

混合型集成光学拾音器的结构设计

杨立新 李东宏 陈学良

(中国科学院上海冶金研究所微电子学分部, 上海 200233)

卢志红 杨 易 沈德芳 陈国明

(中国科学院上海冶金研究所, 上海 200050)

摘 要 采用光学追踪法计算了圆锥光线入射到棱镜中的轨迹, 并对计算结果进行了实验验证, 实验结果与计算结果相一致, 从而获取了拾音器的光学结构参数。

关键词 混合型集成光学拾音器, 光学追踪, 圆锥光线。

1 引 言

光盘自从 70 年代出现以来, 由于其高存储密度和长寿命等突出优点而得到迅速发展和广泛的应用。在光盘技术中最关键的部分是光学拾音器, 目前已有多种形式的光学拾音器, 例如混合型集成光学拾音器、采用全息光学元件的拾音器及探测器、聚焦光栅和光波导集成在一硅片上的单片集成拾音器。单片集成的光学拾音器由于像差、耦合效率低等原因还不能实用化, 全息光学元件制作的拾音器使拾音器变得更小、更轻, 但全息光栅的制作较为困难, 混合集成型拾音器将探测器、光学棱镜和放大电路集成在一硅片上, 也使拾音器变小、变轻。光学拾音器的发展方向是小型化、轻型化。

我们设计了一种混合型集成光学拾音器, 采用光学追踪方法计算了理想情况下(无色散和像差)圆锥光线入射到棱镜中的轨迹, 并用实验对计算结果进行了验证。

2 实验过程

图 1 为混合型集成光学拾音器的结构示意图(不包括物镜)。波长为 790 nm、水平和垂直方向的发散角分别为 10° 和 30° 、功率为 3 mW 的激光束经微棱镜的半反射镜(棱镜斜面)入射到物镜后聚焦于光盘片数据面上, 光盘将会聚光束反射再经物镜入射到微棱镜半反射镜上, 光束的一部分反射回激光器; 另一部分通过折射进入微棱镜中, 照射到第一个三分割探测器上(棱镜底面), 又有部分光反射经微棱镜的全反射镜(棱镜顶面)反射后入射到另一个三分割探测器上, 对两个三分割探测器输出信号进行处理便得到聚焦误差信号、循迹误差信号以及射频信号。

光束照射到物镜上必须将圆孔径的物镜填满才能获得小的聚焦光斑^[1], 便于读取光盘上

的数据,因此在理想情况下(无色散和像差),根据光学共轭原理^[2, 3],光盘反射回来的光通过物镜后可会聚形成圆锥光束折射到棱镜中。

由于微棱镜很小(1~ 2 mm³),实验难度很大。为了确定光学拾音器的结构参数,可采用较大的棱镜来观测圆锥光线在棱镜底面的光斑水平方向上的大小以确定微棱镜的大小、两个三分割探测器的大小及两者的间距。

图 2 为实验示意图。波长为 790 nm、束宽为 3 mm 的平行激光束经过一焦距为 45 mm 的会聚透镜形成圆锥光线,一个 45°角、折射率为 1.5 的棱镜置于焦距范围内,棱镜斜面与圆锥光线的主光线成 45°,在垂直或平行主光线的方向上二维移动棱镜,这样便可观测不同条件下光斑在棱镜底面水平方向上(y 方向)的最大线度为 L 。必须指出,当圆锥光线斜入射到棱镜中,由于折射,其在棱镜中已不再是圆锥光线了。

