

位置指示光源对 PSD 定位精度影响的实验研究

吕爱民

(88200 部队, 北京, 100012)

袁红星 贺安之

(南京理工大学应用物理系, 南京, 210094)

摘要: 简单介绍了 PSD 在国内外发展和研制动态, 并就位置指示光源对 PSD 定位精度的影响进行了实验研究。实验证明: 在位置测量时, 指示光源强度波动对 PSD 定位精度并非像一般理论所认为的那样没有影响, 而只是在特定范围内没有影响或影响甚微。同时, 实验还表明, 光源的光斑大小、形状对位置精度也有一定的影响。

关键词: PSD 光源 光斑 定位精度

Experimental study of the effect of light source on position precision of PSD

L Aimin^{}, Yuan Hongxing, He Anzhi*

(* 88200 Army, Beijing, 100012)

(Department of Applied Physics, Nanjing University of Sci. and Tech., Nanjing, 210094)

Abstract: In this paper, the development of PSD in land and abroad are briefly introduced, and some experiments for the study of the effects of the light source on the position precision of PSD are performed as well. It is proved that the fluctuation of the light intensity can lead to the loss of the position precision of PSD, the results are far from those derived from theoretical analysis: there is no effect of light intensity on the position precision. At the same time, the experiments also show that the size and shape of the light speckle can also exert certain effects on the ultimate position precision.

Key words: PSD light source light speckle position precision

引 言

随着 PSD 在位置检测技术中迅速发展, 有必要对 PSD 本身特性进行研究, 更有必要研究其位置指示光源对 PSD 位置精度的影响, 从某种意义上讲, 它对位置精度的影响起着关键性的作用。光源太弱、干扰太大, 不能准确定位, 太强又会使器件饱和而不能工作。文献 [1, 2] 所述“PSD 位置探测精度和位置指示光源的强度、光斑尺寸大小都无关”论断的成立是有条件的。我们通过反复试验得出对 PSD 位置精度影响最小的实验条件。

PSD 是一种新型的半导体位置信息连续输出探测器, 属于分割型器件, 也可称为坐标电池。当指示光源照射到光敏面上某点时, 由于平行于结面的横向电场作用, 使光生载流子形成向两端电极流动的电流 I_1 和 I_2 , 它们之和等于总电流 I_0 , 当指示光源之光点在两极间移动时, 两端输出极的输出电流信号也将随之发生变化, 由此经换算可得出指示光源之光点在 PSD 光敏面上的位置坐标。

PSD 的理论模型诞生于 30 年代^[3], 1957 年由 Wallmark J T 首次提出半导体横向光电效应, 随后 Lucovssky G, Connors W P 以及 Narust 等人对它做了进一步的研究^[4]。60 年代迅

速发展并逐渐趋于成熟; 70 年代发展了表面分割型和两面分割型器件; 为了改善器件的性能参数, 80 年代发展了改进分割型器件; 90 年代改进表面分割型器件又得到进一步发展, 使得结构更加完善, 性能参数进一步提高^[2]。

如今, 美国、日本、英国等发达国家在 PSD 研究和制造方面已具有相当高的水平, 其产品性能日臻完善。50 年代至 80 年代主要是注重 PSD 特性研究及其从实验研究转化为产品开发的阶段, 关于位置敏感器件的专利申请在日本还只是 90 年代初的事情。所以, 过去在应用上不如 CCD 器件那样广泛。在国内, 有关 PSD 报道出现在 70 年代, 当时也只是一些有关 PSD 原理及特性方面的报道, 且大部分都是些译文, PSD 本身及其应用方面的研究发展比较缓慢, 只是近年来才引起重视, 90 年代在应用方面的报道就比较多了。总的来说, 目前国内的 PSD 还处于研究和开发阶段。

在应用方面偶见报道的有: 枪管振动、箭弹扰动、距离探测、车船碰撞、航空对接、光学定位跟踪、角度测量、地震监测、激光束校准、平面度测量、自动检焦、医疗仪器、机器人视觉、天文观测、高能物理、分析化学、长直导轨检测、身管弯曲度测量^[3~8], 这些应用研究大都处于原理性摸索阶段。真正将 PSD 应用到检测中并且备有数据采集、数据处理、结果输出等实时检测系统, 在国内还未见报道。我们将 PSD 应用到攻关项目检测系统中作为位置传感器, 并报道了 PSD 的特性研究。

