

文章编号:1001-5078(2007)06-0546-02

几种四象限探测器测角算法的分析研究

胡贤龙, 周世椿

(中科院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘要:在不考虑探测器非均匀性影响的情况下, 本文分析了传统四象限测角算法和另外几种算法在计算入射光的俯仰角和偏转角时的性能, 还比较了在整个平面内各个算法得到的俯仰角的误差曲面。从比较中看出, 采用曲线拟和的方法, 硬件实现简单, 测角精度也比较高。

关键词:非均匀性; 四象限探测器; 误差曲面; 曲线拟和

中图分类号:TH741.2⁺3; O241.1 **文献标识码:**A

Analysis and Research on Several Angle-measurement Algorithms Based on Four-quadrant Detector

HU Xian-long, ZHOU Shi-chun

(Shanghai Institute of Technical Physics of Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: Taking no account of the non-uniformity of the detector, this paper analyzed the performance of the traditional four-quadrant angle-measurement algorithm and two other algorithms in calculating the pitch angle and the deflection angle of the incident ray, and also compared the error curve of the pitch angle calculated by each algorithm in the full plane. In comparison, it is that by using the curvefitting method, the hardware implementation is simple and the measured angle has a high precision.

Key words: non-uniformity; four quadrants detector; error curve; curve fitting

1 引言

硅光电池四象限探测器是在同一芯片上做出四个探测器, 这四个探测器具有基本相同的参数。利用四个象限的输出, 通过算法处理得到光斑中心在 x, y 方向上离探测器中心的偏移量 dx, dy , 然后根据式(1)计算出激光的俯仰角 θ 和偏转角 ϕ , H 为视场光阑到光敏面的距离, 如图1所示, 图中视场范围是 $-60^\circ \sim 60^\circ$ 。

$$\theta = \arctan \frac{\sqrt{dx^2 + dy^2}}{H}, \phi = \arctan \frac{dx}{dy} \quad (1)$$

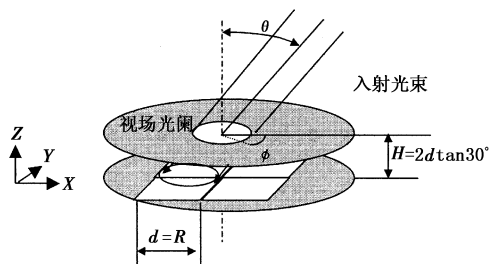


图1 利用偏移量计算入射光的俯仰角和偏向角

2 几种算法的分析

2.1 误差曲面的计算过程

四象限探测器的基本原理图如图2所示。

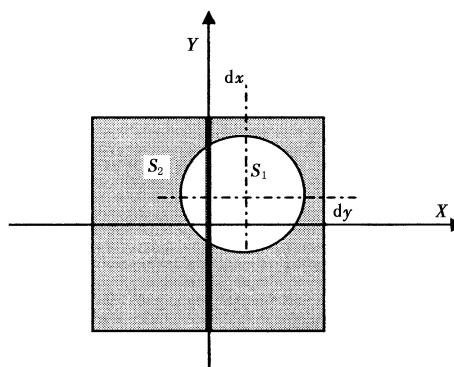


图2 四象限测角基本原理图

作者简介:胡贤龙(1983-), 男, 在读硕博连读研究生。主要研究方向是电路与系统和数字信号处理。E-mail: xlhu3@ustc.edu

收稿日期:2006-10-20

假设光斑在整个平面内能量分布均匀,不考虑非均匀性的影响,那么四个象限的电压输出与光斑在它们上的投影面积成正比,分别记为 S_1, S_2, S_3, S_4 。可以预先设置光斑中心离探测器中心的偏移量为 dx, dy , 根据此偏移量,从理论上计算 S_1, S_2, S_3, S_4 的值,以这些值代替四个象限的输出,通过不同的算法,可以得到该算法的偏移量,与预先设置的理论值相互比较,就得到了该算法的误差曲面。在几何上, S_1, S_2, S_3, S_4 满足下列关系:

$$S_1 + S_3 = \pi R^2 / 2 + 2dx dy \quad (2)$$

$$S_2 + S_4 = \pi R^2 / 2 - 2dx dy$$

$$S_1 + S_4 = R^2 \left[\frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{dx}{R} + \frac{1}{2} \sin(2 \arcsin \frac{dx}{R}) \right] \quad (3)$$

$$S_2 + S_3 = R^2 \left[\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{dx}{R} - \frac{1}{2} \sin(2 \arcsin \frac{dx}{R}) \right]$$

式中, R 为视场光阑的半径。由此可知,只要计算出 S_1, S_2, S_3, S_4 中的一个,其他的三个都能够通过上面两式计算得到。如 $a = dx > 0, b = dy > 0$, 先计算 S_3 :

$$\begin{aligned} S_3 &= \int_a^{\sqrt{R^2-b^2}} \sqrt{R^2-x^2} dx - b(\sqrt{R^2-b^2}-a) \\ &= \frac{R^2}{2} \left[\arcsin \sqrt{1-\frac{b^2}{R^2}} - \arcsin \frac{a}{R} \right] + \\ &\quad \frac{R^2}{4} \left[\sin(2 \arcsin \sqrt{1-\frac{b^2}{R^2}}) - \right. \\ &\quad \left. \sin(2 \arcsin \frac{a}{R}) \right] - b\sqrt{R^2-b^2}-a \end{aligned} \quad (4)$$