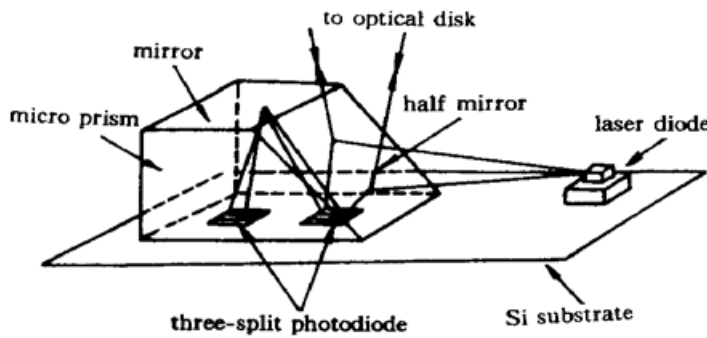


Fig. 1 The structure of the optical pickup device

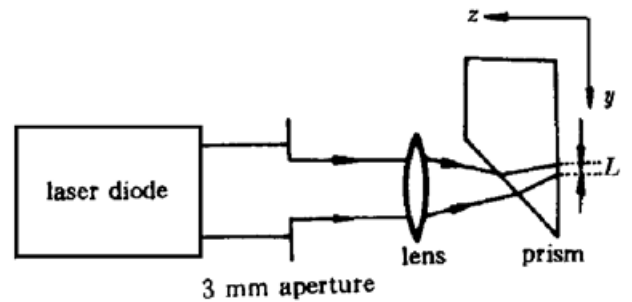


Fig. 2 Schematic diagram of the experiment

3 理论计算

图 3 为计算原理图。当不加棱镜时,光线将会聚,设会聚点为坐标原点 $O(0, 0, 0)$, 主轴光线(圆锥光线的中心线)方向为 z 轴,与棱镜斜面的交点为 $D(0, 0, d)$, d 为 D 与 O 之间的距离,点 D 到棱镜底面的垂直距离为 H 。实际上圆锥光线的一部分经棱镜斜面反射后会聚于点 O' 处,点 O' 为点 O 的镜像点,坐标为 $(0, d, d)$, 因此, O' 与 D 之间的间距也等于 d ,在理想情况下,点 O' 的位置与图 1 中的激光发射点重合。有了激光束束宽 R 、会聚透镜焦距 f 及设定好坐标后,就可以计算圆锥光线折射部分在平行 xy 平面的、不同坐标平面内的光斑大小了。

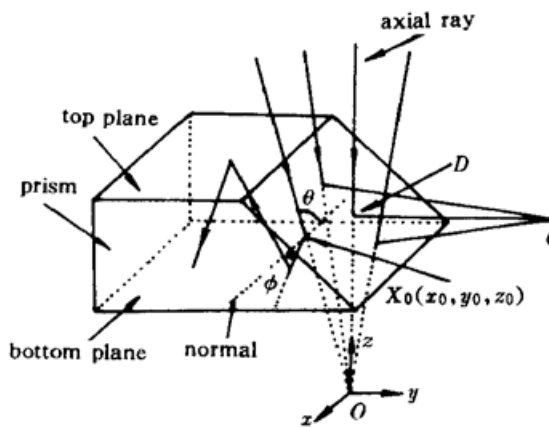


Fig. 3 The first schematic diagram of the calculation

取圆锥光线中的任一光线,其与棱镜斜面的交点为 $X_0(x_0, y_0, z_0)$, 可以从上述假设中得知棱镜斜面的空间解析方程为^[4]

$$y + z = d, \tag{1}$$

这样, X_0O 的直线方程为:

$$x/x_0 = y/y_0 = z/z_0, \tag{2}$$

而 $O'X_0$ 的直线方程为:

$$x/-x_0 = (y - d)/(d - y_0) = (z - d)/(d - z_0), \tag{3}$$

X_0O 和 $O'X_0$ 分别为入射和反射光线,两光线共面,由(2)式和(3)式可以得到共面方程:

$$(y_0 - z_0)x - x_0y + x_0z = 0. \quad (4)$$

可以证明, (4) 式表示的面与棱镜斜面[(1)式]垂直。设 X_0O 与法线的夹角为 θ , 其折射光线与法线的夹角为 ϕ , 图 3 已标出了 θ 和 ϕ (另外三光线的折射光线没有画出)。根据折射定理和几何原理, 存在下列关系:

$$\sin \theta = n \sin \phi, \quad (5)$$

$$\cos \theta = y_0 + z_0 / (\sqrt{2} \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2}), \quad (6)$$

