

文章编号: 1001-3806(2003)01-0029-02

## 镀有高反膜的 1/4 波片工作特性分析

张波 黄德修

(华中科技大学光电子工程系, 武汉, 430074)

**摘要:** 基于光矢量的琼斯矩阵理论, 分析了单面镀有高反膜, 另一面镀有增透膜的 1/4 波片工作特性。结果表明, 膜层会引起偏振光在波片内的振荡, 从而使波片的通带出现纹波效应。

**关键词:** 偏振光; 琼斯矩阵; 高反膜; 增透膜; 波片

**中图分类号:** O436 **文献标识码:** A

### Characteristic analysis of 1/4 waveplate with HR coating

Zhang Bo, Huang Dexiu

(Department of Optical Electronics, HUST, Wuhan, 430074)

**Abstract:** Based on Jones matrix theory, characteristic of 1/4 waveplate with one side HR coating and the other side AR coating is analyzed in this paper. It shows that the film layers will induce oscillating of polarized light in the waveplate, which produces ripples effect in the passband.

**Key words:** polarized light; Jones matrix; HR coating; AR coating; waveplate

### 引言

光纤通信中, 许多光无源器件如隔离器、环形器和交叉复用器都使用单面镀有高反膜, 另一面镀有增透膜的 1/4 波片取代 1/2 波片将镜像光路折叠, 以减小器件的原材料, 缩小器件的体积, 降低器件的成本<sup>[1]</sup>。具体地说, 若光路以 1/2 波片为中心, 波片左右两边的光学元件相同, 则可以用单面镀有高反膜, 另一面镀有增透膜的 1/4 波片来取代 1/2 波片, 从而将光路折叠。1/4 波片两端的增透膜, 高反膜的反射系数一般根据能量损耗而定。以偏振光矢量的琼斯矩阵理论为基础, 用多光束干涉法分析由于膜层引起的偏振光在 1/4 波片内的振荡对波片的工作特性的影响。发现这种振荡会使得波片原来光滑的通带出现纹波现象, 即消光比会随波长的变化出现类似纹波的振荡。这一结论对无源器件中单面镀有高反膜的波片的选用及偏振光在相位延迟光学元件中的振荡现象的分析带来极大的帮助。

### 1 理论分析

如图 1 所示, 1/4 波片的 A 面镀有增透膜, B

作者简介: 张波, 女, 1977 年 6 月出生。硕士研究生。现从事光无源器件的研究。

收稿日期: 2002-03-04

面镀有高反膜。自然光经过起偏器以后成为线偏

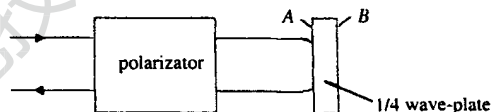


Fig. 1 Structure of waveplate analysis

光, 其偏振方向与 1/4 波片快轴 (或慢轴) 成 45 夹角。理想情况下, A 面增透膜透射系数  $T = 100\%$ , B 面高反膜反射率  $R = 100\%$ , 1/4 波片引入的相位延迟为  $\pi/2$ , 是  $\lambda$  的函数。设起偏器输出偏振光振幅为  $\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ , 令 1/4 波片的传输矩阵为  $M^{[2]}$ :

$$M = \begin{bmatrix} e^{-i\pi/2} & 0 \\ 0 & e^{i\pi/2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

两次经过 1/4 波片后光的振幅为  $\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix}$ , 则:

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-i\pi/2} & 0 \\ 0 & e^{i\pi/2} \end{bmatrix}^2 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

再经过检偏器后输出光强为  $I = A \cdot A^*$ 。

一般检测仪器只能检测出光能量, 无法测出光强。所以, 通常用消光比  $D$  (隔离度) 来表示波片特性<sup>[3]</sup>:

$$D = -10 \lg(I) \quad (3)$$

光两次经过石英晶体为材料, 中心波长为 1550nm 的 1/4 波片时, 其透射谱如图 2 所示。实际应用

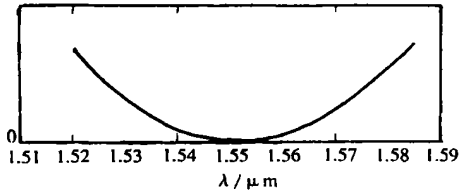


Fig. 2 Ideal waveplate transmission spectra

中,上述  $T$  和  $R$  只是近似 100%,通常高反膜反射率在 99.7%~99.99%之间,增透膜的透射系数在 99.97%以下<sup>[4]</sup>,势必会有一小部分光在 1/4 波片内振荡,如图 3 所示。假设增透膜的反射系数为  $r_1$  ( $r_1 =$

