

## 二维四边形位置敏感探测器实验研究

张 敏<sup>1,2</sup>, 梁雁冰<sup>1</sup>

(1. 中国科学院西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710119;  
2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘 要:** 位置敏感探测器(PSD)是一种可以探测光斑重心位置的光学传感器,具有响应速度快、位置分辨率高和处理电路简单等优点,在角度测量、位置检测等精密测量系统中具有广泛的应用。介绍了在实验室内光学平台上搭建光路,选用 A823 数据采集卡,并在 DOS 操作系统 Borland C++ builder 环境下编写 C 程序连续实时采集模拟电压信号,实现 AD 转换,计算光斑位置坐标并进行误差分析。实验选用瑞典 SiTek 公司型号为 2L10\_SU65\_SPC02 的四边形位置敏感探测器,通过误差分析得出主要结论,包括 PSD 存在边缘效应,室内实验影响传感器位置坐标的主要因素是自然光和日光灯,去除影响因素后精度明显提高。

**关键词:** 位置敏感探测器; 数据采集; 位置误差; 背景杂光

**中图分类号:** V41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)02-0459-06

## Experiment on two dimensional quadrilateral position sensing detector

Zhang Min<sup>1,2</sup>, Liang Yanbing<sup>1</sup>

(1. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China;  
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Position sensing detector (PSD) is an optics sensor that can detect the center of the incident light. It has the advantages of fast response, high position resolution and simple circuit, these characteristics make it a wide range of application in precision measurement such as angle and position detection. A optical experiment on a optic bench A823 was chose for data acquisition under the DOS operating system and Borland C++ builder, C program was written for a real-time transformation between analog voltage and digital voltage, then position coordinate was calculated and the error was analyzed. 2L10\_SU65\_SPC02 PSD used in this experiment is from Sitek corporation in Sweden, through the error analysis the main conclusions include fringe effect of PSD, the main influence about the position error are natural daylight and fluorescent light. If eliminate influence factor precision will improve a lot.

**Key words:** position sensing detector; data acquisition; position error; background stray light

收稿日期: 2012-06-08; 修订日期: 2012-07-09

作者简介: 张敏(1986-), 女, 硕士生, 主要从事激光束指向稳定系统方面的研究。Email: zm\_kobe2012@126.com

导师简介: 梁雁冰(1969-), 男, 高级工程师, 硕士生导师, 主要从事经纬仪伺服控制方面的研究。Email: lyb@opt.ac.cn

## 0 引言

位置敏感探测器(PSD)是一种基于半导体横向光电效应的光电器件。横向光电效应是 Schottky 在 1930 年提出的,是指当半导体的 PN 结在受到非均匀光照射时,结的表面有电势降落并可以产生与结平面平行的光电流<sup>[1]</sup>。PSD 的结构从整体上分为一维和二维两种,其中二维 PSD 随着半导体技术与光电技术的发展出现了比较多的不同结构类型,按照信号电极形状和排布可分为单面分流型和双面分流型,其中单面分流型按照光敏面形状及光敏面周围是否附加电阻边框来说有四边形和枕形之分。

PSD 是一种对入射到其光敏面上的光斑位置敏感的连续型模拟器件<sup>[2]</sup>,当入射光斑照射在光敏面的不同位置时,由横向光电效应,四个信号电极有弱电流输出,信号处理电路将微弱的电流信号转换成电压信号并放大,再把与水平方向和垂直方向有关的两路信号做和差运算、除法运算,最终得出光斑在位置敏感探测器表面的位置坐标。与 CCD 相比,PSD 克服了阵列型器件分辨率受像元尺寸限制的缺陷<sup>[3]</sup>。缺点在于对于相同波长的光源,PSD 对弱光信号的处理会相对较难,因为 PSD 的光斑在  $x$  和  $y$  方向的坐标值取决于光的能量聚集程度,即最亮的部分,对于暗的光斑会较难探测到重心,CCD 阵列可以先设定阈值滤掉低于阈值的光信号,这样,弱光可能产生的误差就会被消除。与象限探测器相比,PSD 对光斑的大小形状没有要求,响应速度快,位置分辨率高,并且不存在探测盲区。缺点是随着光敏面的变大,线性度降低。

