

光斑模式对 PSD 定位的研究

吕爱民^{*} 袁红星 贺安之

(^{*} 88200 部队, 北京, 100012)

(南京理工大学应用物理系, 南京, 210094)

摘要: 以多光束模拟实际光束中的多模式及能量分布不均的现象, 建立了 PSD 定位与上述能量不均匀之间的关系, 从而从理论和实验上均验证了 PSD 定位只取决于光斑能量重心。

关键词: 光斑 模式 PSD

The research in the influence of beam spot on the precision of PSD

(吕爱民^{*}, 袁红星, 贺安之)

(^{*} 88200 Aramy, Beijing, 100012)

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

Abstract: By simulating multiple modes and uneven energy distribution of actual light beams, the relationship between PSD localization and above-mentioned uneven energy distribution is established in this paper, and thus, theoretically and experimentally justifies that PSD localization is solely subject to the balance center of light beam spots.

Key words: light beam spots mode PSD

◎ 引 言

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^[1]。其理论基础是 1930 年 Schottky 发现的横向光电效应, PSD 到 80 年代才逐渐开始应用^[2]。可以广泛适用于各个技术领域中物体动态位移的非接触高精度测量, 在光电检测中有着极其重要的作用。国内 PSD 本身发展及其应用方向的研究比较缓慢, 只是近年来才引起重视。90 年代有关 PSD 在应用方面的报道就比较多了, 但测试条件对 PSD 影响的研究很少见报道, 开展这方面的研究工作, 可有效地提高测量精度, 对实验可以起到指导性的作用。

文献[3]曾做利用多光束照射 PSD 位置影响实验研究: 三束相同光束分八种不同情况, 同一点照射 PSD, 从实验上研究了光斑分布对位置影响和非线性性; 文献[4]研究了有杂光干扰存在时 PSD 输出信号与杂光关系。我们进一步分析了探测光斑强度分布对定位的影响, 建立了光斑能量重心与 PSD 位置输出关系的模型, 并对能量对称光斑和非对称光斑作用于 PSD 时进行实验测试, 从理论与实验全面证明了光斑对 PSD 定位机理是基于光斑的能量重心。

*

*

*

作者简介: 陈 军, 女, 1970 年 9 月出生。现于清华大学精密仪器与机械学系攻读博士学位。

一、PSD 工作原理简介

PSD 的工作原理与光电二极管相似, 它实际上是由重掺杂的 P⁺型半导体和轻掺杂的 N型半导体构成, 并以 PN 结上的横向光电效应来进行位置测量。无论一维 PSD 还是二维 PSD, 其基本原理是一样的, 一维只是在线型 PSD 的两端位置引出两个电极, 二维则是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 PSD 器件边沿的四个电极收集。由于光敏面电阻的作用, 当光点位置与各电极距离不同时, 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 。

一维 PSD 电流与光点位置方程^[4]:
$$\begin{cases} I_1 = I_0(L - x)/(2L) \\ I_2 = I_0(L + x)/(2L) \end{cases} \quad (1)$$

二维 PSD 电流与光点位置方程^[4]:

$$\begin{cases} [(I_{x2} + I_{y1}) - (I_{x1} + I_{y2})]/(I_{x1} + I_{x2} + I_{y1} + I_{y2}) = x/L \\ [(I_{x2} + I_{y2}) - (I_{x1} + I_{y1})]/(I_{x1} + I_{x2} + I_{y1} + I_{y2}) = y/L \end{cases} \quad (2)$$

由(1)式和(2)式可看出, 通过对各电极收集到的电流的运算, 即可求出光点在 PSD 光敏面的位置。

二、光源模式的简化及双光束对 PSD 定位的影响

一般来说, 激光器光源能量分布不是很均匀的, 存在多模结构或多个强度, 实际作用时就相当于多光束同时作用于 PSD, 从而研究光斑能量分布对 PSD 定位的影响。

1. 双光束对线阵(一维)PSD 定位研究

设光束 A 作用于 PSD 所产生的总光电流为 $k_A I_0$, 光束 B 作用于 PSD 所产生的总光电流为 $k_B I_0$ 。

(1) 光束 A 单独作用电极 1 和电极 2 所收集到的光电流由(1)式分别为:
$$\begin{cases} I_{1A} = (L - x_A)/(2L) \cdot k_A I_0 \\ I_{2A} = (L + x_A)/(2L) \cdot k_A I_0 \end{cases} \quad (3)$$

