

# 相变型双光路激光光盘位相延迟器件的设计

陈海清 阮玉 常洋燕

(华中理工大学光电子系, 武汉 430074)

**提要** 相变型双光束光学头系统中,用到两块位相延迟器,即四分之一波片(QWP)与二分之一波片(HWP),其中QWP的性能对系统的影响最大,包括光盘读出信号的信噪比(SNR)以及伺服信号的质量。本文分析了常规波片的缺点,重点讨论了倾斜光轴波片的设计方法。

**关键词** 相变光盘,波片,倾斜光轴

## 1 引言

波片的作用是用来产生光学系统所需要的位相延迟,常用材料一般为双折射晶体。当晶片的厚度 $d$ 取不同值时,线偏振光从其中通过时所产生的 $o$ 光和 $e$ 光,可以获得不同位相差。相变型双光路光盘,根据双光斑形成光束分离与合并的成像原理及伺服信号检出需要,采用了一大块光学胶合件来完成光束成像。系统结构简单,便于装配,可减少杂散光影响。

图1所示为研制成功的PCOH-1型双光束光学头光学系统图。一个激光二极管( $LD_1, \lambda_1$ )用于记录与读出。激光器发出光束被准直透镜 $CL_1$ 准直,经扩束棱镜 $SP_1$ 整形成为圆光束。圆光束被分光镜 $DM_1$ 全反后,经偏振分光棱镜 $PBS, \lambda/4$ 波片 $QWP$ ,会聚透镜 $OL$ ,在光盘面上形成亚微米光斑。由光盘反射回的光束到达偏振分光镜 $PBS$ 后,由于光束已两次通过 $QWP$ ,光束偏振方向由 $P$ 变为 $S$ 。光束经分光镜 $DM_2$ 全反后,进入 $\lambda/2$ 波片 $HWP$ ,使光束变为 $P$ 偏振光束,进入临界角棱镜与四像限探测器 $PD$ ,引出数据信号 $RF$ ,调焦伺服信号 $FES$ ,经向跟踪信号 $TES$ 。

另一个激光二极管( $LD_2, \lambda_2$ )用于擦除。激光束经准直后仍为3:1的椭圆光束,经压束棱镜 $SP_2$ 压束后,为10:1的超长椭圆光束,光束经分光镜 $DM_1$ 后,与830nm波长光束会合,经偏振分光镜 $PBS$ ,波片 $QWP$ ,会聚透镜 $OL$ ,在光盘面上形成超长椭圆光斑。

系统中用到了 $1/4$ 波片 $QWP$ 与 $1/2$ 波片 $HWP$ ,其中波片 $QWP$ 的性能对系统的影响最大,包括光盘读出信号的信噪比 $SNR$ 以及伺服信号质量。

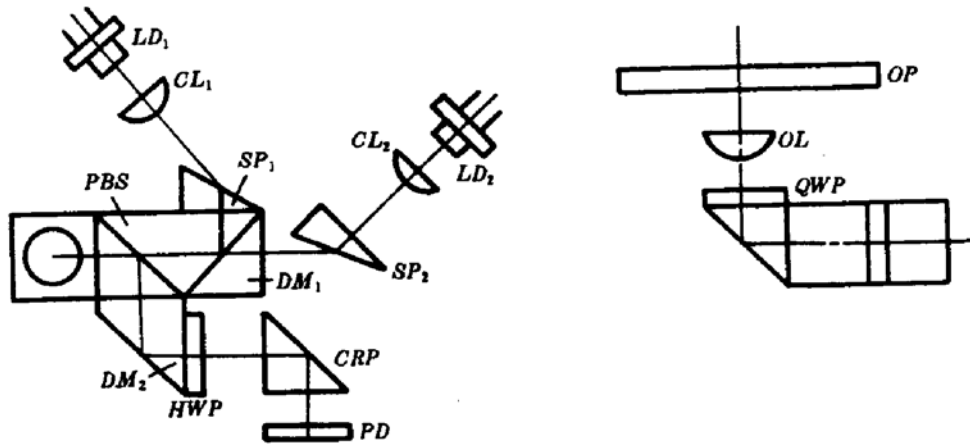


Fig. 1 Optical system

## 2 位相延迟器的设计

### 2.1 常规法波片的缺点

所谓常规法波片,即切割石英晶体加工成的波片,当 $\lambda = 830 \text{ nm}$ 时,对于 $\lambda/4$ 波片而言,其厚度只有 $23.4 \mu\text{m}$ ,波片太薄无法加工。因此通常作成一块较厚的片子,使其延迟量等于激光波长的 $1/4$ 与其整数倍之和。