## 1 实验光路设计

位置敏感探测器光谱响应范围较宽,一般在 380~1100 nm 之间,峰值响应波长 900 nm。鉴于峰值响应已经为不可见光范围,在光路调整与对准中难度较大,不适合实验室内实验。所以实验的激光光源选用波长 632.8 nm 的红光 He-Ne 激光器,功率为 1 mW,光斑直径为  $\Phi 2$  mm。激光经过直角棱镜反射,再通过焦距为 150 mm 平凸透镜聚焦光斑,最后通过中心波长 633 nm、半宽 15 nm 的红光窄带干涉滤光片滤除红光以外的杂光,如图 1 所示。由于经过任何一个光学镜片都会造成光能量衰减,红光窄

带干涉滤光片对于光能量的衰减可达 85%,经测量最终到达 PSD 光敏面的光功率为 120  $\mu$ W。

实验采用线性电源对 PSD 进行双电源  $\pm 15$  V 直流供电,选取 A823 数据采集卡四路模拟输入通道 0,1,2,3 对 PSD 输出的四路模拟电压信号进行数据采集,编写 C 程序进行通道初始化并实现 A/D 转换,实验光路图如图 1 所示。

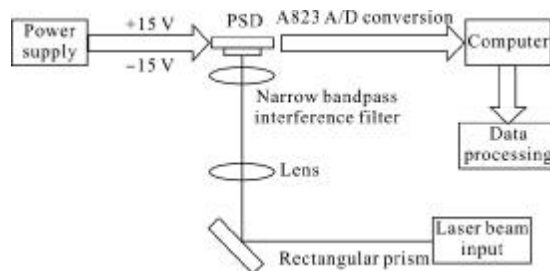


图 1 光路图

Fig.1 Light path diagram

## 2 位置敏感探测器 PSD

PSD 从本质上说是一个光电二极管,可以把打在其视场范围内的光转换成电流。PSD 在光敏面上有两个触点,对于一个二维双面分流 PSD 来说,有一对电极位于 PSD 光敏面的背面,与正面的电极对成交叉  $90^\circ$ ,产生的电流在正反面分离。光敏面相当于一个电阻率均匀的 P 型电阻,所以每个触点的电流取决于光斑打在光敏面的位置,即触点与光斑之间的距离。光斑打在 PSD 不同象限的不同位置,会有不同的模拟电压输出,它代表着光斑在 PSD 上的光能量重心位置。

文中实验选用瑞典 SiTek 公司的二维四方形位置敏感探测器,型号 2L10\_SU65\_SPC02,如图 2

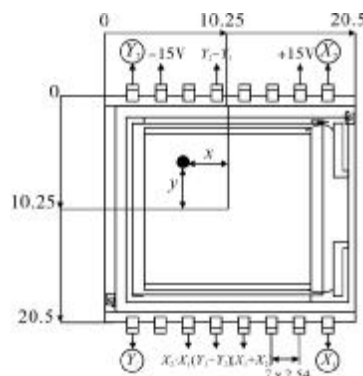


图 2 2L10\_SU65\_SPC02 位置敏感探测器

Fig.2 2L10\_SU65\_SPC02 PSD

所示,其有效光敏面积为 10 mm×10 mm,分辨率 0.1 μm,反向偏置电压±15 V,灵敏度 63 V/mW。电极输出信号电压不超过±12 V<sup>[4]</sup>。

SiTek 公司的 2L10\_SU65\_SPC02 型 PSD 是带有信号处理电路的位置敏感探测器,PSD 的信号处理电路相对简单,如图 3 所示。当光斑进入 PSD 视场内时,四个信号电极有弱电流输出,经 084CEZD6025 芯片转换成电压信号,前置放大并分别求和差信号后输出。

