

光盘光学头整形棱镜 光学系统的设计^{*}

陈海清 曹向英

(华中理工大学光电子工程系, 武汉, 430074)

摘要 针对激光光盘系统的特点, 重点讨论在单块整形棱镜优化设计中的光学问题。
主题词 光学头, 激光光盘, 优化设计, 棱镜。

Design of the Optical System of the Shaping Prism Used in the Optical Head of the Optical Disk

Chen Haiqing, Cao Xiangying

(Department of Optoelectronic Engineering, Huazhong
University of Science and Technology, Wuhan, 430074)

Abstract Based on the characteristics of the laser optical disk system, optical problems in optimizing design for the single shaping prism are discussed primarily in the paper.

Subject terms Optical heads, Laser optical discs, Optimum design, Prisms

引 言

半导体激光器(LD)光束发散角取决于激光器的横模特性。LD 的光束发散角 $\theta_{\perp}$ 和 $\theta_{\parallel}$ 是光学系统准直和整形系统的重要依据参数, $\theta_{\perp}$ 和 $\theta_{\parallel}$ 近似计算表达式如下^[1]

$$\begin{aligned}\theta_{\perp} &\approx 20d\Delta x/\lambda & (\text{rad}) \\ \theta_{\parallel} &\approx \lambda/\omega & (\text{rad})\end{aligned}$$

* 国家“七·五”科技攻关项目——“相变型可擦除光盘机”下课题“相变型可擦除光盘光学头的研制”, 获 1994 年国家教委科技进步奖二等奖。

陈海清: 男, 1947 年 5 月生, 1970 年毕业于华中工学院机械制造专业。教授, 光学仪器专业硕士学位指导教师, 从事光电仪器教学与科研, 参加的“可擦除相变光盘机”项目获 1994 年国家教委科技进步奖二等奖, “光盘存储系统理论研究”项目获 1993 年机电部科技进步奖三等奖及 1994 年国防科委光华基金三等奖, “光盘存储技术”项目获 1994 年湖北省科技进步奖二等奖。已发表 70 多篇学术论文。

曹向英: 男, 1971 年 12 月生, 1992 年毕业于华中理工大学光学仪器专业, 1995 年毕业于华中理工大学物理电子学与光电子学专业(理学硕士)。助教, 现在计算机工程系, 从事光电信息技术教学与科研。

收稿日期: 1996-01-02

其中 Δx 是复合区对双异质结构的外限制区之间 A I 原子比之差; d 是有源区厚度; ω 是光波导在结平面水平方向尺寸; λ 是波长。一般地, 器件在结平面方向往往出现高阶模式的振荡, 这时再用高斯光束基模的远场发散计算公式时, 计算误差较大, 因此必须借助于实验。

根据光学系统对光斑截面形状的需要, 确定整形系统的扩束比 M , 其 $M = \frac{\tan(\theta_{\perp}/2)}{\tan(\theta_{\parallel}/2)}$ 。通常采用的整形光学系统有三种方法: 拦光法、柱面镜法及棱镜系统法。拦光法: 简单, 但能量损失较大; 柱面镜法: 系统便于调整, 但工艺性不好、成本较高; 棱镜系统法: 结构简单, 工艺性好, 成本较低, 若采用双棱镜系统, 倍率可调, 基本上不引入象差。

棱镜光束整形器(PBS)的棱镜选择及系统的具体设计思想, 首先确定总的放大率, 然后选择棱镜的数目。一般消色差选用两块或三块即可, 如果要求输出与输入共线则需用四块棱镜。实际消色差的 PBS 的“上-上……下”结构型式是损耗最小的, 用途广泛。(上: 表示棱镜顶角向上, 下: 表示棱镜顶角向下, 系统为等放大率分配) 选择适当的入射角以保证每块棱镜上的光能损失最小^[2]。考虑到光盘系统光学头的特殊要求, 宜采用单棱镜整形, 结构简单, 光能耦合效率高, 适合组合成胶合体, 便于系统装校。

