

文章编号:1002-2082(2010)05-0851-04

# 薄膜法布里-珀罗滤光片的偏振特性

于志明<sup>1</sup>, 何兴道<sup>2</sup>

- (1. 连云港师范高等专科学校 物理系, 江苏 连云港 222006;
2. 南昌航空大学 激光探测实验室, 江西 南昌 330063)

**摘要:** 用特征矩阵法研究了薄膜法布里-珀罗滤光片的偏振特性。研究发现: 随着入射角增大, s 偏振光透射模和 p 偏振光透射模的波长逐渐分离, 但分离的幅度较小; 随着入射角增大, s 偏振光透射模的透射率作幅度较大的震荡变化, 而 p 偏振光透射模的透射率变化较小; 当入射角以  $1^\circ/100$  的间隔变化时, 可以在透射模波长不变的情况下, 使 s 偏振光透射模的透射率发生显著变化, 而 p 偏振光透射模的透射率基本不变。薄膜法布里-珀罗滤光片的偏振特性可以在角度变化的测量中发挥重要作用。

**关键词:** 薄膜光学; 法布里-珀罗滤光片; 偏振性

中图分类号: TN942.24; O484.4

文献标志码: A

## Polarization properties of thin film Fabry-Pérot filter

YU Zhi-ming<sup>1</sup>, HE Xing-dao<sup>2</sup>

- (1. Department of Physics, Lianyungang Teachers' College, Lianyungang 222006, China;
2. Laser Detection Laboratory, Nanchang University of Aeronautics, Nanchang 330063, China)

**Abstract:** The polarization properties of thin film Fabry-Pérot filter is investigated by eigen method. With the increase of incident angle, the wavelengths of the transmission modes of s-polarized light and p-polarized light separate gradually, but the separation is small. The transmittance of the transmission mode of s-polarized light vibrates greatly and the transmittance of the transmission mode of p-polarized light vibrates little with the increase of incident angle. When the incident angle changes at the separation of  $1^\circ/100$ , the wavelengths of the transmission mode of s-polarized light and p-polarized light keep unchanged and the transmittance of the transmission mode of s-polarized light changes significantly, while the transmittance of the transmission mode of p-polarized light changes very small. The polarization properties of film Fabry-Pérot filter can play an important role in angle measurement.

**Key words:** thin film optics; Fabry-Pérot filter; polarization

## 引言

由于多光束干涉而在黑暗背景上产生细锐条纹的法布里-珀罗滤光片具有很高的分辨本领, 在很多精密测量中起关键作用。但是, 常用的法布里-珀罗滤光片体积大、价格高, 特别是其中的金属反射膜较大的吸收系数, 限制了其性能的提高。在文献[1]中介绍了用现代薄膜技术研制的薄膜法布里

-珀罗滤光片, 用光学薄膜理论研究了其超棱镜效应, 并实验测量了其超棱镜效应, 实验测量与理论计算的结果非常吻合。薄膜法布里-珀罗滤光片体积小、质量轻, 特别是采用多层反射膜代替金属反射膜而大大提高了其性能。本文继续用光学薄膜理论来研究薄膜法布里-珀罗滤光片透射模的偏振特性, 并与我们研究过的一维缺陷光子晶体窄带缺陷

收稿日期: 2010-04-12; 修回日期: 2010-05-12

作者简介: 于志明(1960—), 男, 江苏灌云人, 教授, 主要从事大学物理教学和研究工作。E-mail: 8800237\_cn@sina.com

模的偏振特性<sup>[2-3]</sup>作了对比, 这对于加深人们对薄膜法布里-珀罗滤光片的认识, 拓展薄膜法布里-珀罗滤光片的使用范围具有重要意义。

### 1 薄膜法布里-珀罗滤光片的结构和研究方法

文献[1]中研制的薄膜法布里-珀罗滤光片的结构式为

$$\text{Air} | (\text{HL})^5 \text{H4LH}(\text{LH})^5 | \text{Sub}$$

式中: H 为 TiO<sub>2</sub>, 折射率为 2.09(850 nm); L 为 SiO<sub>2</sub>, 折射率为 1.44(850 nm); Sub 为玻璃, 折射率为 1.52。此薄膜法布里-珀罗滤光片的制作方法是: 用真空电子束镀膜的方法在玻璃基板上交替蒸镀 TiO<sub>2</sub> 和 SiO<sub>2</sub> 薄膜, 基板加热至 300 °C, 本底真空度为 3 × 10<sup>-3</sup> Pa, 充氧后的工作真空度为 1.8 × 10<sup>-2</sup> Pa; 用光学监控方法对膜厚进行监控, 膜系的中心波长为 850 nm; H 的物理厚度为 101.67 nm; L 的物理厚度为 147.57 nm。