n 为棱镜的折射率, 构成 X_0O 的折射光线方程为

$$(x - x_0)/k = (y - y_0)/l = (z - z_0)/m, \quad (7)$$

这里, (k, l, m) 为折射光线的方向余弦, 是要求出的量, 由于(2)式与(7)式共面, 因此得到共面方程:

$$(y_0m - lz_0)x - (x_0m - kz_0)y + (x_0l - y_0k)z = 0, \quad (8)$$

由于入射、反射和折射光线在同一平面内, 因此(4)式和(8)式是同一平面, 由(4)式和(8)式相比较可以得到:

$$k = x_0(m - 1)/z_0, \quad (9)$$

$$l = (z_0 - y_0 + y_0m)/z_0, \quad (10)$$

由于 (k, l, m) 与棱镜斜面(1)式的夹角为 $\pi/2 - \phi$, 所以存在下列关系式:

$$\cos \phi = |l + m| / (\sqrt{2} \sqrt{k^2 + l^2 + m^2}), \quad (11)$$

ϕ 由(5)式和(6)式确定, 将(9)式和(10)式代入(11)式, 便得到一个有关 m 的一元二次方程, 解出 m , 由(9)式和(10)式确定 k 和 l , 加上给定的 x_0 、 y_0 和 z_0 , 就得到了折射光线方程。当给定了某平面的方程 $z = C$ (C 为常数), 就可以求出折射光线与该平面交点的坐标, 当给定 1000 左右 (x_0, y_0, z_0) 的值, 便可以计算折射光线在该平面的光斑形状和大小了。

由(1)式和(2)式可知, (x_0, y_0, z_0) 可由 d 归一化, 即令 $d = 1$, 由(4)式和(8)式看出这并不影响 k 、 l 和 m 的计算, 而计算得到的折射光线在该平面内的坐标乘以实际的 d 值便是实际的坐标值了。因此 d 的选取决定了棱镜的大小和两个探测器的大小及它们之间的间距。

上面计算中的圆锥光线的方程(2)的方向矢量 (x_0, y_0, z_0) 是任意选取的, 本文中取主轴光线这一特殊光线代入到上面的计算公式, 得到其折射光线的方向矢量为 $(0.0, 1.0, 3.3)$, 利用折射原理来直接计算得到方向矢量也为 $(0.0, 1.0, 3.3)$, 而由方程的另一个解得到的方向矢量是以 $O'X$ 为入射光线的折射光线的方向矢量。

由于圆锥光线入射到棱镜中, 是以 yz 平面为对称面的, 因此计算量可缩减一半。

4 实验结果与讨论

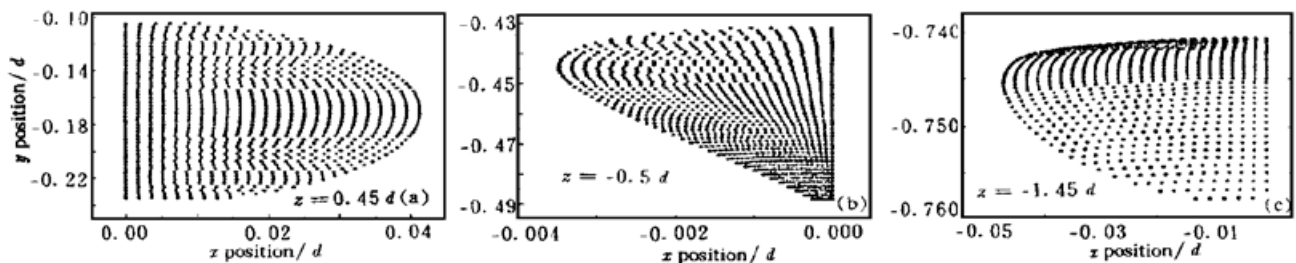
表 1 是测量到的几组数据, L_{calc} 是用测量到的 H 值代入到上面的计算公式而得到的。