1 整形棱镜中光学问题

采用单棱镜进行光束整形的原理如图 1 所示。

1.1 扩束比

激光光束经过整形棱镜后, 由空气玻璃界面的折射作用而得到放大, 放大比可表示为

$$M = \frac{\phi}{\phi_1} = \frac{\cos i_2}{\cos i_1}$$

由折射定律 $\sin i_1 = n \sin i_2$, 以及整形棱镜的顶角 $a = i_2$, 可得到下列关系式

$$a = \arcsin \sqrt{\frac{M^2 - 1}{M^2 n^2 - 1}}$$

$$i_1 = \arcsin \sqrt{\frac{M^2 - 1}{M^2 - 1/n^2}}$$

光盘系统中光学头所用的 LD 的有关参数如表 1 所示。

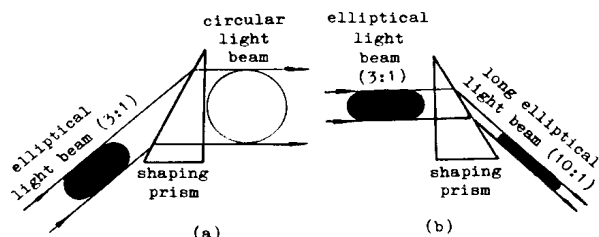


图 1 单棱镜整形原理

(a) 圆光束的形成 (b) 椭圆光束的形成

Fig 1 The shaping principle of the single prism

(a) The formation of the circular light beam

(b) The formation of the elliptical light beam

表 1 光学头所用 LD 的特性参数

Table 1 The Characteristic Parameters of LD Used in the Optical Head

model	LD15MD	or	LD24MD
peak power	40mW		30mW
angle of divergence	10°×27°		10°×30°
operation wave length	830nm		780nm
window thickness	0.17-0.3mm		0.17-0.3mm

棱镜采用 K₉ 玻璃计算参数如下:

$$n(780) = 1.51079$$

$$i_1 = 75^\circ 34''$$

$$a = 39^\circ 48' 36''$$

$$M = 3:1$$

$$n(830) = 1.50983$$

$$i_1 = 75^\circ 49''$$

$$a = 39^\circ 47' 29''$$

$$M = 3:1$$

1.2 反射率 R_p

由上面计算结果可知入射角 i_1 是比较大的, 在如此大的入射角的情况下, 入射光的反射损失是必须考虑的。由光学头的光路传输特性可知, 利用的是 P 偏振光, 所以只需考虑 P 光的反射损失, 由 Fresnel 公式

$$R_p = \left(\frac{n \cos i_1 - \cos i_2}{n \cos i_1 + \cos i_2} \right)^2$$

代入 $M = \frac{\cos i_2}{\cos i_1}$ 公式得

$$R_p = \left(\frac{n - M}{n + M} \right)^2 = \left(\frac{\frac{n}{M} - 1}{\frac{n}{M} + 1} \right)^2$$

R_p 随 M, n 值不同而变化, 如图 2 所示。

由图 2 看出, 当 M 比 n 大得多时, 整形棱镜入射面对 P 光的反射损失是不可忽略的, 必须镀制高质量的增透膜来减小光能损失。

1.3 膜系设计

由于入射角较大 ($i_1 > 75^\circ$), 因此对膜系有一定要求, 否则能量损失是很大的 (反射损失), 从而进入到聚焦物镜的能量就会很小, 满足不了系统对能量的要求。在膜系设计时, 立足于采用 $1/4$ 膜系结构, 采用尽可能少的层数。经计算验证确定采用 $\lambda/4$ 结构, 其膜系如图 3 所示。

由于

$$n_0 \sin \theta_0 = n_1 \sin \theta_1$$

$$\delta = \frac{4\pi}{\lambda} n_1 h_1 \cos \theta_1 = \frac{4\pi}{\lambda} n_1 h_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_0}{n_1} \sin \theta_0 \right)^2}$$

如图 3 取 $\theta_0 = 75^\circ$, $n_1 = 1.46$ $n_1 h_1 = \lambda$

则

$$\delta = 4\pi \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta_0}{n_1^2}} \approx 3\pi$$

此时由 $(n_1 - n_2)$ 与 $(n_0 - n_1)$ 面反射的光相干相消, 因此对于大入射角的膜系设计的 δ 尽可能是 π 的奇数倍。

下面作一般性的讨论:

令

$$\delta = \frac{4\pi}{\lambda} n_1 h_1 \sqrt{1 - \left(\frac{n_0 \sin \theta_0}{n_1} \right)^2} = (2K - 1)\pi \quad (K = 1, 2, 3 \cdots)$$