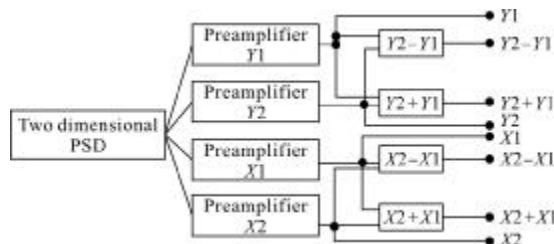


图 3 信号处理原理图

Fig.3 Signal processing

与枕形位置敏感探测器、象限探测器等不同,四边形位置敏感探测器的四个信号电极输出的模拟电压信号中,x 方向的位置坐标只与 X1、X2 有关,而与 Y1、Y2 无关,同样,y 方向的坐标只与 Y1、Y2 有关,与 X1、X2 无关。四边形位置敏感探测器的位置坐标计算公式如下:

$$x = \frac{L_x}{2} \frac{X1 - X2}{X1 + X2} \tag{1}$$

$$y = \frac{L_y}{2} \frac{Y1 - Y2}{Y1 + Y2} \tag{2}$$

式中:x、y 代表光斑在光敏面上偏离中心点的坐标值;X1、X2 是与 x 方向坐标有关的两路信号电压;Y1、Y2 是与 y 方向坐标有关的两路信号电压;Lx、Ly 分别指 PSD 在 x、y 方向的有效长度。

如图 4 所示,横坐标表示采集到的数据个数,左图为光斑静止在 PSD 上时,PSD 输出的与光斑位置有关的路模拟电压信号,右图为计算得出的

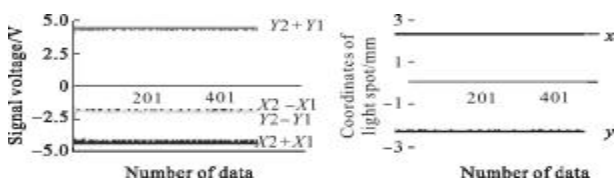


图 4 和差信号与对应坐标值

Fig.4 Sum-difference signal and coordinates

静止光斑的坐标值,由图可知,光斑位于第四象限点(2.2,-2.2)处。

当光强达到一定程度时,PSD 会达到饱和状态,即输出信号不再随光强、光斑位置变化。光强超过临界值并不会破坏 PSD,但会使其失去探测光斑位置的能力。针对任意型号的 PSD,都可以根据其灵敏度和输出信号幅值计算出 PSD 正常工作允许输入的最大光功率,对于实验中采用的四边形 PSD 计算方法如下:

$$P_{max} = 12 \text{ V/photosensitivity(V/mW)} = \frac{12 \text{ V}}{63 \text{ V/mW}} = 190.48 \mu\text{W} \tag{3}$$

结果表明,在到达 PSD 光敏面的光斑功率不超过 190.48 μW 的情况下都不会造成 PSD 的饱和。实验设计的光路到达 PSD 光敏面功率为 120 μW,未达到饱和值,不会影响探测能力。

### 3 数据采集与分析

PSD 是一种模拟光电器件,实验采用带有 A823 数据采集卡的工控机对 PSD 进行数据采集。选用四路 A823 模拟输入通道,对 PSD 输出的 X2-X1,X2+X1,Y2-Y1,Y2+Y1 四路模拟电压信号进行数据采集,并转换成数字信号。在 DOS7 操作系统 Borland C++ builder 环境下编写 A/D 转换 C 语言代码。调用初始化函数 A823\_Initialize(),对四路模拟输入通道初始化,设置增益模式,调用以查询方式传输数据的 A/D 转换函数 A823\_AD\_PollingVar(),存储转换后的数字量到数组中。实验对每一路信号采集七组并进行数据处理后再应用,剔除不合格的数据以提高采样精度。最终根据四边形 PSD 位置坐标计算公式在程序中完成 x、y 方向的光斑位置偏移量的计算,部分程序如下。

```
void main()
{
    .....
    for(channel=0;channel<4;channel++)
    {A823_Initialize(channel,BASEADD_AD,-1,-1);}
    while(!kbhit())
    {
        for(j=0;j<7;j++)
        {
            A823_AD_SetChGainMode(channel,A823_BI_05,
```

```

POLLING_MODE);
psd[j]=(float)A823_AD_PollingVar();//AD 采样
psd1_x_diff[0]=psd1_x_diff[0]+psd[j];
}
psd_xy_min=psd_xy_max=psd[0];
for(i=0;i<7;i++)
{
    if(psd[i]>psd_xy_max)
    {psd_xy_max=psd[i];}
    if(psd[i]<psd_xy_min)
    {psd_xy_min=psd[i];}
}
psd_xy_sumdiff[2]=(psd_xy_sumdiff[0]-psd_xy_max-
psd_xy_min)/5.0;
volt_analg=(float)((psd_xy_sumdiff[2]-2048.0)/
2048.0)*10.0;//10V 增益
}
}