把测量到的 d 、 H 以及激光束斑大小和聚焦透镜的焦距代入公式得到的 L 的计算值与测量值相近, 因此当已知激光束斑大小、聚焦透镜的焦距以及 d 和 H 的值, 通过计算能够很好地预测光斑在 y 轴上的最大线度及其在棱镜底面的形状, 这样就能够设计棱镜的大小、两个探测器的大小及它们之间的距离了。下面就用公式计算来设计所需要的参数。

Table 1. Comparison of results of calculation and measurement

| number | d /mm | H /mm | L_{meas} /mm | L_{calc} /mm |
|--------|---------|---------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 2.00 | 20.00 | 0.60 | 0.56 |
| 2 | 9.58 | 10.00 | 0.64 | 0.60 |
| 3 | 10.00 | 5.50 | 0.68 | 0.61 |
| 4 | 13.90 | 4.00 | 0.94 | 1.00 |
| 5 | 16.24 | 4.30 | 1.14 | 1.15 |
| 6 | 20.00 | 20.00 | 0.84 | 0.89 |

图 4 给出了折射光线在三个不同平面内光斑的计算结果, 图中的每个点代表一折射光线与该平面的交点, x 和 y 轴的单位是以 d 的相对值标定的, 选取圆锥光线的圆锥角为 8° , 棱镜的折射率为 1.5, 三个平行于 xy 面的平面的 z 轴坐标位置分别为 $0.45d$, $-0.5d$, $-1.45d$ 。

Fig. 4 The results of the calculation. (a) $z = 0.45d$, (b) $z = -0.5d$, (c) $z = -1.45d$

根据折射光线在棱镜中的实际情况, 光先照射到第一个探测器(棱镜底面), 部分光反射

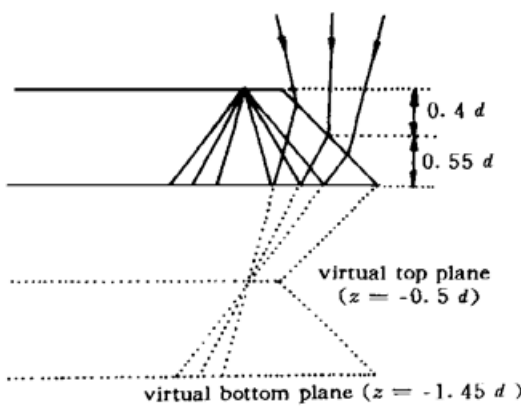


Fig. 5 The second schematic diagram of the calculation

到全反射镜面(棱镜顶面)再反射到第二个探测器(棱镜底面), 为了计算光线在棱镜顶面和底面的光斑形状和大小, 又由于光在均匀媒质中的直线传播性, 因此可以用图 5 来等效, 即以虚棱镜顶面和底面来替代棱镜顶面和第二个探测器所在的棱镜底面, 而且棱镜底面与虚棱镜顶面的间距、虚棱镜顶面和底面的间距均等于棱镜的高度(棱镜顶面与底面间距), 并假定这三个面的坐标为上面计算所选用的三个值。从计算结果看, 在 $0.45d$ 时, 光斑还处在 x 轴的正半轴空间, 而在 $-0.5d$ 和 $-1.45d$ 时, 光斑已处在 x 轴的负半轴空间了, 这说明在 $0.45d$ 和 $-0.5d$ 之间光线已经在 x 轴方向上发生了会聚。从图 4 可以得出, 在 $0.45d$ 和 $-1.45d$ 时, 光斑

在 x 轴方向上的最大宽度分别为 $0.042d$ 和 $0.047d$, 在 y 方向的最大宽度分别为 $0.13d$ 和 $0.018d$ 。必须指出, 由于计算得到的数据可能比较小, 而不得不考虑光的衍射现象, 即当计算得到的量接近光的波长时, 该量与实际的对应量存在偏差。当取 $d = 1 \text{ mm}$ 时, 上面的四个数据分别为 $42 \mu\text{m}$ 、 $47 \mu\text{m}$ 、 $130 \mu\text{m}$ 和 $18 \mu\text{m}$, 实际上由于 x 方向上所得的最大宽度只是原来的一半, 而激光波长等于 $0.79 \mu\text{m}$, 因此除 $18 \mu\text{m}$ 这个量外, 其它三个量均远大于波长, 但是为了消除衍射可能带来的影响, 可以适当扩大探测器的大小, 如在 x 方向的大小可设计为 $70 \mu\text{m} \times 2 = 140 \mu\text{m}$, 而两个探测器在 y 方向的大小可分别设计为 $200 \mu\text{m}$ 和 $100 \mu\text{m}$, 两个光斑的间距为 $506 \mu\text{m}$, 由于以上原因, 可将两个探测器 y 间距设计为 $420 \mu\text{m}$ 。