1 实 验

1.1 PSD 和激光器固定装置

光学平台上放置一光学导轨, 其上固定两具有三维可调能力的活动支架, 并将激光器和 PSD 分别固定在其上。

1.2 实验条件

所用 PSD 是日本滨松公司生产的表面分流(枕形)改进型二维(12mm × 12mm) S1880 型位置灵敏传感器; 位置指示光源是采用 3~5V 直流供电的 3mW 半导体激光器, 调整电源使得光阑出射光功率稳定在 0~1mW 范围内, 可利用光功率计监测其波动。C4674 是专门为表面分流改进型二维 PSD 设计的信号处理电路, 输入端口由(x_1, y_1, x_2, y_2, VR)组成, 输出端有 x 和 y 坐标输出, 指示强度 V_3 等。由 V_3 的输出电压值便可实时监视位置指示光强波动。C4674 不需进行校正, 可以提供落在二维 PSD 上的位置指示光点的位置数据; 加上 PCL-711S 数据采集卡与计算机相连可实现实时处理。

2 实验结果与讨论

2.1 位置指示光源强度对位置精度的影响

为消除背景光的影响, 本实验是在暗室中进行的。调整半导体激光器供电电源使指示光源强度变化。具体步骤是: 首先调整稳压电源, 让 V_3 指示电压分别为 1.0V, 2.0V, 3.0V 9.0V, 10.0V, 并记录下此时由光强变化而导致 PSD 上同一点的位置坐标的变化。我们对 (0.031, 0.004), (1.448, 1.397), (-2.753, -2.696), (2.734, +2.735), (2.777, -2.733) 5 个不同的坐标点进行了 3 次重复测量。表 1 是同一坐标点光强电压值变化时的 3 组重复测量结果。

Table 1 Change the light intensity, test the same point three times and record the results($V_R= 5V$) (unit: mm)

No.	voltage of light intensity(V)											
	7.7	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	
1	x	2.737	2.339	2.571	2.648	2.685	2.708	2.722	2.731	2.736	2.742	2.746
	y	2.736	2.292	2.550	2.635	2.675	2.701	2.716	2.726	2.733	2.740	2.745
2	x	2.734	2.323	2.567	2.644	2.582	2.705	2.719	2.729	2.737	2.741	2.744
	y	2.731	2.567	2.545	2.631	2.673	2.698	2.717	2.728	2.736	2.743	2.748
3	x	2.734	2.332	2.566	2.645	2.684	2.705	2.719	2.728	2.736	2.740	2.744
	y	2.735	2.285	2.549	2.638	2.679	2.703	2.721	2.731	2.739	2.744	2.752

根据表1的实际数据计算标准误差估计值:

$\sigma_{x(1\sim 5)} = 0.1389$, $\sigma_{x(1\sim 5)}$ 为光源强度电压从1V~5V时的x标准估计值, $n = 15$

$\sigma_{y(1\sim 5)} = 0.1570$, $\sigma_{y(1\sim 5)}$ 为光源强度电压从1V~5V时的y标准估计值, $n = 15$

$\sigma_{x(6\sim 10)} = 0.003$, $\sigma_{x(6\sim 10)}$ 为光源强度电压从6V~10V时的x标准估计值, $n = 15$

$\sigma_{y(6\sim 10)} = 0.009$, $\sigma_{y(6\sim 10)}$ 为光源强度电压从6V~10V时的y标准估计值, $n = 15$

$\sigma_{x(1\sim 10)} = 0.1279$, $\sigma_{x(1\sim 10)}$ 为光源强度电压从1V~10V时的x标准估计值, $n = 30$

$\sigma_{y(1\sim 10)} = 0.138$, $\sigma_{y(1\sim 10)}$ 为光源强度电压从1V~10V时的y标准估计值, $n = 30$

V_R 为反偏电压值。 $\sigma = \sqrt{\sum U_i^2 / (n - 1)}$, $U_i = x_i - x$

光源强度电压值与照度的对应关系如表2所示。

Table 2 Intensity of illumination relevant to intensity of light

voltage of light intensity(V)	1.080	2.080	3.030	4.020	5.080	6.060	7.010	8.000	9.000	10.08
lx	1.042	2.008	3.023	4.034	5.054	6.051	7.040	8.040	9.066	9.915

从标准差 σ 可以看出, 光强电压从6V到10V之间变化时位置标准差 $\sigma_{x(6\sim 10)} = 0.003$ 和 $\sigma_{y(6\sim 10)} = 0.009$ 相对较小, 故任一单次测得值对算术平均值的分散度就小。而光强电压从1V至5V之间变化时, σ 的数值则较大, 从而测量精度便有所下降, 所以, 光强电压指示在6V至10V之间变化时, 有很高的测量精度,

