

文章编号: 1001-3806(2004)04-0442-03

位置敏感探测器受杂光干扰特性的研究

范志刚, 张凤生, 左保军, 何 瑾

(哈尔滨工业大学 电子科学与技术系, 哈尔滨 150001)

摘要: 介绍了位置敏感探测器(PSD)的结构、工作原理及在稳定背景杂散光干扰下的位置输出方程,同时介绍了消除稳定背景杂散光的方法、措施和实验结果。结果表明,线性位移测量分辨力可达到 $2\mu\text{m}$ 。

关键词: 位置敏感探测器; 抗干扰; 杂光; 半导体

中图分类号: TN36 文献标识码: A

Effect of noise ray on properties of position sensitive detector

FAN Zhi-gang, ZHANG Feng-sheng, ZUO Bao-jun, HE Jin

(Department of Electronic Science and Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: The construction and theory of position sensitive detection (PSD), the output equation at the presence of steady stray light are mainly introduced in this paper. In the same time, the methods of eliminating the steady stray light and the results of experiments are given. The experiment results show that the resolution of linear displacement can reach $2\mu\text{m}$.

Key words: position sensitive detector(PSD); anti-interference; stray light; semiconductor

引 言

在 6 自由度位移测量中,系统利用全息透镜分光技术结合激光漂移补偿技术,同时探测空间物体 6 自由度的偏差,并能保证各被测参数之间的相对独立,实现对空间物体位置的动态检测。该 6 自由度位移检测系统中的一个核心部件是位置敏感探测器(position sensitive detector, PSD)。PSD 是一种新型的基于横向光电效应的半导体位置敏感探测器, PSD 的测量准确度直接影响系统的测量准确度, PSD 的响应时间也直接影响系统的测量响应时间,故 PSD 的性能对系统的性能有直接的影响和制约作用。

同其它位置探测器相比, PSD 作为位置敏感探测器有许多优点: (1) 是非分割型光敏器件,分辨率可高达为 $0.1\mu\text{m}$; (2) 非扫描输出,响应速度快 $20\mu\text{s}$,而 CCD 的响应时间为 1ms ; (3) PSD 的光谱响应比 CCD 的光谱响应略宽, PSD 的峰值响应为 900nm ; (4) PSD 能检测出光强,这为提高对接收光量变化的跟踪性能提供了可能^[1]; (5) PSD 的输出对光束质量

要求较低,降低了对光学系统的要求。

1 PSD 的工作原理及结构

PSD 是一种新型的基于横向光电效应的半导体位置敏感探测器。由于具有高灵敏度、高分辨率、响应速度快和配置电路简单等优点,正逐渐引起人们的重视。它广泛应用在对位置坐标的精确测量上,如兵器制导和跟踪、工业自动控制或位置变化等技术领域^[2,3]。

当一束光线以不同的光亮度投射到 p-n 结上的光敏区域时,这种光电效应非常明显。事实上,当光的亮度被确定以后,电子-空穴对的分离调整着空间上少子的扩散,但仅仅处于 p-n 结相反的一个很小的区域内。这种不均匀态产生了一个电场,其方向平行于半导体 p-n 结。p-n 结域的多子能够平行于 p-n 结移动,且流过被照亮的区域。利用这种特性,可使传感器单一的或者多个光点位置进行测量。

它的原理结构如图 1 所示。在 p 层表面电阻层的两端各设置一输出极,当入射光斑与两电极的间距发生变化时,两端输出极的输出电流也将随之变化而变化。因而在应用过程中,当一束具有一定强度的光照射到 PSD 敏感面上时,由半导体内部载流子浓度梯度的变化产生横向光电效应,致使 PSD 在

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60278008)

作者简介: 范志刚(1966),男,副教授,从事精密光电测试和光学遥感方面的教学和研究工作。

E-mail: fzg@hit.edu.cn

收稿日期: 2003-08-18; 收到修改稿日期: 2003-09-15

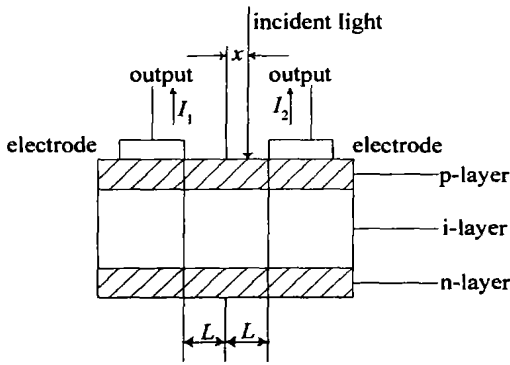


Fig. 1 The basic configuration of the PSD

同一面上的不同电极之间出现电压差, 这些电极之间便有电流流过。这种电压和电流随着光斑位置变化而变化的现象即是半导体的横向光电效应。正是基于这一效应, 实现了 PSD 的对位置坐标的测量^[4,5]。

