

位敏探测器 PSD 特性及其在三角测量中的应用

袁雅珍

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 对 PSD 位敏探测器的结构、原理、特性加以分析和概述,着重论述了 PSD 在光学三角测量中的具体应用,详细分析了造成系统误差的根本原因。

关键词: 位敏探测器; 光学三角测量; 非线性

1 引言

PSD(Position Sensitive Detector)是一种新型的半导体位置敏感探测器,或称为坐标光电池。它以具有高灵敏度、高分辨率、响应速度快和配置电路简单等优点正在逐渐被人们所重视。因而在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上的应用也越来越被人们看好。就此,本文仅就位敏探测器的结构、原理、特性及在三角测量中的应用加以概述。

2 PSD 结构与工作原理

PSD 是一种非分割型器件,也是一种根据横向光电效应原理工作的半导体敏感元件。它可将光源照射在敏感面上的光斑强度和位移量转换成电信号。它的基本结构如图 1 所示:

在硅板的底层表面上以胶合的方式制成二片均匀的 P-N 电阻层,在 P-N 层间注入离子而产生 i 层,即本征层,使之以降低其晶体的缺陷和 P-N 层的物质不纯度,并使电极间的电阻得到控制。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。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 在同一面上的不同电极

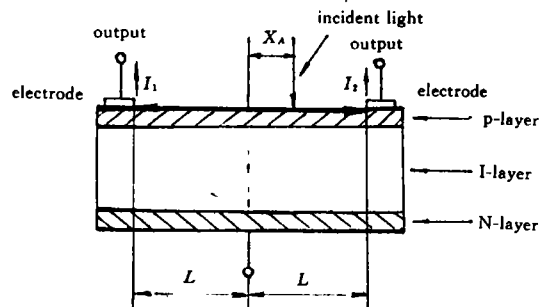


图 1 PSD 剖面

Fig. 1 Coss-section of a PSD

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横向光电效应。正是基于这一效应, 实现了 PSD 的位置坐标测量原理。

PSD 探测器有两种形式, 一种是一维矩形 PSD, 另一种是二维正方形 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测试系统中能满足一维 PSD 稳态响应与入射光点位置之间线性关系的边界条件。因而我们仅就一维矩形 PSD 原理加以介绍(而二维 PSD 可参照一维 PSD 的原理来理解)。

如上图所示, 如果我们将坐标原点设在器件的中心点, 而器件工作于反偏及小信号的条件, 应具有如下关系:

$$I_1 = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2}{L} X_A\right) I_0 \quad (1)$$

$$I_2 = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2}{L} X_A\right) I_0 \quad (2)$$

其中 I_1 和 I_2 分别为 PSD 两端电极输出的电流; I_0 为光敏电流; L 为受光光敏面宽; X_A 为光点入射位置。

为了进一步得到入射位置信号, 由式(1)和式(2)可得

$$\frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1} = \frac{2X_A}{L} \quad (3)$$

因而推出光点入射点的位置坐标

$$X_A = \frac{1}{2} \cdot \frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1} \quad (4)$$

从式(4)中可发现此式消去了 I_0 , 而 I_0 便是由入射光产生的光敏电流, 它与入射光的强度有关。因而本式消去了 I_0 的影响。也就是说此式仅与入射光斑的位置有关, 而与入射角、光强度、光斑尺寸无关, 这就为检测测量带来了极大的方便。

3 PSD 在光学三角测量中的应用原理

光学三角测量在光学测量技术中占有重要位置。它常被应用于机器人视觉的传感或三维坐标测量系统。传统的触觉式“机械”坐标测量技术在实际应用中越来越显得受局限的今天, 光学三角测量技术为其提供了一种简单实用的非接触式位置测量方法。我们选用了 PSD 一维光电探测器作为它的位置传感器, 使光、机、电和 8098 单片机融为一体, 实现了连续可靠的自动测量。同时它可为各种非接触式的物体提供准确的位置位移变化量。如: 表面轮廓、高度、厚度等物理量。它的测量原理如图 2 所示:

当我们要测量一被测物体的表面高度

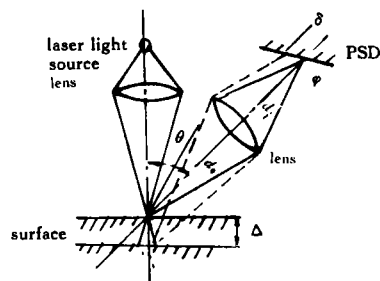


图 2 光学三角测量原理图
Fig. 2 Optical triangulation

之变化时,从光源发出一束光,经照明光学系统聚焦到被测物体表面,在被测物体表面上形成一具有一定光强的光斑,其中经被测物体表面漫反射的一部分光经过接收透镜成像,此像又被放置在透镜焦平面上的位敏探测器(PSD)所接收。并转换成电信号。当被测物体在测量范围内移动时,光斑与 PSD 两极间的距离发生变化,使两极输出电流随其光斑位移的变化而变化。通过计算公式表明像光斑在传感器上的位置是被测物体表面高度的函数,因此通过测定探测器上像光斑的位移量,便可知物体表面凹凸之变化量。根据光学三角测量方法推出位敏探测器的像光斑的位移量。可由下式来确定:

$$\Delta = \frac{d \sin \varphi \cdot \delta}{d_i \sin \theta - \delta \sin(\theta + \varphi)} = \frac{D_1 \cdot \delta}{D_2 - \delta} \quad (5)$$

$$\text{设: } D_1 = \frac{d_o \sin \varphi}{\sin(\theta + \varphi)} \quad (6)$$

$$D_2 = \frac{d_i \sin \varphi}{\sin(\theta + \varphi)} \quad (7)$$

其中, Δ 为被测物体表面位移量, δ 为像光斑在光敏面上相对零点的位移量, φ 为成像于探测器的光像面与透镜的光轴所成的角, θ 为物面与透镜的光轴所成的角。

4 PSD 光电信号输出前置处理器

PSD 光敏探测器以电流形式输出两路信号,即 I_1 和 I_2 。由于 PSD 敏感面上所接收的光斑是经被测物体漫反射后形成的,所以光能量较小,致使 PSD 位敏探测器输出光电流极微弱,仅在 $10 \mu\text{A}$ 左右。因而前置处理器的设置对光电流的提取是至关重要的。首先要解决在多方面的干扰和噪声中提取微弱信号的问题,又要考虑到消除光源以及目标反射特性的不同对精度造成的影响。根据前文所述将坐标原点设在 PSD 光敏件中心点,器件工作在反偏及小信号条件下所推出的公式(4),我们设置了 PSD 位敏探测器的前置处理器,如图 3 所示。

它包括前置放大器(A1、A2)、加法器(A3)、减法器(A4)、除法器(A6)。针对探测器的两端输出(I_1 和 I_2)均为电流输出的状况,分别设置了两路电流放大器。由于测量精度和条件所至,此放大器的具体参数的设计要求较苛刻。如:对电流放大器中反馈电阻 R_f 的确定,由于我们获取的是微弱的小信号电流,往往希望放大倍数越大越好。但当 R_f 取值过大时,PSD 的暗电流和电压偏移随着 R_f 的增大而变坏,直接影响着测量精度。而当 R_f 取值过小时,则要求入射光增强,结果会使 PSD 输出饱和,造成动作的异常。因而 R_f 的取值是要根据具体情况精心设计的。与此同时,由于阻抗的更换会使放大器造成带宽的改变,可能带来电路的不稳定。所以当确定好 R_f 的同时,有必要加上低通滤波系统,以便保持一定的带宽。因而使此放大器具有高增益、低噪声、输出稳定等特点。

在此电路中减法器的设置可使 PSD 的电流输出信号中的固有噪声或 I_1 和 I_2 中的同等条件的噪声得以消除。

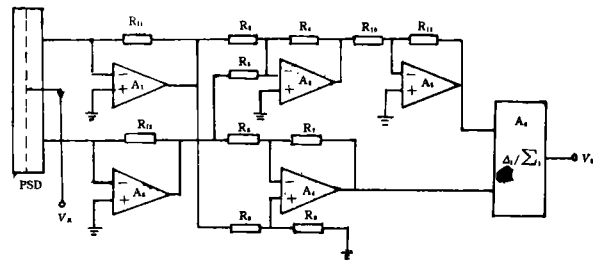


图 3 一维 PSD 运算电路

Fig. 3 Operation Circuit for 1D PSD

另外除法器的设置和调整对整个位置测量精度有着很大的影响。我们知道除法器是依据公式 $(I_2 - I_1)/(I_2 + I_1)$ 所设计的,从此式中不难看出,分母的值是不可忽视的,当 I_1 和 I_2 输出电流为零时,此式不成立,即除法器输出不正常。这就要求对入射光点的调整要适当,如选入射光量太小便会引起噪声的增大,影响除法器的计算精度,而入射光量太大则会造成饱和。为此在除法器中设置了增益调整电路,以配合调整使用。

