

极短脉冲光照下 PSD 位置测量公式的改进

肖福磊, 葛兴国, 陶忠祥

(空军航空大学航空军械工程系, 吉林 长春 130022)

摘要:介绍了 Lucovsky 方程及稳态情况下 PSD 的位置测量公式。以两面型 PSD 为例, 给出了在极短脉冲光照下, 基于 PSD 稳态公式的测量效果位置网格图。针对存在的误差较大问题, 提出了一种积分测量方法, 并给出了极短脉冲光照下, 基于积分检测法的位置网格图。从图中可以看到, 采用积分方法进行 PSD 位置测量具有很高的精度。

关键词:位置敏感探测器; 积分检测法; 极短脉冲; 位置测量

中图分类号: TN247

文献标识码: A

Modification of position detecting formulation of PSD under very-short-pulse illumination

XIAO Fu-lei, GE Xing-guo, TAO Zhong-xiang

(Department of Aviation Ordnance Engineering, Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

Abstract: The Lucovsky equation and the position detecting formulation of PSD under stable situation are briefly introduced. With the instance of Duo-lateral PSD, a position detecting effect gridding chart of PSD based on the stable situation formulation and under the excitation of very-short-pulse illumination is showed. Pointing to the problem of a bad linearity, an integral detecting method is worked out. And the position detection effect gridding chart based on this method and under the excitation of very-short-pulse illumination is showed too. From the chart we can obviously see that it provides a very high precise to adopt the integral method on the PSD detection.

Key words: PSD; integral detecting method; very-short-pulse; position detection

1 引言

位置敏感探测器 (position sensitive detector, PSD) 是一种基于非均匀半导体横向光电效应的对入射光或粒子的重心位置敏感的光电探测器件。它能够利用入射位置与输出电信号之间的关系进行位置测量, 测量原理基于 Lucovsky 方程^[1]。在实际应用中, 大部分采用的是连续稳定光照或长脉冲光照^[2], 所用的位置测量公式及各种改进公式也都是针对这两种光照情况。然而, 对于极短脉冲 (脉冲宽度 t_p 远小于 PSD 时间常数 t_c) 光照的情况, 采用稳定光照情况下的公式会产生很大的非线性失真, 因此不适用。本文从电荷守恒的角度出发, 利用积分的方法, 研究了极短脉冲光照下 PSD 位置测量公

式的改进。

2 PSD 简介及工作原理

依据输出信号的维数的不同, PSD 可分为一维 PSD 和二维 PSD。二维 PSD 根据电极位置的设置、单面或双面分流、光敏面形状等特征的不同, 通常又可以分为四边形 PSD、双面型 PSD 和枕形 PSD, 分别如图 1(a)、图 1(b)、图 1(c) 所示。目前, 使用较多的是四边形 PSD^[3] 和枕形 PSD^[4-5], 本文以两面型 PSD 为例进行讨论。

作者简介: 肖福磊 (1985 -), 男, 在读硕士研究生, 研究方向为光电火力指挥与控制。E-mail: mikeadamshaw@163.com

收稿日期: 2009-06-13

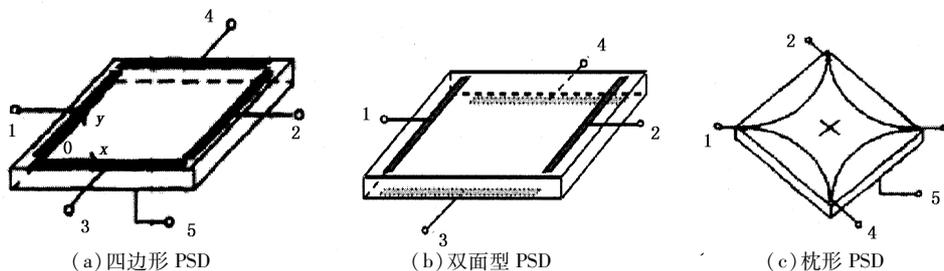


图1 二维 PSD 示意图

PSD 的理论基础是 PN 结横向光电效应^[6]和 Lucovsky 方程^[7]。Lucovsky 方程表示如下:

$$\nabla^2 \Phi(x, y, t) - \frac{J_s \rho_p}{W_p} \left[\exp\left(\frac{q\Phi(x, y, t)}{kT}\right) - 1 \right] - \frac{\rho_p c}{W_p} \frac{\partial \Phi(x, y, t)}{\partial t} = \frac{-q\rho_p f(x, y, t)}{W_p} \quad (1)$$