```

表 1 为与光敏面内静止光斑输出的模拟电压信号对应的数字值。A/D 转换初始化时将增益设置为 10 V, 12 位分辨率的 A/D 转换, 对应于 0 V 的数字值为 2 048, 0~2 048 对应的模拟电压范围 -10~0 V, 2 048~4 096 代表 0~10 V<sup>[5]</sup>。表 1 中是经过处理的数字量, 再根据四边形 PSD 的位置坐标计算公式定义相对应的变量, 编写程序, 即可求出静止光斑坐标。

表1 光敏面内静止光斑数字电压信号值

Tab.1 Digital voltage of the static light spot in the active area

X2-X1	X2+X1	Y2-Y1	Y2+Y1
1 862.6	1 436.8	2 239.0	2 669.8
1 860.6	1 430.8	2 239.6	2 673.0
1 862.4	1 434.6	2 239.0	2 668.2
1 860.6	1 431.4	2 240.4	2 672.8
1 861.2	1 431.2	2 240.2	2 673.0
1 864.2	1 435.2	2 238.4	2 668.4
1 865.8	1 443.8	2 236.2	2 671.2
1 860.2	1 447.4	2 235.8	2 672.4
1 861.0	1 431.2	2 239.8	2 670.0
1 860.8	1 432.8	2 239.2	2 672.6

## 4 实验及结论

实验室内, 在光学平台上搭建已设计光路, 线性电源向位置敏感探测器提供 $\pm 15\text{V}$ 反向偏置电压, 入射激光经过光路后打在 PSD 视场范围内, 应用工控机、A823 数据采集卡采集 PSD 输出模拟电压, 进行 A/D 转换。对于采集到的数据初步分析, 可以得出杂散光对 PSD 信号有明显干扰。根据 PSD 型号设计遮光罩, 对比有无杂散光, 得出以下结论。

在有无杂光干扰的情况下, 针对 PSD 上同一静止光斑, 测量 x 方向(y 方向类似)上的位置坐标误差值。如图 5 所示, 横坐标表示 A/D 采集数据个数, 图中标有 Error1 的误差曲线代表有杂时光斑在 x 方向的探测误差, 标有 Error2 的误差曲线为去除杂光后光斑在 x 方向的探测误差。分析误差曲线并结合 PSD 的探测原理可知, 在自然光和室内日光灯所构成的背景杂光下, PSD 探测的是光源光斑、室内自然光和室内日光灯三种混合光的能量重心。

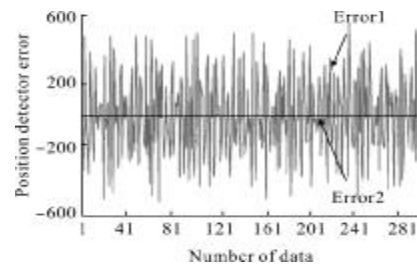


图5 有无杂光时位置误差对比

Fig.5 Comparison of position errors

在背景杂光干扰下, PSD 输出位置坐标误差在  $-600\sim 600\ \mu\text{m}$  范围内, 如图 5 中 Error1 所示。当使用遮光罩滤除背景杂光时, 在相同条件下, 测得 x 方向上的位置坐标误差大大降低, 范围在  $-10\sim 10\ \mu\text{m}$  之间, 误差明显变小, 如图 5 中 Error2 所示。由功率计测得, 室内自然光为几个到十几个纳瓦, 而室内日光灯功率为  $21\sim 26\ \mu\text{W}$ , 到达光敏面的光斑功率为  $120\ \mu\text{W}$ 。比较目标光斑与室内日光灯功率值并结合图 5 中的测量结果分析得出, 日光灯对位置敏感探测器的影响很大, 针对室内实验, 使用位置敏感探测器时滤除杂光是必要的。