总之,虽然此电路看起来小巧、简单,但在调整过程中每一部分都要求十分精细、考究。否则,各部分不良影响的积累会严重影响着整个系统的测量精度。

5 测量结果与误差分析

本系统实际测量是以 8098 单片机的 ROM 单元的校正曲线为依据来校正实测曲线。以单片机的显示系统显示出实际探测的位移量。在测试标定中采用了日本进口的高精度数字千分尺进行了准确测量标定。我们取实际测量中的一组数据绘出光斑位置与处理器输出的曲线图。如图 4 所示。

其实测主要指标为:

位置分辨率 $2 \mu\text{m}$

相对精度 0.12%

通过实验结果分析来看,系统存在着一定的非线性,这是造成测量误差的主要因素,而造成系统非线性的主要原因有以下几点:

(1) 三角测量公式的非线性

从前文三角测量原理中所知。PSD 探测器光敏面成像光斑的位移量由公式(5)所定,而此公式并非线性。当被测物体位移发生变动时,光斑在光敏面上的位移量也并非按比例变动,它与线性相比存在着一定的偏差,其偏差量为 R ,如下式所示:

$$R = \frac{\Delta \cdot d_i \cdot \sin\theta}{\Delta \cdot \sin(\theta + \varphi) + d_o \cdot \sin\varphi} - \frac{\Delta \cdot d_i \cdot \sin\theta}{d_o \cdot \sin\varphi} \quad (8)$$

从式(8)可以发现,随着 Δ 值的增加将使 R 值越来越大。实际上所说的线性只有在 Δ 很小的情况下才符合线性关系。则有: $\delta = k \cdot \Delta$

我们设: $K = \frac{\sin\theta}{\sin\varphi} \cdot \frac{d_i}{d_o}$ 而其中: $d_i, d_o, \theta, \varphi$ 均为定值。

(2) PSD 的非线性

由于 PSD 的固有特性决定了它也有着非线性。这也是 PSD 的主要薄弱之处。它的线性度主要取决于表面扩散层以及底层材料电阻率的均匀性,和有效的受光面积等多种因素,对此非线性并没有准确的公式可依。一般来说,在距离器件中心 $2/3$ 的范围内线性度较好。从图 4 的曲线中也可看出越靠近边缘线性越差。因而在实际应用中应尽量采用线性度好的区域,使其非线性限制在最小。

(3) 造成测量误差的还有其它因素。如温度变化和环境中产生的各种震动等都要求我们采

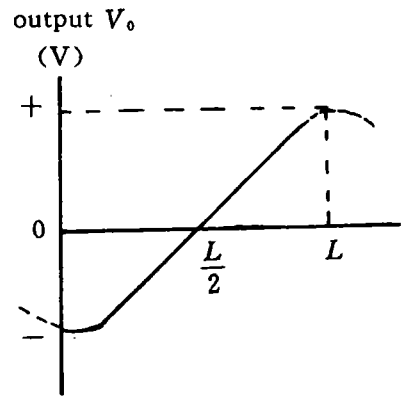


图 4 光斑位置与电压输出特性

Fig. 4 Light spot position and output voltage characteristics

取具体措施来克服。

在本系统的研制和实验过程中得到了李喜增、邹振书等同志的帮助和指导,在此仅表示感谢。

参 考 文 献

- [1] E. Reid, Design of Optical Triangulation Devices. *Optics & Laser Technology*, 1983, 21(5), 28-31
[2] Amir. Modjarrad, Non-Contact Measurement Using a Laser Scanning probe. In-Process Optical Measurements, 1988, 1012, 229-239

Characteristics of Position Sensitive Detector and Its Application in Optical Triangulation

Yuan Yazeng

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun, 130022)*

Abstract

The architecture, principle and characters of position sensitive detector (PSD) are analyzed and stated. The application of PSD in optical triangulation is described emphatically. The system errors are also analysed.

Key words: Position sensitive detector, Optical triangulation, Nonlinear

袁雅珍 女, 1950年4月生。1975年毕业于长春光机学院电子系, 现长春光机所工程师, 从事电子技术及数字图象处理的研究工作。