我们用光学薄膜理论中特征矩阵法<sup>[1,4-5]</sup>来研究薄膜法布里-珀罗滤光片的偏振特性。当光通过折射率为 n<sub>i</sub>、厚度为 d<sub>i</sub> 的第 i 层介质时, 其特征矩阵为

$$T_i = \begin{pmatrix} \cos \delta_i & -j\eta_i^{-1} \sin \delta_i \\ -j\eta_i \sin \delta_i & \cos \delta_i \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中:  $\delta_i = (2\pi/\lambda)n_i d_i \cos \theta_i$ ,  $\theta_i$  为光进入第 i 层介质时的入射角,  $\eta_i$  为第 i 层介质的有效导纳, 对于 p 偏振光,  $\eta_i = n_i / \cos \theta_i$ , 对于 s 偏振光,  $\eta_i = n_i \cos \theta_i$ 。

当光通过 N 层介质后, 总的特征矩阵为

$$T = \prod_{i=1}^N T_i \quad (2)$$

若将 T 表示为

$$T = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \quad (3)$$

则光通过 N 层介质后的透射系数可以写为

$$t = \left( \frac{2\eta_0}{a_{11}\eta_0 + a_{12}\eta_{N+1} + a_{21} + a_{22}\eta_{N+1}} \right)^2 \quad (4)$$

式中  $\eta_0$  和  $\eta_{N+1}$  分别为入射介质和出射介质的有效导纳。在研究中薄膜法布里-珀罗滤光片置于空气

中,  $\eta_0 = \eta_{N+1} = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}}$ , 故(4)式变为

$$t = \left( \frac{2\eta_0}{a_{11}\eta_0 + a_{12}\eta_0^2 + a_{21} + a_{22}\eta_0} \right)^2 \quad (5)$$