式中, Φ 是 PN 结电势差; J_s 是二极管反向饱和电流密度; ρ_p 是 P 区单位面积电阻率; W_p 是 P 区厚度;

q 为元电荷; k 为玻尔兹曼常数; T 为热力学温度; c 为单位面积 PN 结电容; $f(x, y, t)$ 是 (x, y) 处单位面积分离的电子-空穴对数。

对于两面型 PSD, 假设光敏面为边长为 l 的正方形, 以光敏面中心为坐标原点, 以引脚 1→引脚 2 方向为 x 轴正向, 以引脚 3→引脚 4 方向为 y 轴正向, 建立平面直角坐标系, 则其各个电极输出的光电流为:

$$i_1(t) = I_0 \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{n\pi(X+l/2)}{l} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 t}{rcl^2}\right) \right\} \quad (2)$$

$$i_2(t) = -I_0 \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cos(n\pi) \sin \frac{n\pi(X+l/2)}{l} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 t}{rcl^2}\right) \right\} \quad (3)$$

$$i_3(t) = I_0 \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{n\pi(Y+l/2)}{l} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 t}{rcl^2}\right) \right\} \quad (4)$$

$$i_4(t) = -I_0 \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \cos(n\pi) \sin \frac{n\pi(Y+l/2)}{l} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 t}{rcl^2}\right) \right\} \quad (5)$$

稳态情况下的位置计算公式为:

$$x = \frac{L}{2} \frac{I_2 - I_1}{I_1 + I_2}, y = \frac{L}{2} \frac{I_4 - I_3}{I_3 + I_4} \quad (6)$$

假设两面型 PSD 光敏面为 4 mm × 4 mm, 入射

光脉冲宽度 $t_p = 0.02 t_c$, 光斑扫描范围为 $X: [-1.4: 0.2: -0.6, 0.6: 0.2: 1.4], Y: [-1.4: 0.2: -0.6, 0.6: 0.2: 1.4]$, 利用 Matlab 计算得出两面型 PSD 基于公式(6)的光斑位置如图 2 所示。

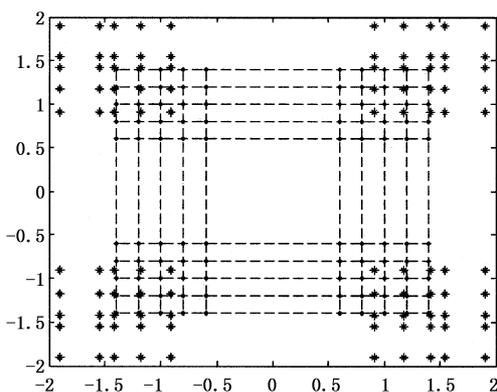


图2 非积分情况下两面型 PSD 位置网格图

图 2 中, 虚线表示实际的光斑位置, 星号 (*) 表示根据公式计算得到的光斑位置, 从图中可以看出, 计算得到的光斑位置与实际光斑位置误差很大。而且, 当 X, Y 在 $[-0.5, 0.5]$ 内取值时, 计算的点已远远超出器件尺寸范围。

3 积分检测法

由于 Lucovsky 方程的出发点就是电荷守恒^[6], 因此考虑使用积分的方法来解决。

通常, 脉冲函数: $p(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq t_p \\ 0 & t < 0, t > t_p \end{cases}$ 可以用