$$d(n_e - n_o) = (m + 1/4)\lambda$$

其中, $n_o$ 为寻常光线的折射率, $n_e$ 为非常光线的折射率, $d$ 为波片的厚度, $\lambda$ 为激光波长, $m$ 为整数因子。

在 $273 \sim 353 \text{ K}$ 温度区间内,垂直光轴方向的热膨胀系数为<sup>[1]</sup> $\alpha = 13.37 \times 10^{-6} (\text{/}^\circ\text{C})$ 。

光学头使用温度区间为 $10 \sim 50 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

如果对 $\lambda = 830 \text{ nm}$ 激光,为了加工方便, $m$ 要大于或等于5才行,为此取 $m = 5$ 来讨论。通常激光二极管的工作波片存在较大的变化,主要原因有两个<sup>[2]</sup>: 1) 由于工艺水平的问题,同类管子中存在激光波长误差 $\Delta\lambda_e$ ; 2) 使用过程中存在波长漂移 $\Delta\lambda_r$ 。

取 $\Delta\lambda = \Delta\lambda_e + \Delta\lambda_r = \pm 5 \text{ nm}$ ,由此所引起的位相误差 $\Delta\delta_1$ 为

$$\Delta\delta_1 = 2\pi\Delta N_1 = (m + 1/4)\Delta\lambda/\lambda \times 360^\circ = 11.5^\circ$$

再考虑温度对其影响,取 $\Delta T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,由此引起的位相误差 $\Delta\delta_2$ 为

$$\Delta\delta_2 = 2\pi\Delta N_2 = (m + 1/4)[\alpha + (\Delta n_e - \Delta n_o)/(n_e - n_o)] \times \Delta T \times 360^\circ = 4.3^\circ$$

则总的误差为

$$\Delta\delta = \Delta\delta_1 + \Delta\delta_2 = 15.8^\circ$$

此外还存在加工误差。厚度为 $d$ 的波片,引入的位相误差为

$$\delta = 2\pi d(n_e - n_o)/\lambda$$

对上式进行微分,可得到下面表达式

$$\Delta\delta = 2\pi/\lambda \cdot (n_e - n_o)(\Delta d - d\Delta\lambda/\lambda)$$

所以,对以一定波长 $\lambda$ , $\lambda/4$ 波片的厚度公差 $\Delta d$ 由下式给出

$$\Delta d = \lambda \cdot \Delta\delta/[2\pi(n_e - n_o)]$$

假设对波长为 $830 \text{ nm}$ 的激光来说,可接受的位相误差为 $0.02$ ,则对 $\lambda/4$ 波片, $\Delta d < 0.6 \mu\text{m}$ ,要加工如此高精度的波片,是相当困难的。

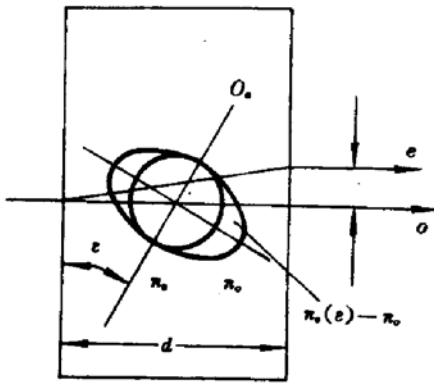


Fig. 2 Wave plate with tilting optical axis

## 2.2 斜光轴波片原理与设计

为了加工出一级波片,有两种方法可以采用,一是两片波片叠加,二是斜光轴法<sup>[2]</sup>。对于前者,加工困难,成本高,第二种方法的原理是通过减小石英晶体的有效双折射率来增加其厚度。参考图2,其有效双折射率与光轴倾斜角  $\varepsilon$  存在如下关系

$$n_e(\varepsilon) - n_o = n_o \left[ \frac{n_e \sqrt{1 + K^2}}{\sqrt{n^2 + K^2 n^2 - 1}} \right]$$