2 PSD 稳定杂散背景光干扰下的位置误差输出特性方程

PSD 探测器有两种形式, 一种是一维矩形 PSD, 另一种是二维方形 PSD。二维 PSD 可实现二维入射光斑位置坐标的测试。通过电子线路的选通, 它可在某一时刻只测其中的一维或一个方向, 由于它可以被认为在检测系统中能满足一维 PSD 稳态响应与入射光点位置之间的线性关系的边界条件, 因而仅就一维矩形 PSD 原理加以分析^[6]。

一维矩形 PSD 的等效电路图如图 2 所示。将

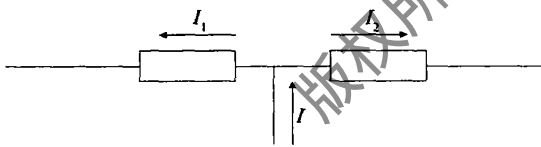


Fig. 2 The equivalent circuit of PSD

坐标原点设在两极中心, 设两极间距为 $2L$, 入射光斑的光强重心距坐标原点为 x , 由于 PSD 作为光敏面的 p 型层, 具有均匀的电阻率, 则:

$$R_1 = k \cdot (L + x) \quad (1)$$

$$R_2 = k \cdot (L - x) \quad (2)$$

式中, k 为一常数, 与电阻率截面形状有关。

根据等效电路可知:

$$I_1 \cdot k(L + x) = I_2 \cdot k(L - x) \quad (3)$$

所以,

$$x = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} \cdot L \quad (4)$$

设 PSD 在工作过程中, 目标光斑入射在 PSD 上的光强重心为 x_0 , 背景杂散光入射在 PSD 上的光强重心为 x_1 则 PSD 的实际输出是两个光强重心共同作用

的结果, 其输出坐标 x 为:

$$x = \frac{(I_{1x_0} + I_{1x_1}) - (I_{2x_0} + I_{2x_1})}{I_{1x_0} + I_{1x_1} + I_{2x_0} + I_{2x_1}} \cdot L \quad (5)$$

式中, I_{1x_0} 为目标光斑入射在 PSD 上电极 1 端的输出电流; I_{2x_0} 为目标光斑入射在 PSD 上电极 2 端的输出电流; I_{1x_1} 为背景杂散光斑入射在 PSD 上电极 1 端的输出电流; I_{2x_1} 为背景杂散光斑入射在 PSD 上电极 2 端的输出电流。

若目标光斑光强为: $I_0 = I_{1x_0} + I_{2x_0}$ (6)

背景杂散光斑光强为: $I_1 = I_{1x_1} + I_{2x_1}$ (7)

设 PSD 接受目标光信号与背景杂散光信号的比为:

$$K = I_0 / I_1 \quad (8)$$

于是,

$$\frac{x_1 - x}{x - x_0} = \frac{I_0}{I_1} = K \quad (9)$$

那么, 位置测量偏差为:

$$\delta x = \frac{x_1 - x_0}{x_0} = \left[1 - \frac{x_1}{x_0} \right] \frac{1}{1 + K} \quad (10)$$

上述公式表明, 当两等效光强重心共同作用在 PSD 上时, PSD 输出电流运算出的位置坐标 x 位于两等效光强重心的连线上, 且距两等效光强重心距离之比与两束入射光强成反比。即使背景光强是完全均匀分布的(即 $x_1 = 0$), 位置测量也会有误差, 误差大小与二者光强之比有关。

3 消除杂散背景光的方法与实验

为解除干扰源信号对目标位置误差的影响, 最根本的方法是, 根据干扰信号的特征, 将其与目标信号分离, 以提高参与运算信号的信噪比。由于 PSD 的光谱响应峰值在 900nm 附近, 但其响应曲线较宽, 所以, 通常是选定红外发光二极管或半导体激光器作为目标光源。