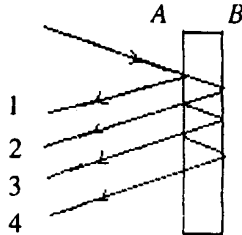


Fig. 3 Polarization oscillating in waveplate

$\sqrt{1-T}$ ),透射系数为  $t_1$  (反向透射系数为  $t_1$ ,  $t_1 t_1 = T$ );高反膜的反射系数为  $r_2$  ( $r_2 = \sqrt{R}$ ),根据多光束干涉原理,其反射光束合振幅  $\begin{bmatrix} E \\ F \end{bmatrix}$  为:

$$\begin{bmatrix} E \\ F \end{bmatrix} = -r_1 \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \sum_{n=1}^{\infty} t_1 t_1 r_2^n r_1^{n-1} \times \exp(i n \delta) M^{2n} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中,  $\delta$  是相邻两反射光束之间的位相差,  $M$  是 1/4波片的传输矩阵。

由菲涅耳公式<sup>[5]</sup>,上式可以简化为:

$$\begin{bmatrix} E \\ F \end{bmatrix} = -\sqrt{R_1} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + (1-R_1) \sum_{n=1}^{\infty} R_2^n R_1^{\frac{n-1}{2}} M^{2n} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} \exp(i n \delta) \quad (5)$$

经检偏器后,  $D = -10 \lg(E \cdot E^*)$ 。

同样对于石英晶体材料,中心波长为 1550nm 的 1/4 波片,其实际透射谱如图 4 所示,与图 2 相比,在波片透射谱顶部出现明显的纹波。

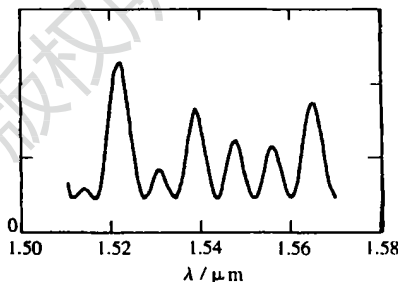


Fig. 4 Stimulation of real waveplate transmission spectra

## 2 实验测试

实验光路如图 5 所示,1/4 波片为石英晶体材料,中心波长为 1550nm, A 面  $T = 99.975\%$ , B 面  $R = 99.9\%$ 。光经隔离器、耦合器、光纤准直器输入起偏器,旋转起偏器使其光轴与 1/4 波片快轴(或慢轴)成 45° 夹角,反射光经一系列元件后,由光谱仪接收,测得曲线如图 6 所示。

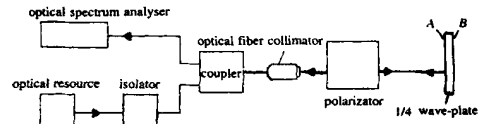


Fig. 5 Structure of optical circuit

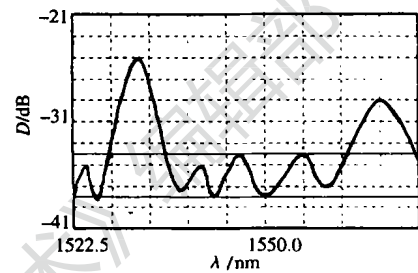


Fig. 6 Experimental 1/4 waveplate spectra curve

由于使用光源波长为 1520nm~1570nm,所以光谱图中 1570nm 附近的光谱曲线模糊,但在其透射顶部有明显的纹波现象。

## 3 结论及应用

从理论实验证明,单面镀有高反膜的 1/4 波片其透射带顶部会出现纹波现象,且由理论分析易知,  $R$  越接近 100%,  $T$  越接近于 100%,纹波越小。所以,在无源器件中选用此类 1/4 波片时,除了要考虑整体能量损失之外,还应根据所需波片的消光比来确定  $T$  与  $R$  的值,使得纹波在一定的范围内,不影响无源器件的隔离度、对比度或损耗等。

### 参考文献

- [1] Cao S, Mateo S. United State Patent, 6226115B1, 2001-05-01.
- [2] 梁铨廷. 物理光学. 北京: 机械工业出版社, 1993: 255~258.
- [3] 林学煌. 光无源器件. 北京: 人民邮电出版社, 1998: 125~145.
- [4] Dobrowolski J A. Appl Opt, 1996, 35(1): 102~106.
- [5] Ivan K, Tzewatanka B. Appl Opt, 1998, 37(19): 4260~4262.