

入射光强和背景光对二维光电位置敏感器件干扰的影响

吕爱民 袁红星 贺安之

(南京理工大学应用物理系, 南京 210094)

摘 要 光电位置敏感器件(PSD)是一种可直接对其光敏面上的光斑位置进行检测的光电器件,可构成非接触高精度动态测量系统。光电位置敏感器件在使用中的关键问题是如何定量确定入射光强的大小和克服各种背景光干扰,以提高检测的精度和可靠性。根据光电位置敏感器件的原理和光点位置方程,找到有背景光作用于光电位置敏感器件上位置输出的关系及背景光导致的位置误差的实验数据,同时研究入射光强对光电位置敏感器件位置输出误差最小的定量关系。

关键词 光电位置敏感器件, 入射光强, 背景光, 干扰。

1 引 言

光电位置敏感器件是一种可以直接将作用在其光敏面上的光点位置转化为其相关电信号的一种非面阵或线阵的连续分布的光敏器件^[1-3]。它具有位置分辨率高、响应速度快、适配电路简单、便于与微机接口等优点。利用光电位置敏感器件构成的光电位置检测系统,可直接测出目标的位置和动态位移,特别适合要求实时控制、快速显示反馈的测控现场^[4-7]。光电位置敏感器件工作时会受到入射光以外的其它背景光干扰,影响测量的精度和可靠性,为此在测量时必须研究背景光对位置精度的影响及克服干扰的办法,入射光源的强弱对光电位置敏感器件位置误差影响也是一个值得注意的因素。光强太弱,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“光电位置敏感器件位置测量与光强……无关”论断的成立是有局限性的。本文通过反复试验得出了对光电位置敏感器件位置精度影响最小的实验条件。

2 二维光电位置敏感器件的工作原理

无论一维光电位置敏感器件还是二维光电位置敏感器件其基本原理是一样的,它们都是在片状本征半导体硅的表面通过掺杂工艺形成面状的PN结,灵敏表面薄层电阻线性均匀一致,在光敏面的两对对边上的几何中心点位置引出四个收集光电流的电极。当入射光束落在光敏面上形成光点时,光能将转换成穿过PN结的光电流,此电流在光敏面电阻层上以面电流的形式扩散并被光电位置敏感器件边沿的四个电极收集。由于光敏面电阻的作用,当光点

位置距各电极距离不同时, 四个电极收集到的电流强度也不相同, 各电极收集到电流强度与光点在光敏面上位置唯一对应。取光敏面的几何中心位置为二维 $x-y$ 坐标系原点, 四个电极电流分别为 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 。根据光电位置敏感器件输出电流计算其光敏面上光点位置的方程为:

$$\begin{aligned} x &= \frac{(I_{x_2} + I_{y_1}) - (I_{x_1} + I_{y_2})}{I_{x_1} + I_{x_2} + I_{y_1} + I_{y_2}} \\ y &= \frac{(I_{x_2} + I_{y_2}) - (I_{x_1} + I_{y_1})}{I_{x_1} + I_{x_2} + I_{y_1} + I_{y_2}} \end{aligned} \quad (1)$$

对每一器件来说电极间的距离是一定值, 是一常量系数, 在讨论时没有分析。由方程可看到, 通过对各电极收集到的电流强度的运算, 即可求出光点在光电位置敏感器件光敏面上的位置。

3 入射光源强度对光电位置敏感器件位置精度的影响

3.1 实 验

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, 并将激光器和光电位置敏感器件分别固定在其上。所用光电位置敏感器件是日本滨松公司生产的表面分流(枕形)改进型二维(12×12 mm)S1880 型位置灵敏传感器; 位置指示光源采用 3~5 V 直流供电的 3 mW 半导体激光器, 调整电源使得光阑出射光功率稳定在 0~1 mW 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光电位置敏感器件设计的信号处理电路, 输入端口由 $(x_1, y_1, x_2, y_2, V_R)$ 组成, 输出端由 x 和 y 坐标输出, 指示强度为 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, 可以提供落在二维光电位置敏感器件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, 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: 首先调整稳压光源使 V_3 输出为 7.5 V。再调整三维活动支架使得指示光点入射到其一特定位置, 然后只调整稳压电源, 让 V_3 指示电压分别为 1.0 V、2.0 V、3.0 V……9.0 V、10.0 V, 并记录下此时由光强变化而导致光电位置敏感器件上同一点的位置坐标的变化。对(0.031, 0.004)、(1.448, 1.397)、(-2.753, -2.696)、(2.734, +2.735)、(2.777, -2.733)五个不同的坐标点进行了三次重复测量。表 1 是同一坐标点光强电压值变化时的三组重复测量结果。

Table 1. Measurement result of same point for different laser voltage ($V_R = 5$ V)

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

通过表 1 实际数据, 计算标准差估计值:

$\sigma_{x(1-5)} = 0.1389$, $\sigma_{x(1-5)}$ 为光源强度电压从 1 V~ 5 V 时的 x 标准估计值, $n = 15$
 $\sigma_{y(1-5)} = 0.1570$, $\sigma_{y(1-5)}$ 为光源强度电压从 1 V~ 5 V 时的 y 标准估计值, $n = 15$
 $\sigma_{x(6-10)} = 0.003$, $\sigma_{x(6-10)}$ 为光源强度电压从 6 V~ 10 V 时的 x 标准估计值, $n = 15$
 $\sigma_{y(6-10)} = 0.009$, $\sigma_{y(6-10)}$ 为光源强度电压从 6 V~ 10 V 时的 y 标准估计值, $n = 15$
 $\sigma_{x(1-10)} = 0.128$, $\sigma_{x(1-10)}$ 为光源强度电压从 1 V~ 10 V 时的 x 标准估计值, $n = 30$
 $\sigma_{y(1-10)} = 0.138$, $\sigma_{y(1-10)}$ 为光源强度电压从 1 V~ 10 V 时的 y 标准估计值, $n = 30$ 。
 光源强度电压值与照度的对应关系如表 2 所示

Table 2. Illuminance according to laser voltage

laser voltage/V	1.080	2.080	3.030	4.020	5.080	6.060	7.010	8.000	9.000	10.08
illuminance/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 6 V 到 10 V 之间变化时位置标准差 $\sigma_{x(6-10)} = 0.003$ 和 $\sigma_{y(6-10)} = 0.009$ 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 5 V 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 6 V 至 10 V 之间变化时有很高的测量精度, 误差在微米级。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。

Table 3. Standard deviation for five positions

σ		laser voltage		laser voltage	
		(1~ 5 V)		(6~ 10 V)	
position					
x/mm	y/mm	$\sigma_{y(1-5)}$	$\sigma_{y(1-5)}$	$\sigma_{x(6-10)}$	$\sigma_{y(6-10)}$
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

4 背景光对光电位置敏感器件位置精度的影响

在检测中如果除了入射光源外, 还有其它背景光作用于光电位置敏感器件上, 则无疑会干扰系统的正常检测, 使精度降低, 因此检测时必须考虑背景光干扰的影响。

把作用光电位置敏感器件上的光源分为背景光和入射位置指示光源两大类。背景光一般情况下落在光电位置敏感器件上呈均匀的光强分布, 光能分布的几何中心与光电位置敏感器件几何中心重合, 在其作用下的光电位置敏感器件各电极收集到的电流强度相等, 因此背景光的作用等效于在光电位置敏感器件光敏面几何中心作用一个光点, 入射位置指示光源在光电位置敏感器件光敏面上某个位置形成真实的光点, 其位置取决于光源的方位。这样, 在测量时, 光电位置敏感器件的输出信号是入射光源和背景光源共同作用的结果。而光电位置敏感器件在两个光点共同作用下输出的信号是它们叠加的结果, 也就是在方程中每项中都有一个背景光干扰作用的分量。

设入射光源单独作用时光电位置敏感器件输出的总电流为 I_0 , 背景光单独作用时光电位置敏感器件输出的总电流为 I_b , 令 $K = I_0/I_b$, 由(1)式可推导出

$$x = (1 + K^{-1})^{-1}x_0 + (1 + K)^{-1}x_b \quad (2)$$

$$y = (1 + K^{-1})^{-1}y_0 + (1 + K)^{-1}y_b \quad (3)$$

$I_0 \propto$ 入射光源光强, $I_b \propto$ 背景光源干扰光强, 则系数 K 即为两光点光强之比。(2)式、(3)式表明, 当入射光源和背景光共同作用于光电位置敏感器件上时, 由光电位置敏感器件输出电流算出的位置坐标是上述两个光点作用时的内插值。经分析可见有背景光共同作用于光电位置敏感器件上时, 位置坐标比入射光源真实坐标靠近光电位置敏感器件中心。实验结果也证实这一点。

4.1 实 验

将激光器和光电位置敏感器件按要求固定在光学平台上, 调节激光器电源使之光强电压为最佳值 7.5 V, 其它条件不变、只改变背景光条件, 实验方法是在同一点对六个不同背景光条件下各采样 15 次, 实验结果如表 4 所示。