在无杂光干扰下, 分别微调入射光斑到 PSD 视场内的不同位置, 当光斑位于点  $(0.2, 0.2)$ ,  $(2.2, 2.2)$ ,

(4.4,4.4)时,分别采集 PSD 输出与光斑位置有关的模拟电压信号并进行 A/D 转换,以  $x$  方向为例( $y$  方向类似)计算得出的位置坐标误差值如图 6 所示。在中心坐标点(0.2,0.2)处,PSD 探测误差值在  $-10\sim 10\ \mu\text{m}$  范围内,如图中 Error\_0.2 mm 所示。当光斑位于坐标点(2.2,2.2)时,探测误差会变大,在  $-30\sim 30\ \mu\text{m}$  范围内,如图中 Error\_2.2 mm 所示。在接近边缘点(4.4,4.4)时,位置探测误差继续上升,可以达到  $-60\sim 60\ \mu\text{m}$ ,如图中 Error\_4.4 mm 所示。可以看出,在  $10\ \text{mm}\times 10\ \text{mm}$  的视场范围内,PSD 探测光斑位置坐标误差随着光斑偏离坐标原点距离的增大而逐渐增大。这是由于 PSD 是 PIN 结构,信号电极输出的电流很微弱,P 型层电阻率分布的均匀程度对弱电流造成的影响<sup>[6]</sup>。所以针对位置敏感探测器来说,远离坐标原点时,对目标光斑的探测精度下降,误差变大,在实时跟踪系统等实际应用中都会造成影响。

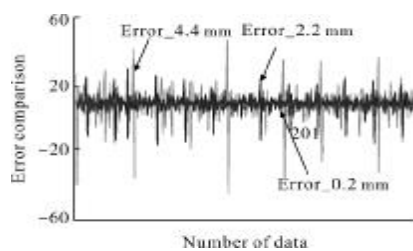


图 6 中心点与边缘点误差对比

Fig.6 Error comparison between center and edge point

由前面的分析可知,PSD 光敏面接收到的光包括光源光斑和室内背景杂光,其中室内日光灯功率较高,对 PSD 信号电极输出信号有较大影响,当 PSD 接收  $120\ \mu\text{W}$  功率的光源光斑时, $21\sim 26\ \mu\text{W}$  的日光灯对 PSD 输出电压信号的影响是不容忽视的。实验用安捷伦示波器测量信号电极输出的模拟电压波形,固定光源,保持目标光斑在 PSD 光敏面上的位置不变的情况下,测得有日光灯存在和关闭日光灯时 PSD 输出信号波形对比。仅以  $x$  方向为例( $y$  方向类似),图 7 左图所示为日光灯造成的信号波动,右图所示为采用遮光罩去除了日光灯等杂光对 PSD 的干扰后 PSD 输出的信号波形。从对比可以看出,干扰信号幅值与频率固定,幅值电压为  $0.8\ \text{V}$ ,频率为  $100\ \text{Hz}$ 。从这种干扰现象可以看出,室内自然光功率较低,针对室内的 PSD 实验,日光灯是主要影响 PSD 信号波形的干扰源。而 PSD 作为光电传感器件