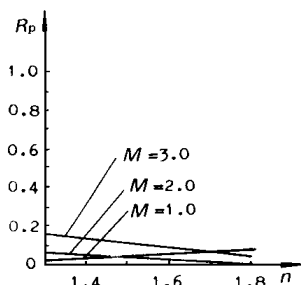


图 2 反射率 R_p 随

折射率 n 和扩束比的变化

Fig. 2 The variation of reflectance R_p with refraction n and beam expanding ratio

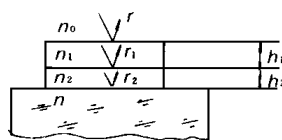


图 3 膜系示意

Fig. 3 Sketch map of the thin film system

那么有

$$n_1 h_1 = \frac{\lambda}{4} \cdot J \quad (J = 1, 2, 3 \cdots)$$

$$\pi^2 J^2 \left\{ 1 - \frac{n_0^2 \sin^2 \theta}{n_1^2} \right\} = (2K - 1)^2 \pi^2$$

$$J^2 \left\{ 1 - \frac{n_0^2 \sin^2 \theta}{n_1^2} \right\} = (2K - 1)^2$$

则有

$$\frac{n_0 \sin \theta}{n_1} = \sqrt{1 - \left(\frac{2K - 1}{J} \right)^2}$$

上式很有用, 只要注意选取适当的 n_1, J, K 可满足要求, 同时还可与整形棱镜设计结合起来, 通过选玻璃, 从而可改变入射角 θ , 则得到

$$\frac{n^2 (M^2 - 1)}{n_1^2 (n^2 M^2 - 1)} = 1 - \left(\frac{2K - 1}{J} \right)^2$$

式中 n 是玻璃折射率, M 是扩束比, n_1 是膜层折射率。若采用 $\text{SiO}_2 - \text{ZnS}$, 对于上述的圆形整形的单棱镜透射率 $T = 97.5\%$, 结果令人满意。

1.4 定位误差

下面分析整形棱镜定位误差带来的影响, 对 $\sin i_1 = n \sin i_2$ 全微分

$$\cos i_1 di_1 = n \cos i_2 di_2 + \sin i_2 dn$$

即

$$di_2 = \frac{\cos i_1}{n \cos i_2} di_1 - \frac{\sin i_2}{n \cos i_2} dn$$

设出射光线的偏能量为 di_3 , 由折射定理知

$$di_3 = n di_2 = di_1 / M - \text{tg} i_2 dn$$

分析 di_2 式可得到如下结论:

(1) 入射角 i_1 的变化, 系统要对它进行 $1/M$ 的衰减, M 越大衰减越厉害。所以入射角 i_1 的变化不会导致出射光线偏角 di_3 的太大变化, 即定位允差较大。

(2) n 值的变化也会导致 di_3 的变化, 为减小这种变化有两种方法, 一是增大 n 值, 从而使 $\text{tg} i_2$ 减小, 但这种方法效果不太明显。二是采用 dn 很小的玻璃, 即选用低色散低折射率温度变化系数稳定的材料, 为此设计时选用 K_9 玻璃。

扩束比 M 的表达式

$$M = \frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1}}{n \cos i_1}$$

采用 dn 较小的 K_9 玻璃时, 假定 n 为常数, 对上式微分得

$$dM = \frac{\sin 2i_1 + 2(n^2 - \sin^2 i_1)n \sin i_1 - 1}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} \cdot n^2 \cos^2 i_1} di_1$$

为简化起见, 把 $i_1 = 75^\circ$ 代入上式有

$$dM \approx 9 di_1$$

可见定位误差造成的扩束比的变化也很小。

结束语

一般来讲, 整形棱镜光学问题应主要讨论三方面的性能: 扩束比, 损耗及色散。根据激光光盘系统中选用的半导体激光器为 780nm 或 830nm, 其波长漂移大约为 10nm, 色散很小, 所以在此不予讨论。整形棱镜光学问题的讨论, 与棱镜的顶角、材料折射率、光线在每块棱镜上的入射角以及入射光线的偏振状态密切相关。

参考文献

- 1 Hartman R L, et al Reliability of DH GaAs Lasers at elevated temperatures Appl Phys Lett, 1975, 26: 239~ 243
- 2 Rick Trebino. Achromatic N-prism beam expanders: optical configurations Applied Optics, 1985, 24(8): 1130~ 1138