Table 4. The experimental result for same point under different background light

No.	a		b		c		d		e		f	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1	-2.079	2.181	-2.068	2.165	-1.965	2.068	-1.764	1.847	-0.442	0.681	-0.524	0.791
2	-2.080	2.184	-2.068	2.165	-1.961	2.063	-1.750	1.839	-0.443	0.683	-0.524	0.792
3	-2.081	2.183	-2.069	2.165	-1.963	2.066	-1.75	1.838	-0.442	0.683	-0.524	0.792
4	-2.079	2.183	-2.069	2.166	-1.960	2.060	-1.742	1.828	-0.433	0.681	-0.524	0.792
5	-2.081	2.183	-2.070	2.165	-1.961	2.064	-1.750	1.825	-0.443	0.683	-0.524	0.793
6	-2.080	2.184	-2.069	2.164	-1.960	2.059	-1.750	1.825	-0.443	0.683	-0.524	0.793
7	-2.079	2.182	-2.071	2.165	-1.958	2.058	-1.739	1.825	-0.444	0.683	-0.524	0.793
8	-2.080	2.184	-2.070	2.165	-1.957	2.059	-1.737	1.820	-0.440	0.683	-0.524	0.792
9	-2.080	2.184	-2.071	2.165	-1.957	2.057	-1.733	1.819	-0.443	0.682	-0.524	0.792
10	-2.080	2.183	-2.071	2.165	-1.957	2.057	-1.746	1.817	-0.443	0.684	-0.524	0.792
11	-2.079	2.182	-2.070	2.164	-1.960	2.055	-1.731	1.813	-0.444	0.684	-0.524	0.792
12	-2.081	2.183	-2.071	2.164	-1.957	2.055	-1.732	1.813	-0.443	0.683	-0.524	0.792
13	-2.080	2.183	-2.071	2.165	-1.954	2.053	-1.735	1.809	-0.439	0.681	-0.524	0.792
14	-2.081	2.184	-2.070	2.164	-1.959	2.056	-1.731	1.812	-0.442	0.682	-0.523	0.791
15	-2.079	2.182	-2.072	2.163	-1.962	2.056	-1.740	1.820	-0.439	0.679	-0.523	0.791
avge.	-2.079	2.183	-2.070	2.165	-1.959	2.059	-1.742	1.825	-0.442	0.682	-0.523	0.792
σ	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.004	0.010	0.011	0.002	0.001	0.000	0.001

表 4 背景光分别为 a 暗室; b 一个日光灯; c 二个日光灯; d 四个日光灯; e 室内自然光与四个日光灯; f 室内自然光。

5 结论与分析

从实验结果可计算标准差, 当光强电压在 1~ 10 V 之间波动时, $\sigma_x = 0.127$ mm、 $\sigma_y = 0.138$ mm, 在 1~ 5 V 之间波动时, $\sigma_x = 0.1389$ mm、 $\sigma_y = 0.157$ mm, 而只在 6~ 10 V 之间波动时, 仅为 $\sigma_x = 0.003$ mm、 $\sigma_y = 0.0009$ mm, 比前两者情况提高了两个数量级, 减少光强对光电位置敏感器件精度的影响, 主要是控制指示光源输出功率的稳定性, 采用直流电源选用最佳值 7.5 V, 方可满足高精度的测量要求。

从表 4 可知随着背景光的不断加强同一点坐标值也随之不断向坐标原点接近, 且趋势很大(- 2.079, 2.183) ~ (- 0.442, 0.682)。减少背景光对光电位置敏感器件精度影响, 可以

通过下列途径解决: 提高入射光强与背景光强比, 即信号的噪声比, 或者根据背景光信号的模式特征将其与有用信号分离, 根据光电位置敏感器件的光谱响应选用 900 nm 附近的光源作为指示光源。背景光大多为照明式或自然环境光, 其特点是一旦确定后, 其位置输出是固定的, 不影响相对位移测量和线性度, 故可在测量前, 让入射光源和背景光同时作用于光电位置敏感器件上, 使得光电位置敏感器件位置输出为原点坐标(0, 0), 再进行测量工作, 这样就能有效地解决背景光对测量精度的影响。

参 考 文 献

- [1] 贺安之, 阎大鹏编著, 现代传感器原理及应用, 北京: 宇航出版社, 1995
- [2] 钱浚霞, 郑坚立编著, 光电翘册技术, 杭州: 机械工业出版社, 1993
- [3] 缪家鼎等编, 光电技术基础, 杭州, 浙江大学出版社, 1988
- [4] 相里斌, 李英才, 薛鸣球, 位置敏感探测器 PSD 特性研究及应用. 光子学报, 1993, 22(Z3): 34~ 39
- [5] 朱尚明, 位置敏感检测器 PSD 及其应用研究. 仪表技术与传感器. 1996, 23(2): 39~ 40
- [6] 王爵树, 张新, 高线性二维光电位置传感器探测器的研究. 集成电路通讯, 1995, (3): 27~ 30
- [7] 姚传利, PSD 用于近距离探测时的光能计算. 测试技术学报, 1996, 86(2): 619~ 627

Effect of Light Source and Background Noise on the Position Precision of PSD

Lu Aimin Yuan Hongxing He Anzhi

(Physics Department, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

(Received 12 March 1997; revised 19 June 1997)

Abstract The pinciple of position sensitive detector (PSD) is briefly introduced and some experiments for studing the effects of light source on the position precision of PSD are performed as well. It is proved that the fluctuation of light intensity can lead to the loss of the position precision of PSD, the results are far from those derived from theoretical analysis. At the same time, the experiments show that the backgroung niose can also exert certain effects on the ultimate position precision.

Keywords PSD, light intensity, backfround light, disturbance.