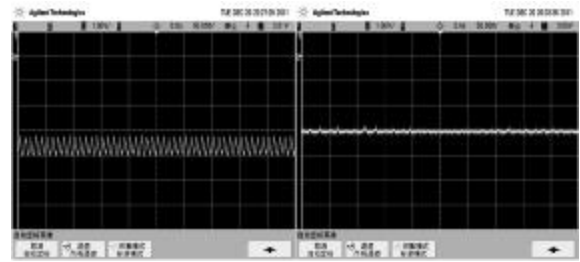


图 7 背景光对 PSD 信号的干扰

Fig.7 Background light interference for the output-signal

对光信号极其敏感,所以针对将 PSD 作为位置反馈元件的任何控制系统来说,为了提高控制系统精度,对 PSD 进行遮杂光处理是必要的。

## 5 结束语

文中主要介绍了型号为 2L10\_SU65\_SPC02 PSD 的分析实验。通过实验光路将光功率为  $1\ \text{mW}$  的光源经光学波片衰减到  $120\ \mu\text{W}$ ,并通过微调光学支架将光斑聚焦在 PSD 光敏面上,在  $\pm 15\ \text{V}$  反向偏置电压作用下,光被转换成电流,通过信号处理及 A823 数据采集分析,造成信号波动的原因主要在于实验室内杂光, $21\sim 26\ \mu\text{W}$  的日光灯会造成 PSD 输出波动,测得信号波动幅值  $0.8\ \text{V}$ ,频率  $100\ \text{Hz}$ 。当干扰信号存在时,采集 PSD 输出信号并计算光斑在  $x$  和  $y$  方向的位置坐标,会有  $-600\sim 600\ \mu\text{m}$  的误差。当使用遮光罩滤除杂光时,误差降至  $-10\sim 10\ \mu\text{m}$ 。可见,PSD 对于除入射光斑以外的杂散光也非常敏感。也说明了在高精度测量系统中,为得到 PSD 传感器输出的较高精度的位置测量值,滤除除光源以外的任意杂光是必要的,同时也验证了 PSD 的边缘效应。实验主要针对二维四边形 PSD 搭建光路,并采集其输出模拟电压信号,进行 A/D 转换后分析。对比有无杂散光干扰下 PSD 对于光斑的探测误差。由实验数据所绘制的误差曲线充分说明了在 PSD 的应用过程中处理杂散光的必要性。在实验中,线性电源存在  $\pm 10\ \text{mV}$  的噪声,也将对位置检测造成误差,也可以设置前置滤波滤除噪声,进一步提高 PSD 测量精度。但是,实验的不足之处在于 PSD 的分辨率可以达到  $0.1\ \mu\text{m}$ ,而实验中即使做了遮去杂散光处理,对于光斑的探测误差依然达到  $\pm 10\ \mu\text{m}$  左右,难以达到理论上的分辨率指标。所以,对于 PSD 的应用过程中应该在杂

散光处理以及供电电源选择方面继续做出改善。

文中所介绍的实验设计、设备选型、数据采集与分析等均为整体实验的初级阶段。针对实验中的杂光等各种因素对 PSD 的影响将会有后续实验,会通过文章的形式给出更详细的理论分析与实际测量数据分析。

#### 参考文献:

- [1] Huang Meizhen. Study on position sensitivedetector [D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2001. (in Chinese)  
黄梅珍. 位置敏感探测器的研究 [D]. 浙江: 浙江大学, 2001.
- [2] Tao Zhongxiang. Study on helmet tracker utilizing a position sensitive detector [D]. Changchun: Changchun Institute of Optics Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, 2004. (in Chinese)  
陶忠祥. 位置敏感探测器在头位跟踪中的应用研究[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2004.
- [3] Yamamoto K, Yamaguchi S. New structure of two - dimensional position sensitive semiconductor detector and application [J]. IEEE Trans Nucl Sci, 1985, NS -32 (1): 438-442.
- [4] SiTek Electro Optics AB datasheet. High linearity position sensing detector with signal processing circuit [Z]. Sweden: SiTek, 2008.
- [5] ICP DAS. A -823PGH/PGL DOS Software Manual.1.5 [Z]. ICP DAS, 2009.
- [6] Toyomi Fujita. New types of semiconductor image position sensitive device[J]. Optical Engineering, 2009, 48(9): 1-5.

#### 下期预览

## 波前分割 DOE 阵列半导体激光器光束的品字形整形

石振东<sup>1,2</sup>, 李森峰<sup>1,2</sup>, 邱传凯<sup>1</sup>, 姚 军<sup>1</sup>, 周崇喜<sup>1</sup>

(1. 中国科学院光电技术研究所 微细加工光学技术国家重点实验室, 四川 成都 610209;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘 要:** 半导体激光器(LD)输出光束受工作电流、个体差异的影响, 发散角、输出光强受此影响而出现波动。常规衍射光学元件(DOE)的激光光束整形设计只针对特定的输入输出光场, 使用宽容度比较小。在 LD 的整形中利用 DOE 阵列化的处理, 输入光场被分割成许多小单元, 不同强度的光重新在成像平面内预定的区域内叠加, 实现对光束的整形。用均匀平面波设计阵列 DOE 每个单元, 把高斯分布的球面波整形成品字形光强分布, 衍射效率 90.53%, 均匀性在 96%附近; 发散角在快、慢轴方向上 2°~16°变化, 均匀性 95.8%以上、衍射效率 90%以上; 在离焦量 $\pm 16 \mu\text{m}$ 内, 光束质量变化不大。阵列 DOE 提高了 LD 光束整形系统的稳定性。