阶跃函数 $U(t) = \begin{cases} 1 & t > 0 \\ 0 & t \leq 0 \end{cases}$ 表示为: $p(t) = U(t) - U(t - t_p)$, 所以, 此处假设入射的短脉冲信号由两个阶跃信号产生, 则 PSD 对短脉冲信号的响应等效为

$$I_1(t_p) = \int_0^{t_p} i_1(t) dt + \int_{t_p}^{\infty} [i_1(t) - i_1(t - t_p)] dt \quad (7)$$

$$I_2(t_p) = \int_0^{t_p} i_2(t) dt + \int_{t_p}^{\infty} [i_2(t) - i_2(t - t_p)] dt \quad (8)$$

$$I_3(t_p) = \int_0^{t_p} i_3(t) dt + \int_{t_p}^{\infty} [i_3(t) - i_3(t - t_p)] dt \quad (9)$$

$$I_4(t_p) = \int_0^{t_p} i_4(t) dt + \int_{t_p}^{\infty} [i_4(t) - i_4(t - t_p)] dt \quad (10)$$

将积分后的 $I_1 \sim I_4$ 代入公式(6), 仍然假设两面型 PSD 光敏面为 $4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$, 脉冲宽度 $t_p = 0.02 t_c$, 光斑扫描范围为 $X: [-1.5:0.5:1.5]$, $Y: [-1.5:0.5:1.5]$, 利用 Matlab 计算, 得出采用积分法后, 两面型 PSD 基于公式(6)的光斑位置如图 3 所示。

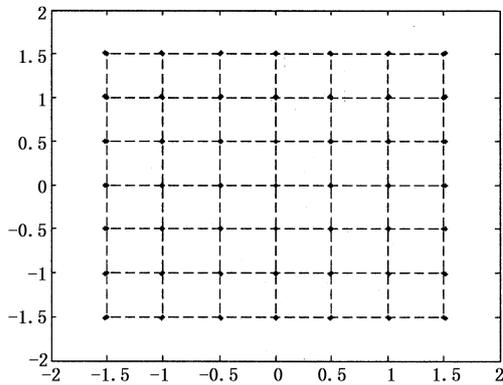


图3 采用积分法后两面型 PSD 位置网格图

图3中, 虚线表示实际的光斑位置, 点号(·)表示根据公式计算得到的光斑位置, 从图中可以看出, 计算得到的光斑位置与实际光斑位置吻合得很好, 位置检测可以达到很高的精度。

4 总结

PSD 的实际应用中, 线性度是一个非常重要的指标, 除了理论公式的不断修正外, 还有许多需要注意和改进的问题。对于极短脉冲光照的情况, 本文

对两个阶跃信号的响应的叠加, 电极输出的电流信号即为 $i(t)$ 与 $i(t - t_p)$ 的叠加。经积分器积分后, 四个电极的输出电流表示为:

只给出了 PSD 的理论计算公式, PSD 的实际响应情况还与器件的尺寸、分流层电阻和 PN 结电容有关^[6]。另外, 积分方法的使用对脉冲宽度有一定的要求, 一般 t_p 应远小于 t_c 。本文是以两面型 PSD 为例进行讨论的, 对于四边形 PSD 和枕形 PSD, 只需将电极输出电流解析表达式作相应的改变, 即可得到对应的效果。

参考文献:

- [1] Lucovsky G. Photoeffects in nonuniformly irradiated p-n junctions[J]. Journal of Applied Physics, 1960, 31(6): 1088 - 1095.
- [2] 尚鸿雁, 张广军. 脉冲光照射下一维 PSD 响应特性的研究[J]. 激光技术, 2005, 4(29): 429 - 432.
- [3] 张力平, 张政, 曹秉刚, 等. 基于二维位置敏感探测器的空间对接过程研究[J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(9): 1110 - 1114.
- [4] 张金根, 刘志勤, 衣彬, 等. 采用 PSD 的激光平台测量仪的设计[J]. 电光与控制, 2007, 14(6): 186 - 188.
- [5] 邓耀初, 贾建援, 陈贵敏, 等. 振动环境下的快速反射镜跟踪系统[J]. 激光与红外, 2008, 38(1): 11 - 13.
- [6] 黄梅珍. 位置敏感探测器的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2001.
- [7] 陶忠祥. 位置敏感探测器在头位跟踪中的应用研究[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2004.