(2) 光束 B 单独作用电极 1 和电极 2 收集到的光电流

由(1)式分别为:
$$\begin{cases} I_{1B} = (L - x_B)/(2L) \cdot k_B I_0 \\ I_{2B} = (L + x_B)/(2L) \cdot k_B I_0 \end{cases} \quad (4)$$

(3) 光束 A 和 B 共同作用时, 根据电流可叠加性原理, 电极 1 和电极 2 收集到的光电流由(1)式分别为:
$$\begin{cases} I_1 = I_{1A} + I_{1B} = [k_A(L - x_A) + k_B(L - x_B)]/(2L) \cdot I_0 \\ I_2 = I_{2A} + I_{2B} = [k_A(L + x_A) + k_B(L + x_B)]/(2L) \cdot I_0 \end{cases} \quad (5)$$

设光束 A 和 B 共同作用时的坐标为 x_{AB} , 总光电流为 $I_{AB} = (k_A + k_B) I_0$, 则(1)式可改写为:
$$\begin{cases} I_1 = (L - x_{AB})/(2L) \cdot I_{AB} = (L - x_{AB})/(2L) \cdot (k_A + k_B) I_0 \\ I_2 = (L + x_{AB})/(2L) \cdot I_{AB} = (L + x_{AB})/(2L) \cdot (k_A + k_B) I_0 \end{cases} \quad (6)$$

由(5)式和(6)式则有 I_1 相等

$$[k_A(L - x_A) + k_B(L - x_B)]I_0/(2L) = (L - x_{AB})/(2L) \cdot (k_A + k_B) I_0$$

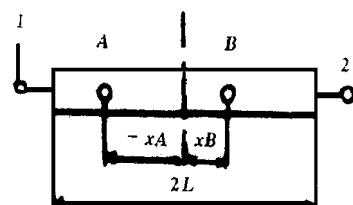


Fig. 1 Double laser beams incident on the 1D PSD

$$\text{所以 } x_{AB} = k_A x_A / (k_A + k_B) + k_B x_B / (k_A + k_B) \quad (7)$$

(7) 式为光束 A, B 共同作用线阵 PSD 时坐标值表达式, 表示为各光束光能权重比乘以各自坐标值。

2. 双光束对面阵(二维)PSD 定位研究

设光束 A 作用于二维 PSD 所产生的总光电流为 $k_A I_0$, 设光束 B 作用于二维 PSD 所产生的总光电流为 $k_B I_0$ 。

(1) 光束 A 单独作用时, (2) 式可写为

$$\begin{cases} (I_{xA2} + I_{yA1}) - (I_{xA1} + I_{yA2}) / (I_{xA1} + I_{xA2} + I_{yA1} + I_{yA2}) = xA/L \\ (I_{xA2} + I_{yA2}) - (I_{xA1} + I_{yA1}) / (I_{xA1} + I_{xA2} + I_{yA1} + I_{yA2}) = yA/L \end{cases} \quad (8)$$

(2) 光束 B 单独作用时, (2) 式同样也可写为:

$$\begin{cases} [(I_x B2 + I_y B1) - (I_x B1 + I_y B2)] / (I_x B1 + I_x B2 + I_y B1 + I_y B2) = -x_B / L \\ [(I_x B2 + I_y B2) - (I_x B1 + I_y B1)] / (I_x B1 + I_x B2 + I_y B1 + I_y B2) = -y_B / L \end{cases} \quad (9)$$

(3) 光束 A, B 共同作用二维 PSD 时, 根据电流可叠加性原理, (2) 式可写为

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{[I_{xA2} + I_{xB2}] + [I_{yA1} + I_{yB1}]}{k_A I_0 + k_B I_0} = \frac{x_{AB}}{L} \\ \frac{[I_{xA2} + I_{xB2}] + [I_{yA2} + I_{yB2}]}{k_A I_0 + k_B I_0} = \frac{y_{AB}}{L} \end{array} \right. \quad (10)$$

与一维 PSD 同理, 则 (8) 式 + (9) 式 = (10) 式得:

$$\begin{cases} k_A x_A + k_B x_B = (k_A + k_B) x_{AB} \\ k_A y_A + k_B y_B = (k_A + k_B) y_{AB} \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} x_{AB} = k_A x_A / (k_A + k_B) + k_B x_B / (k_A + k_B) \\ y_{AB} = k_A y_A / (k_A + k_B) + k_B y_B / (k_A + k_B) \end{cases} \quad (12)$$