用(5)式来研究当入射光的入射角变化时, 入射的 s 偏振光和 p 偏振光通过薄膜法布里-珀罗滤光片透射模的变化特性。

### 2 结果与讨论

图 1 给出在入射角分别为 0°, 20°, 40°, 60° 时薄膜法布里-珀罗滤光片的透射谱, 从图 1 可以看

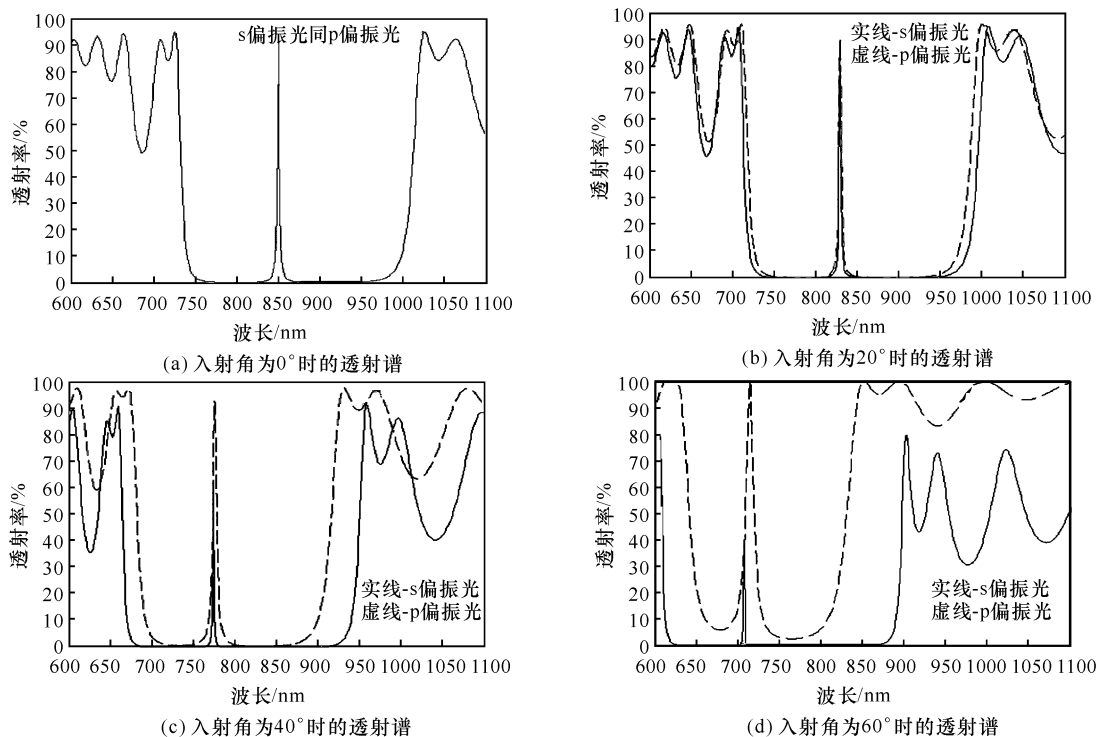


图 1 入射角为 0°, 20°, 40°, 60° 时薄膜法布里-珀罗滤光片的 s 偏振光和 p 偏振光透射谱

Fig. 1 The transmission spectrum of thin film Fabry-Pérot filter when incident angle is 0°, 20°, 40°, 60°

出:随着入射角增大, s 偏振光和 p 偏振光透射谱的禁带中的透射模位置都向短波方向移动, 但 s 偏振光的透射模比 p 偏振光的透射模移动稍快; 随着入射角的增大, s 偏振光的透射模变窄而 p 偏振光的透射模变宽。从图 1 还可见, 随着入射角增大, s 偏振光的禁带变宽而 p 偏振光的禁带变窄。

下面对薄膜法布里-珀罗滤光片的偏振特性作深入研究。

### 2.1 薄膜法布里-珀罗滤光片的偏振透射模波长与入射角的关系

入射角从  $0^\circ$  到  $80^\circ$  变化时, s 偏振光的透射模波长和 p 偏振光的透射模波长随入射角的变化规律如图 2 所示。从图 2 可见, 当入射角为  $35^\circ$  时, s 偏振光的透射模波长和 p 偏振光的透射模波长还是近似相同的, 当入射角为  $80^\circ$  时, s 偏振光的透射模波长比 p 偏振光的透射模波长只小了 8 nm, 这比我们先前研究的一维缺陷光子晶体要小得多<sup>[2-3]</sup>。

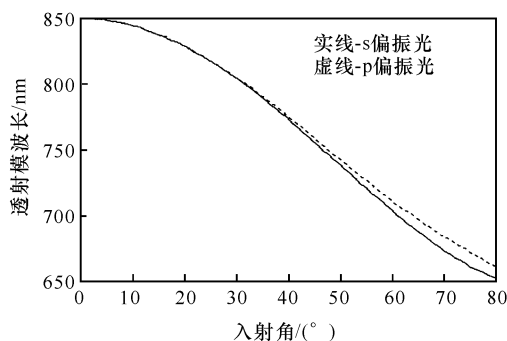


图 2 薄膜法布里-珀罗滤光片的 s 偏振光和 p 偏振光透射模波长与入射角的变化关系

Fig. 2 The relationships between wavelength of s-polarized light and p-polarized light of thin film Fabry-Pérot filter and incident angle

### 2.2 薄膜法布里-珀罗滤光片的偏振透射模透射率与入射角的关系

入射角从  $0^\circ$  到  $80^\circ$ , 每增加  $1^\circ$ , 计算一次相应的 s 偏振光的透射模和 p 偏振光的透射模透射率, 得到 s 偏振光的透射模和 p 偏振光的透射模透射率随入射角的变化关系如图 3 所示。从图 3 可见, 随着入射角增大, s 偏振光的透射模透射率在总体缓慢减小的同时震荡变化, 变化的幅度较大, 而 p 偏振光的透射模透射率变化的幅度很小, 且总体较高。

### 2.3 薄膜法布里-珀罗滤光片的偏振透射模透射率在入射角缓慢变化时的变化关系

要强调说明的是: 图 3 是在入射角每次增加  $1^\circ$  的情况下得到的结果。图 4 是入射角从  $53.15^\circ$  变化到  $53.40^\circ$ , 每次增加  $\frac{1^\circ}{100}$  时, 波长为 728 nm 的 s 偏振

光的透射模透射率和波长为 733 nm 的 p 偏振光的透射模透射率随入射角的变化关系。从图 4 可以看出, 当 s 偏振光的透射模透射率发生很大变化的过程中, p 偏振光的透射模透射率变化很小, 且 p 偏振光的透射模透射率一直都很大, 接近于 100%。而在我们先前研究的一维缺陷光子晶体中, 当入射角以  $\frac{1^\circ}{100}$  的幅度变化时, s 偏振光的透射模透射率和 p 偏振光的透射模透射率同时发生很大变化<sup>[2-3]</sup>。