其他可以类似计算。

2.2 传统算法

传统机载武器跟踪探测器的测角算法有:和差算法、对角线相减算法和四象限管对算法三种,这里考虑和差算法。在得到 S_1, S_2, S_3, S_4 后,令:

$$\begin{aligned} S_x &= k \frac{(S_1 + S_4) - (S_2 + S_3)}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4} \\ S_y &= k \frac{(S_1 + S_2) - (S_3 + S_4)}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4} \end{aligned} \quad (5)$$

式中, k 为比例系数; S_x, S_y 分别为误差信号在 x 轴和 y 轴上的分量。通过 S_x, S_y 直接估计 dx, dy , 然后计算得到入射光的俯仰角,与理论值相减得到的误差曲面如图3所示。

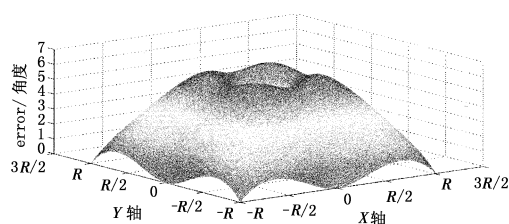


图3 传统和差法在整个平面内的误差曲面($k=1$)

2.3 算法 A^[1]

该算法中,利用约束条件 $S'_y = S_1 + S_3 - S_2 - S_4 = 4dx dy$ 可以得到 dx, dy 的估计值,该算法只需循环三次,速度较快。误差曲面如图4所示。

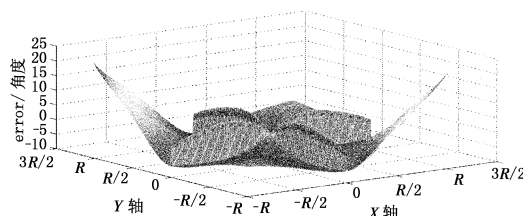


图4 算法 A 在整个平面内的误差曲面

由图4可知,该算法在入射光的角度较小时,测量精度有所改善。但在偏移量较大时,误差比较大。

2.4 算法 B^[2]

$$\text{设 } kx = \frac{S_1 + S_4}{S_2 + S_3}$$

选择一个合适的迭代域值 T 。当 $kx < T$ 或 $kx > 1/T$ 时(在文献[2]中,选择的 $T=0.538$), $\alpha = \sin \alpha + \frac{kx}{1+kx} 2\pi$, 利用叠代法算出 α , 控制迭代步长和初值,可以在50步以内收敛,代入 $dx = R \cos \frac{\alpha}{2}$, 就能计算 x 方向上的偏移。同理可计算出 y 方向上的偏移。

算法 B 在整个平面内的误差曲面如图5、图6所示。由图可知,该算法在偏移量较大的区域误差控制得比较好,在偏移量较小区域误差较大,可以通过增大 T 来减小这部分区域,但也不是 T 越大越好。通过比较图5和图6可知, T 越大时,中间区域面积是减小了,但误差却变大,同时整个算法的迭代次数增加。因为是通过迭代计算,所以该算法速度较慢。

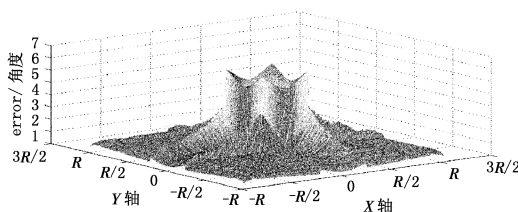


图5 算法 B 在整个平面内的误差曲面($T=0.538$)

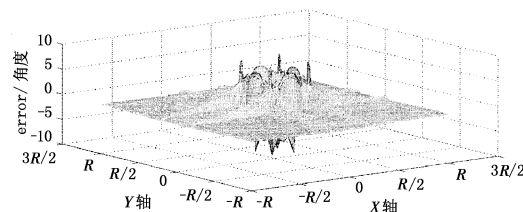


图6 算法 B 在整个平面内的误差曲面($T=1$)

(下转第551页)

7 结 论

本文采用真空磁过滤电弧离子镀膜法在单晶 Si (100) 基片上成功制备了氮化铝 (AlN) 薄膜, 利用椭偏法测量了 AlN 膜的光学常数, 分析了膜基结合方式和折射率小于块体材料的原因, 得出以下结论:

(1) 根据沉积特点, 建立了合适的膜系结构;

(2) 拟合得到 AlN 薄膜的光学常数。测试结果表明, AlN 膜从可见到近红外区的折射率在 1.988 到 2.109 之间变化, 消光系数从可见到近红外区都为 0;

(4) 在此工艺条件下, 膜层与基片的附着方式为简单附着;

(5) 引起薄膜折射率小于块体材料的原因: 薄膜中含有空隙, Al/N 不能严格等于 1:1, 薄膜表面形成了 Al_2O_3 钝化层。

参考文献:

[1] 师昌绪. 材料大辞典 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1994: 125.