误差在微米量级。以相同的方法处理可算出其它几个特定点的标准偏差结果列于表3。

2.2 位置指示光源光斑大小对定位精度的影响

有些文献认为, 入射到PSD光敏面上的光斑大小对位置检测没有影响。而实验分析表明, 投射到PSD光敏面光斑尺寸会影响PSD定位的重复精度, 实验也证明了这一分析的正确性。当光斑直径为1mm时, 用贝塞尔公式统计计算, 6次定位测量的标准偏差为 $2.55\mu\text{m}$, 当

Table 3 The standard deviations of five different positions

coordinate		the range of voltage of light intensity			
		(1~5V)		(6~10V)	
x	y	$\sigma_{y(1\sim 5)}$	$\sigma_{y(1\sim 5)}$	$\sigma_{x(6\sim 10)}$	$\sigma_{x(6\sim 10)}$
0.031	0.004	0.004	0.006	0.001	0.003
1.448	1.395	0.018	0.020	0.000	0.002
-2.753	-2.696	0.149	0.150	0.008	0.008
2.734	2.735	0.138	0.157	0.006	0.008
2.777	-2.733	0.097	0.115	0.006	0.008

光斑为 2.5mm 时,标准偏差约 $4.7\mu\text{m}$,当光斑增加到 5.5mm 时,标准偏差高达 $13\mu\text{m}$ ^[10]。因此,在实际工作中,投射到 PSD 光敏面上的光斑尺寸应尽可能小。

2.3 位置指示光源光束倾斜对定位精度的影响

在实际应用中,光束不可能完全与 PSD 光敏面法线平行,而是在水平面上有一定夹角。这时,圆形光斑在 PSD 光敏面上的投影呈椭圆状,夹角越大,长轴越长。因此,这种情况相当于大光斑入射,其定位精度会降低。文献[10]的实验表明,1mm 直径的 He-Ne 激光束在 15° 角入射情况下,6 次测量的标准差为 $4.4\mu\text{m}$,比正入射时大了近 1 倍。

2.4 位置指示光源的光斑形状对定位精度的影响

前已述及,光源的光强和光斑直径的大小都会影响 PSD 的定位精度。有时激光器输出的并不是严格的基模高斯光束,由于散斑效应,在较大范围出现不规则不对称的光强分布,这时的定位精度必然下降。因此,不论是一维或是二维 PSD,均要求入射光斑呈对称分布,必要时应采取适当的技术措施予以保证。

3 结 论

定位精度除了 PSD 本身电参数特性以外,位置指示光源的强度,光斑直径大小和光束的倾斜都对 PSD 的定位精度有影响,在某些场合甚至成为主要的因素,光强电压值稳定在 6~10V 之间,测量标准差为几个微米;而在 1~5V 之间,测量标准差达近 $150\mu\text{m}$,是 6~10V 之间的 100 多倍。所以,实际测量时,光强电压值应稳定在 6~10V 之间,即可满足高精度的测量要求。

光斑直径在 50~500 μm 时,对测量精度几乎没有影响。光斑直径越大,定位精度越低,入射光束的倾斜角越大,定位精度越低。

另外,从表 1 还可以看出,在 PSD 尚未饱和而光强电压增加时,同一点位置坐标值有随之增加的趋势,这一点有待于进一步理论探讨。

参 考 文 献

- 1 贺安之,阎大鹏编著. 现代传感器原理及应用. 第一版,北京:宇航出版社,1995
- 2 钱浚霞,郑坚立编著. 光电检测技术. 第一版,杭州:机械工业出版社,1993
- 3 相里斌,李英才. 光子学报,1993;(12):34~39
- 4 朱尚明. 仪表技术与传感器,1996;(2):39~40
- 5 王爵树,张新. 集成电路通讯,1995;(3):27~30
- 6 姚传利. 测试技术学报,1996;(2):619~627
- 7 吕爱民,袁红星,贺安之. 南京理工大学学报,1996;(10):475~480
- 8 吕爱民,王志兴,加安之. 传感器技术,1996;(5)
- 9 缪家鼎编. 光电技术基础. 杭州:浙江大学出版社,1988
- 10 张小星. 测试技术学报,1996;(2):483~488
- 11 L. A M, Yuan H X, He A Zh. SPIE, 2894: 219~223

作者简介:吕爱民,男,1960 年出生。博士。主要从事光电检测及现代传感器等方面的研究工作。

收稿日期:1997-05-26