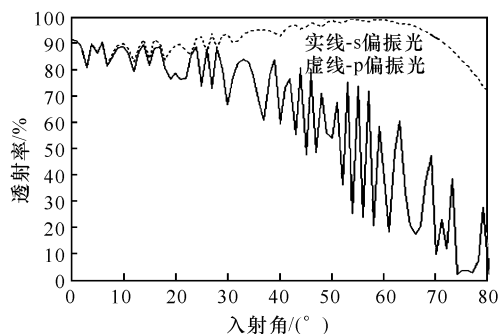


图 3 薄膜法布里-珀罗滤光片的 s 偏振光和 p 偏振光透射模透射率与入射角的变化关系

Fig. 3 The relationships between transmittance of s-polarized light and p-polarized light of thin film Fabry-Pérot filter and incident angle

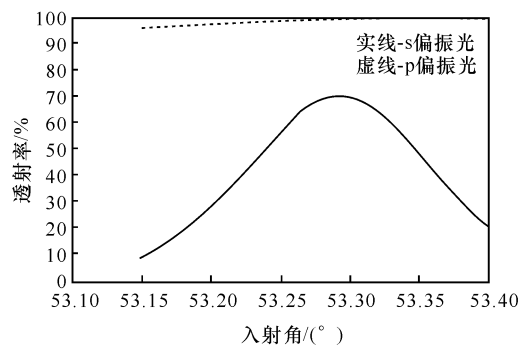


图 4 在入射角缓慢变化时薄膜法布里-珀罗滤光片的 s 偏振光和 p 偏振光的透射模透射率与入射角的变化关系

Fig. 4 The relationships between transmittance of s-polarized light and p-polarized light of thin film Fabry-Pérot filter and incident angle when incident angle changes slowly

## 3 结束语

本文对薄膜法布里-珀罗滤光片的偏振特性作了深入细致的研究。研究发现: 随着入射角增大, s 偏振光的透射模和 p 偏振光的透射模波长逐渐分离, 但分离的幅度较小; 随着入射角增大, s 偏振光的透射模透射率震荡变化, 变化的幅度较大, 而 p

偏振光的透射模透射率变化较小;当入射角以 $0.01^\circ$ 的间隔变化时,可以在透射模波长不变的情况下,使s偏振光的透射模透射率发生显著变化,而p偏振光的透射模透射率变化很小,且都接近于100%。薄膜法布里-珀罗滤光片的偏振特性表明,薄膜法布里-珀罗滤光片可以在与角度和转动变化有关的精密测量中发挥重要作用。

#### 参考文献:

- [1] 陈海星,顾培夫,吕维阁,等. 薄膜法布里-珀罗滤光片中的超棱镜效应[J]. 光学学报, 2006, 25(1): 157-160.  
CHEN Hai-xing, GU Pei-fu, LU Wei-ge, et al. Superprism effect in thin film Fabry-Perot filter[J]. Acta Optica Sinica, 2006, 25(1): 157-160. (in Chinese with an English abstract)
- [2] 于志明,周静. 窄带缺陷模在入射角缓慢变化中的变化规律[J]. 半导体光电, 2008, 29(6): 876-883.  
YU Zhi-ming, ZHOU Jing. Changes of narrow defect mode during the small changes of incident angle [J]. Semiconductor Optoelectronics, 2008, 29(6): 876-883. (in Chinese with an English abstract)
- [3] 于志明,周静. 基于一维缺陷光子晶体的角度测量仪的设计[J]. 激光与红外, 2008, 38(12): 1237-1240.  
YU Zhi-ming, ZHOU Jing. A design for the angle measurement with 1D defect photonic crystal [J]. Laser & Infrared, 2008, 38(12): 1237-1240. (in Chinese with an English abstract)
- [4] 王辉,李永平. 用特征矩阵法计算光子晶体的带隙结构[J]. 物理学报, 2001, 50(11): 2172-2178.  
WANG Hui, LI Yong-ping. An eigen matrix method for obtaining the band structure of photonic crystals [J]. Acta Physica Sinica, 2001, 50(11): 2172-2178. (in Chinese with an English abstract)
- [5] 顾国昌,李宏强,陈洪涛,等. 一维光子晶体材料中的光学传输特性[J]. 光学学报, 2000, 20(6): 728-734.  
GU Guo-chang, LI Hong-qiang, CHEN Hong-tao, et al. Properties of light propagation in 1-D periodic dielectric structure [J]. Acta Optica Sinica, 2000, 20(6): 728-734. (in Chinese with an English abstract)