其中,  $K = \operatorname{tg} \varepsilon$ , 其有效双折射率大小可在  $0 \sim (n_e - n_o)$  之间调节。对  $\varepsilon = 80^\circ$ ,  $n_e(\varepsilon) - n_o = 0.0002$ ,

此时  $\lambda/4$  波片的厚度确定如下

$$d = \lambda / [4(n_e(\varepsilon) - n_o)] = 0.1 \text{ mm}$$

光线分离大小  $L$  可表示为

$$L = d \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

其中

$$\alpha = (\pi/2 - \varepsilon) - \operatorname{tg} [n_o^2/n_e^2 \operatorname{tg}(\pi/2 - \varepsilon)]$$

若取  $\lambda = 830 \text{ nm}$ ,  $n_o = 1.53773$ ,  $n_e = 1.54661$ , 则不同  $\varepsilon$  角情况下,  $\lambda/4$  波片厚度与光束错位  $L$  的数据见表1。

Table 1

$\varepsilon$	$90^\circ$	$80^\circ$	$60^\circ$	$45^\circ$	$0^\circ$
$d (\mu\text{m})$	—	783.80	94.36	47.08	23.44
$L (\mu\text{m})$	0	2.36	0.45	0.27	0

## 3 实验结论

相变光盘光学头系统中,采用的倾斜轴  $\lambda/4$  波片,其设计与加工时,  $\varepsilon$  角一般取  $85^\circ > \varepsilon > 70^\circ$  之间。

实际设计参数如下:

$$d = 0.47, \varepsilon = 77^\circ$$

对  $\lambda = 830 \text{ nm}$  激光,位相延迟量为  $90^\circ$ ;

对  $\lambda = 780 \text{ nm}$  激光,位相延迟量为  $84^\circ$ 。

加工好的倾斜光轴  $\lambda/4$  波片,通过自制的位相延迟量测试仪,当激光波长在  $730 \sim 980 \text{ nm}$  范围内变化时,经多次测试获得位相延迟量偏离的平均值,图3表示了此波片对波长的稳定性,其中设差量  $E$  为

$$E = (\delta - 90^\circ) / 90^\circ \cdot 100\%$$

由  $E-\lambda$  曲线可知,当  $\lambda$  有  $\pm 50 \text{ nm}$  偏差时,即在  $780 \sim 890 \text{ nm}$  之间变化时,其位相延迟偏离不超过  $7\%$ ,显然这种情况下的误差量  $E$  大大优于常规波片。

加固型光盘机工作温度为  $-20 \sim 55^\circ\text{C}$ , 如此宽温的工作环境,  $\lambda$  波长的漂移是严重的,为了控制波片位相延迟偏离量,应采用斜光轴波片。

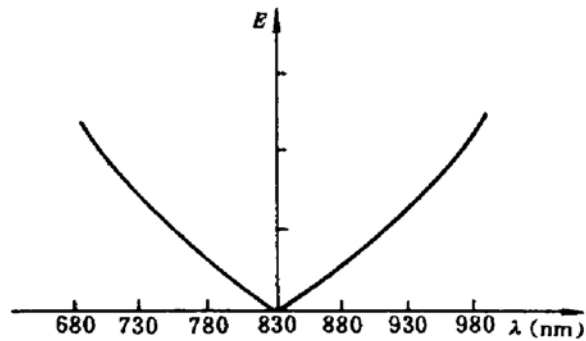


Fig. 3 Stability of a wave plate to wavelength

### 参 考 文 献

- 1 William L. Wolf, George J. Zissis. The Infrared Handbook, Environmental Research Institute of Michigan, 1980, 7~58
- 2 Gerald F. Marshall. Laser Beam Scanning, New York : Marcel Dekker INC, 1986, 361

## Design of a Phase-delay Element Used in Phase-change Disk with Two Beam Optical Head

Chen Haiqin Ruan Yu Chang Yangyan

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

**Abstract** Two phase delay elements  $\lambda/4$  wave plate QWP and  $\lambda/2$  wave plate HWP are used in the system of phase-change two beam optical head. The characteristics of QWP greatly affect the feature of the system, including signal to noise ration (SNR) of reading signal of optical disk and quality of servo signal. In this paper the defects of conventional wave plate is analyzed, and the design consideration of a wave plate with titling optical axis are mainly discussed.

**Key words** phase-change disk, wave plate, titling optical axis