下面来确定棱镜的大小。当光进入棱镜照射到第一个探测器后, 部分光被反射, 有可能反射光照射到棱镜斜面而不是在全反射的顶面上, 因此选取棱镜的大小及激光器与棱镜的相对位置至关重要。假定棱镜的高度等于 d , 主轴光线与斜面的交点坐标 $D(0, 0, d)$ 到棱镜顶面和底面的间距相等, 等于 $0.5d$, 那么棱镜顶面和底面的 z 轴坐标分别为 $-0.5d$ 和 $0.5d$, 且棱镜斜面与顶面的交线平行于 x 轴, y 轴坐标为 $-0.5d$, 从图 4(b) 可以看出, 所有计算得到的点的 y 轴坐标已经大于 $-0.5d$ 了, 这说明如果这样选取棱镜的大小及激光器与棱镜的相对位置, 那么光进入棱镜后反射光将照射到棱镜斜面上。为了避免这一现象的发生, 选取棱镜的高度为 $0.95d$, 主轴光线与斜面的交点到棱镜顶面和底面的垂直距离分别为 $0.4d$ 和 $0.55d$, 在图 5 中已经标出, 这样就得到了图 4 中所采用的坐标了, 即第一个探测器所在的底面 z 轴坐标为 $0.45d$, 顶面 z 轴坐标为 $-0.5d$, 第二个探测器所对应的 z 轴坐标为 $-1.45d$ 了, 而此时棱镜斜面与顶面交线的 y 轴坐标为 $-0.4d$, 大于所有计算点的 y 轴坐标, 避免了反射光照射到棱镜斜面现象的发生, 但其与最近点的 y 轴间距为 $0.031d$, 这就要求加工棱镜和固定激光器与棱镜的位置需要较高的精度, 若取 $d = 1 \text{ mm}$, 那么精度要在 μm 量级了。根据以上的讨论, 可以确定棱镜的高度取 0.95 mm ($d = 1 \text{ mm}$), 底面长度为 1.4 mm , 顶面长度为 0.45 mm , 宽度应大于探测器的宽度, 可选为 0.5 mm 。

总 结 实验结果与计算结果相符, 表明了所采用的计算方法的正确性, 从而可以用数学计算来设计混合集成光学拾音器的光学结构参数。

参 考 文 献

- [1] Jipson V B, Williams C C. Two-dimensional modeling of an optical disk readout. *Appl. Opt.*, 1983, 22(14): 2202~ 2209
- [2] 赵凯华, 钟锡华. 光学. 北京: 北京大学出版社, 1984. 52~ 70
- [3] 母国光, 战元龄. 光学. 北京: 人民教育出版社, 1979. 25~ 74
- [4] 归行茂, 李重华, 柴常质. 数学手册. 上海: 上海科学普及出版社, 1993. 84~ 153

Structure Design of Hybrid-Integrated Optical Pickup Device

Yang Lixin Li Donghong Chen Xueliang
(Microelectronics Branch, Shanghai Institute of Metallurgy,
The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200233)

Lu Zhihong Yang Yi Shen Defang Chen Guoming
(Shanghai Institute of Metallurgy, The Chinese Academy of Sciences)

(Received 20 April 1998; revised 9 November 1998)

Abstract The behavior of optical trace is calculated by using ray-tracing method when a cone ray deflects into and propagates in a prism. The calculated result is testified by the experiment, and the parameters of the hybrid-integrated optical pickup device are designed.

Key words hybrid-integrated optical pickup device, ray tracing, cone ray.