所以

(11) 式为光束 A, B 共同作用二维 PSD 时坐标值表达式, 表明为光能权重比乘以各自坐标值。如果光束 A, B 的能量相等且同时作用于 PSD 时, 是 A 与 B 单独作用时 PSD 位置坐标输出值连线的中点, 如果光束 A, B 的能量不相等, 则 PSD 位置输出值应偏于光束能量大的一边。(7) 式和(11)式为光束能量权重与光点位置关系表达式。

三、实 验

根据上面的模型,进行了实验验证试验。所用实验装置包括二维 PSD、信号处理仪、A/D 转换、He-Ne 激光器光源、微机、应用软件等。实验时,将 PSD 和 He-Ne 激光器光源置于光学平台上,如图 2 所示,将激光器光源经扩束、准直后得到一均匀分布光源光斑,再经过光阑得到:(1)能量相等的二个点光源;(2)能量不相等的二个点光源,能量通过光阑的大小来控制。

能量相等的二个点光源: 首先只让光阑 A 通“O”, 测量出光阑 A 入射到 PSD 上的能量 k_A , 并记录下此时光点在 PSD 上的位置坐标值 (x_A, y_A) , 同样, 只有光阑 B 通, 测量光阑 B 入射到 PSD 上的能量 k_B , 记录下此时光点在 PSD 上的位置坐标值 (x_B, y_B) ; 然后测量光阑 A, B

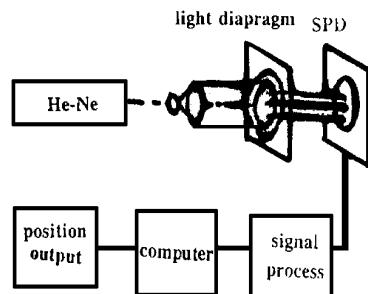


Fig. 2 Experimental setup for double laser beams incident on 2-D PSD

同时入射到 PSD 的能量 k_{AB} , 也记录下能量相同的二光点在 PSD 的位置坐标值(x_{AB}, y_{AB}), 根据(5)式计算(x_{AB}, y_{AB}), 实验结果如表 1 所示。

能量非对称的二个点光源: 方法与上相同, 实验结果如表 2 所示。

Table 1 Results of double equal intensity laser beam incident on PSD

	OA	OB	OA	OB	OA	OB	Eq. (5) calculative value
x_A	-	1.601					
y_A	0.024						
k_A	0.295						
x_B		1.543					
y_B		0.027					
k_B		0.296					
x_{AB}			0.000	0.025			
y_{AB}			0.002	0.024			
k_{AB}			0.590				

Table 2 Results of double nonequal intensity laser beam incident on PSD

	OA	OB	OA	OB	OA	OB	Eq. (5) calculative value
x_A	-	1.546					
y_A	0.048						
k_A	0.303						
x_B		0.755					
y_B		0.068					
k_B		0.107					
x_{AB}			-	0.931	-	0.945	
y_{AB}				0.043		0.052	
k_{AB}					0.409		

四、结 论 与 分 析

从一维和二维 PSD 在光束 A, B 能量均匀和不均匀作用时推导的能量与光点坐标的关系式可看出, 光点的坐标与光点能量有着密切的关系, 且从实验结果也验证关系式的成立。理论推导计算值与实验测量值之差仅在 0.025mm 内, 引起此误差的原因有: He-Ne 激光器的电源不太稳定, 即均匀分布的光斑随时间有所变化; 实验室没有完全达到暗室条件, 有少许背景光的影响。

PSD 定位是依赖于光束能量重心的, 因此, 在检测中就应引起注意: 光束的光点应尽量小, 使得能量保持不变, 但同时又能有衍射现象存在, 否则破坏了能量重心; 更换或改装激光器光源时, 应做到前后光阑能量不变, 否则会改变绝对测量值, 但更换或改装前后相对测量值不会改变; 加光阑时也应注意因每次装配的光阑不可能使得光阑几何中心与光束能量重心完全重合, 否则会影响测量精度; 应尽量减少背景光和漫射杂散光的影响, 它们的作用等效于在 PSD 光敏面几何中心作用一个光点, 由于它的存在必定会导致定位的不确定性, 从而降低测量精度。

参 考 文 献

- 1 王广志, 丁海曙, 丁 辉. 清华大学学报, 1997; 37(1): 61~ 64
- 2 苏梅俊. 半导体光电, 1996; 12: 323~ 326
- 3 Kawasaki A, Goto M. Sensors and Actuators, 1990; A21-A23: 534~ 537
- 4 贺安之, 阎大鹏. 现代传感器原理及应用. 北京: 宇航出版社, 1995

* * *

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

袁红星, 男, 1971 年 5 月出生。博士。从事光电检测研究工作, 目前工作是 PSD 理论研究。