由于激光束是测量部分的基准光源, 其质量的好坏也影响到测量的准确度。为了保证测量准确度, 除选用高质量 He-Ne 激光器外, 还对其作了必要的处理。本实验方案采用了两种措施: 对激光器出射的激光束首先进行光束整形——准直扩束, 保证激光束的束状稳定; 对整形后的激光束给予漂移补偿, 保证激光束的束心和能量重心的稳定。光学元件的加工准确度要求也很高, 尤其是漂移补偿器由棱镜组构成, 对棱镜的加工和胶合要求都很高。此外, 还加与激光波长相匹配的光学滤光片, 以使激光束具有良好的单色性。

由于 PSD 在实际应用中干扰源多为自然光和

人工照明,它们在PSD上造成的响应为直流和低频信号,因此在采集PSD输出时,在输出端采用高通滤波电路,可以起到一定消除杂散背景光的作用,即使这样,自然杂散光也会对PSD的输出造成影响,下面给出现场调试在自然杂散光条件下和暗室中PSD的静态稳定性实验曲线,如图3、图4所示。

措施外,仍需在接近暗室的环境中使用PSD。

在6自由度测量应用中,将PSD安装在密闭的黑盒中,实验结果表明:线位移测量分辨力可达 $2\mu\text{m}$,角位移分辨力为 $2''$ 。

4 结论

由以上的分析与计算可以知道,杂散光干扰在PSD的使用过程中对其测量准确度具有很大影响。使用时,应尽量减小背景光的影响。同时应说明的是,上述分析是在杂光均匀分布的情况下得到的结果,而实际的杂散光分布非常复杂,其影响会更大。另外在使用过程中还应充分考虑PSD的非线性误差,入射光越靠近PSD中心,其非线性误差越小,因此在使用过程中,使得入射光斑的运动尽量限制在PSD线性区。

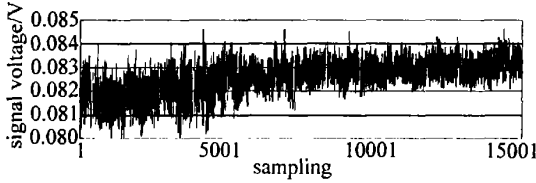


Fig.3 The static steady experiment curve of the PSD in the natural ray

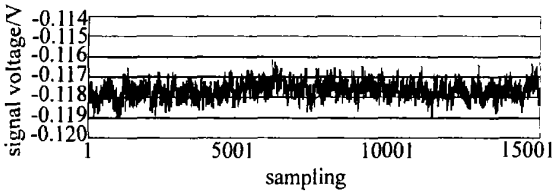


Fig.4 The static steady experiment curve of the PSD in the dark room

由图3可知,在自然光条件下,PSD输出稳定在0.081V~0.084V之间,偏差大约为3mV,由图4可看出在暗室中,自然杂散光非常小的情况下,PSD的输出基本稳定在-0.117V~-0.118V之间,偏差大约为1mV,图中每3mV对应 $1\mu\text{m}$ 。由以上两图可知,虽然在激光束质量、PSD输出端采取了一系列光束整形、滤波和电路滤波等措施,仍不能完全消除背景杂散光的干扰,故在高准确度测量中除采取以上

参考文献

- [1] 王晓东,赵杰,蔡鹤皋.使用PSD设计非接触测距传感器及其性能分析[J].哈尔滨工业大学学报,1996(28):100~104.
- [2] 张新,王爵树.光电位置传感器测量位置原理及应用分析[J].集成电路通讯,1993(4):43~45.
- [3] 张伯珩,边川平,金世俊 *et al.* 光电位置传感器在转角精密定位中的应用[J].光子学报,2001,30(4):505~507.
- [4] 曾超,李锋,徐向东.光电位置传感器PSD特性及其应用[J].光学仪器,2002(4):30~33.
- [5] 许忠保,王保龙.位置敏感器件PSD抗干扰方法研究[J].仪表技术与传感器,2000(8):39~40.
- [6] 金森哉吏.三次元位置计測のための誤差解析[J].精密工学会志,1998(64):1143~1147.

勘 误

本刊2004年第3期“自由空间量子密码技术的发展状况”一文中,有两处编辑笔误和校对错误,特勘误如下:

页码	行数	误	正
282	表1	5%	50%
283	表2第1行第2列	45°	-45°
283	表2第2行第2列	45°	-45°