
模拟效果图

整形器件

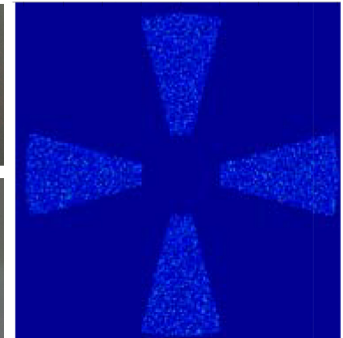
将入射光按照设计要求分成所需的平顶光、环形光、四极照明等多种，能量比可控。可应用于激光热处理、激光热负荷实验、信号处理等。



输入高斯光及整形设计结果



环形光实际测试结果



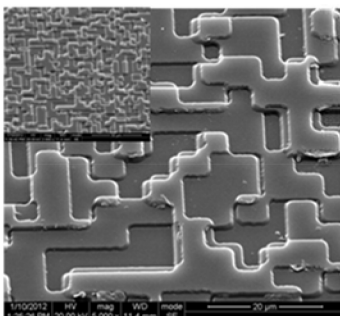
特殊需求分布

4、微纳量级结构制作

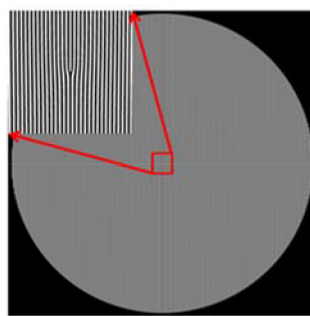
自主研发的各种图形转换软件、数据处理程序，可实现任意图形的掩模设计。光栅结构、分辨率板、任意图形各种微纳量级结构的生产和复制，以及实现金属化图形的批量化制备。

- 特征尺寸： $\geq 2 \mu m$
- 基底材料：石英、硅、锗、硒化锌等
- 金属种类：金、银、铬、铝等

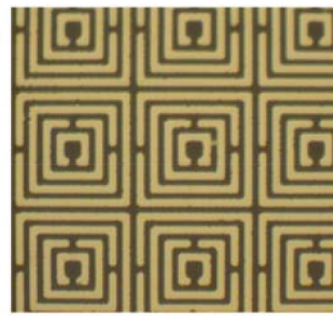
微米量级图形



多台阶微米结构图形

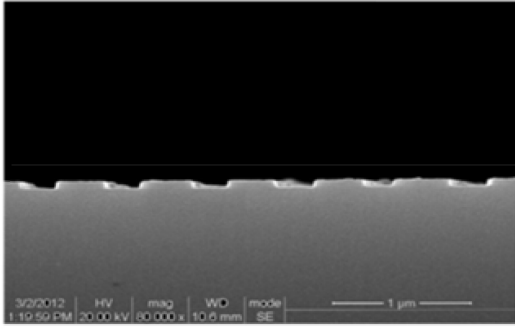


不规则光栅结构图形

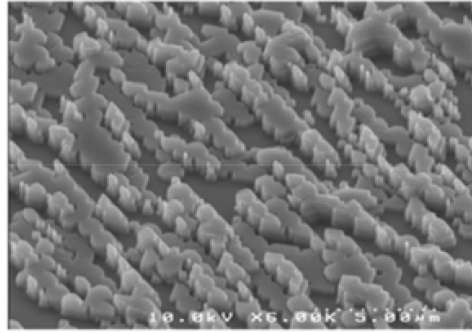


微米级金属开口环结构图形

纳米量级图形



520纳米周期，120纳米高光栅结构



四台阶纳米结构SEM照片