[2] Miao X S, CHAN Y C, Pun E Y B. New protective AlN film for organic photoconductors [J]. Applied Physics Letters, 1997, 71(2): 184 - 186.

[3] 王秀兰, 刘文言, 刘洪源, 等. 真空磁过滤电弧离子镀膜法制备类金刚石涂层方法及性能研究 [J]. 宇航材料工艺, 2002, 6: 52 - 54.

[4] 黄美东, 董闯, 宫骏, 等. 偏压对阴极电弧离子镀膜 AlN 薄膜的影响 [J]. 材料研究学报, 2001, 15(6): 675 - 680.

[5] A Mahmood, R Machorro, S Muhl, et al. Optical and surface analysis of DC-reactive sputtered AlN films [J]. Diamond and Related Materials, 2003, 12: 1315 - 1321.

[6] 梁海锋, 严一心. 类金刚石薄膜光学特性的椭偏法研究 [J]. 真空科学与技术学报, 2005, 25(4): 287 - 289.

[7] 李建超, 苏俊宏, 徐均琪. 类金刚石薄膜光学常数拟合模型的合理性研究 [J]. 应用光学, 2004, 25(5): 56 - 59.

[8] 杨邦朝, 王文生. 薄膜物理与技术 [M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1994: 189 - 190.

(上接第 547 页)

2.5 曲线拟和

S_x 和 dx 的理论关系推导如下:

$$\begin{aligned} S_x &= k \frac{(S_1 + S_4) - (S_2 + S_3)}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4} \\ &= k \left\{ R^2 \left[\frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{dx}{R} + \frac{1}{2} \sin(2\arcsin \frac{dx}{R}) \right] - \right. \\ &\quad \left. R^2 \left[\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{dx}{R} - \frac{1}{2} \sin(2\arcsin \frac{dx}{R}) \right] \right\} / \pi R^2 \\ &= k \left[2\arcsin \frac{dx}{R} + \sin(2\arcsin \frac{dx}{R}) \right] / \pi \quad (6) \end{aligned}$$

传统法以 S_x 直接估计 dx , 而实际上它们只有在 dx 比较小时才有线性关系。可以通过曲线拟和的办法提高精度。由于 dx 是 S_x 的奇函数, 所以拟和项中只用包含奇次项。

拟和最高次数选择为 5 时, 得到如图 7 的曲线,

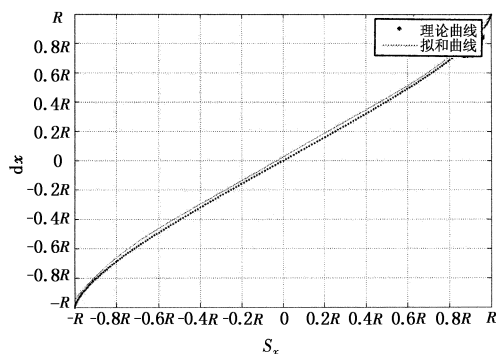


图 7 理论曲线和拟和曲线 (拟和最高次数为 5)

和理论曲线基本吻合。在硬件实现时, 只用将得到的 3 个拟和系数保存到存储器里, 占用的空间较小, 在速度上也比较快。误差曲面如图 8 所示, 由图可以看出, 角度误差控制在 $-0.8^\circ \sim 0.6^\circ$ 。

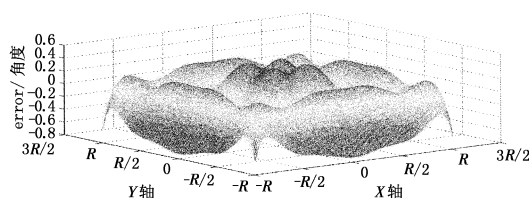


图 8 拟和最高次数为 5 的误差曲面

3 结 论

传统的和差算法计算简单, 但误差较大。算法 A 在入射光小角度小偏移量时, 误差较小, 速度也比较快, 但是在小角度大偏移量时, 误差比较大。算法 B 在大偏移量时误差比较小, 但是在小偏移量处误差较大, 另外 T 的选择对误差曲面的影响也比较大, 由于采用迭代, 所以算法速度较慢。采用曲线拟和的方法, 当拟和最高次数为 5 时, 只用保存三个系数, 硬件实现起来比较方便。在整个视场范围, 误差可以控制在 $-0.8^\circ \sim 0.6^\circ$ 。

参考文献:

[1] 张洪建, 方斌, 李伟仁. 机载武器四象限测角制导新算法 [J]. 激光与红外, 2002, 32(6): 425 - 427.

[2] 安凯, 汪红慢, 任戈, 等. 四象限测角仪测角新算法 [J]. 激光与红外, 2001, 31(6): 328 - 329.