

斜入射 F-P 型薄膜滤光片消偏振膜系的仿真分析

王 翀¹, 王 刚²

(1. 西安邮电学院电子与信息工程系光学与光信息实验室, 陕西 西安 710121;

2. 电子科技大学物理电子学院, 四川 成都 610054)

摘 要: 滤光片在斜入射时, S 偏振光和 P 偏振光的中心波长及通带宽度会发生分离现象。本文由一种膜系设计方法, 采用三种不同折射率材料, 得出多层膜系结构。分别对单腔和三腔的三种实例膜系进行了计算求解及仿真分析, 结果表明此方法设计的多膜滤光片具有良好的消偏特性。

关键词: 薄膜滤光片; 倾斜入射; 中心波长; 通带宽度; 消偏振设计

中图分类号: O484.4

文献标识码: A

Simulation analysis of F-P thin-film non-polarizing filters used in tilted incidence

WANG Chong¹, WANG Gang²

(1. The Laboratory of Optics & Optical Information, Department of Electronic & Telecommunications Engineering, Xi'an Institute of Post & Telecommunications, Xi'an 710121, China;

2. School of Physical Electronics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: Central wavelength and passband width characters of S-polarization and P-polarization will separate when the filter is tilted. This paper gives us multi-layer films structure from one design method which adopts three refractive index materials. Simulation calculations of three concrete filter designs for single cavity and three cavities prove that the method is feasible.

Key words: thin-film filters; tilted incidence; central wavelength; passband width; non-polarizing design

1 引 言

有角度使用的情况下, 多膜滤光片两偏振光的光学特性会发生两个显著的变化, 针对此现象, 有一些相关的研究^[1-2]。其中一个变化是: S 偏振光与 P 偏振光中心波长会发生分离^[3-4]。另一变化是: S 偏振光的通带宽度小于 P 偏振光。因此如果在设计滤光片膜系时^[5], 如果能想办法使两个偏振方向的反射率大小相等, 则它们的通带宽度会趋于一致^[6-7]。本文采用三种材料的膜系结构, 可使滤光片的两种特性分离现象都得到较好的解决。

2 计算基础

以薄膜光学理论为基础^[8], 设膜系结构为: $A/(MLMH)^m/G$, 在这里, L, M 和 H 层都有光学厚度

$\lambda_0/4$, 即为四分之一膜系; 入射角为 θ_0 , 参数 m 待定。

由文献[7], 令:

$$U = \frac{n_M^{4m} n_s}{n_0^2 n_H^{2m} n_L^{2m}} = k \quad (k \text{ 为一实数}) \quad (1)$$

同时, 令:

$$W = \frac{\cos\theta_s (1 - L^2 n_0^2 n_M^{-2})^{2m}}{(1 - L^2 n_0^2 n_H^{-2})^m (1 - L^2 n_0^2 n_L^{-2})^m \cos\theta_0} = 1 \quad (2)$$

低折射率层假定由 SiO_2 ($n_L = 1.458$) 组成。这样对于一个给定值 m , 方程式(1)、式(2)联立可解

基金项目: 西安邮电学院中青年基金项目 (No. ZL2008-16) 资助。

作者简介: 王 翀 (1972-), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向为光学, 光通信器件, 光学薄膜, 光信息技术及光纤传输。E-mail: cw72@xiyou.edu.cn

收稿日期: 2009-09-10; 修订日期: 2009-11-13

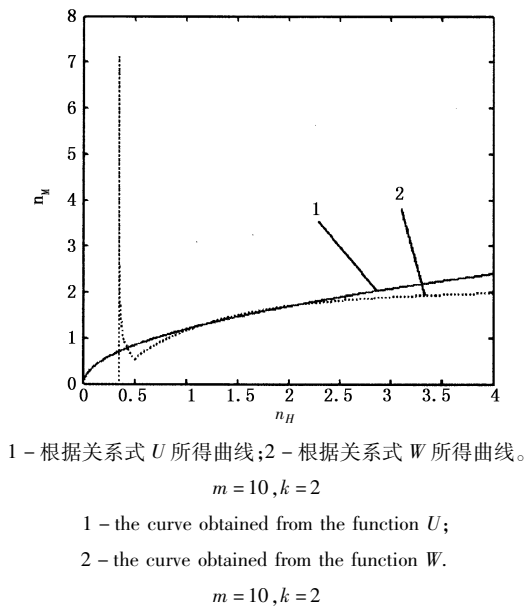
出值 n_M, n_H ^[8]。

3 设计举例

3.1 参数确定

设膜系为 $A/(HMLM)^m/G$ 结构, 四分之膜系。空气中入射角为 30° , 基底玻璃折射率 $n_s = 1.5$, 低折射率层 SiO_2 折射率 $n_L = 1.458$ 。给定一个 m , 所要求的待定参数为 n_H 和 n_M 。

分别令 $k=2, m=10$, 作出 U 和 W 曲线, 如图 1 所示。同样令 $k=3, m=10$ 及 $k=4, m=10$, 也可作出类似图形。根据图形中交点, 选出可用值, 得出三组 n_H 和 n_M 值如表 1 所示。



1 - 根据关系式 U 所得曲线; 2 - 根据关系式 W 所得曲线。
 $m=10, k=2$
1 - the curve obtained from the function U ;
2 - the curve obtained from the function W .
 $m=10, k=2$

图 1 根据 U 和 W 两关系式所得 n_M 和 n_H 变化曲线
Fig. 1 the changing curve of n_M and n_H obtained from two functions of U and W

表 1 由 U 和 W 关系式所求 n_M 和 n_H 数值
Tab. 1 value of n_M and n_H obtained from functions of U and W

	n_H	n_M
$m=10, k=2$	2.0289	1.7076
$m=10, k=3$	2.1541	1.7417
$m=10, k=4$	2.2367	1.7621

由表中可以看出, 在膜系结构及层数一定的情况下, 随着 k 值的增大, n_H 和 n_M 呈逐渐增大的趋势。 k 值取的过大时, 虽然求得的 n_M 值还是介于 1 和 2 之间, 但所求得的 n_H 值却变得过大, 在现实中较难找到合适的镀膜材料。

本文中, 将 k 值分别取 2, 3, 4, 求得的 n_H 和 n_M 较小, 实际工作中, 可以选取折射率值最为接近的镀膜材料来使用。

3.2 膜系设计及仿真

设基板折射率为 $n_L = 1.458, \lambda_0 = 1550 \text{ nm}, n_G = 1.5, n_H = 2.05$, 在空气中以 30° 入射。

取三腔 249 层膜系结构。膜系设计下式所示:
 $G/[(HMLM)^{10}2L(MLMH)^{10}L]^3/A$ (3)

分别取表 1 中第一、二、三组折射率值, 作出模拟透射曲线分别如图 2(a)、图 2(b)、图 2(c) 所示。

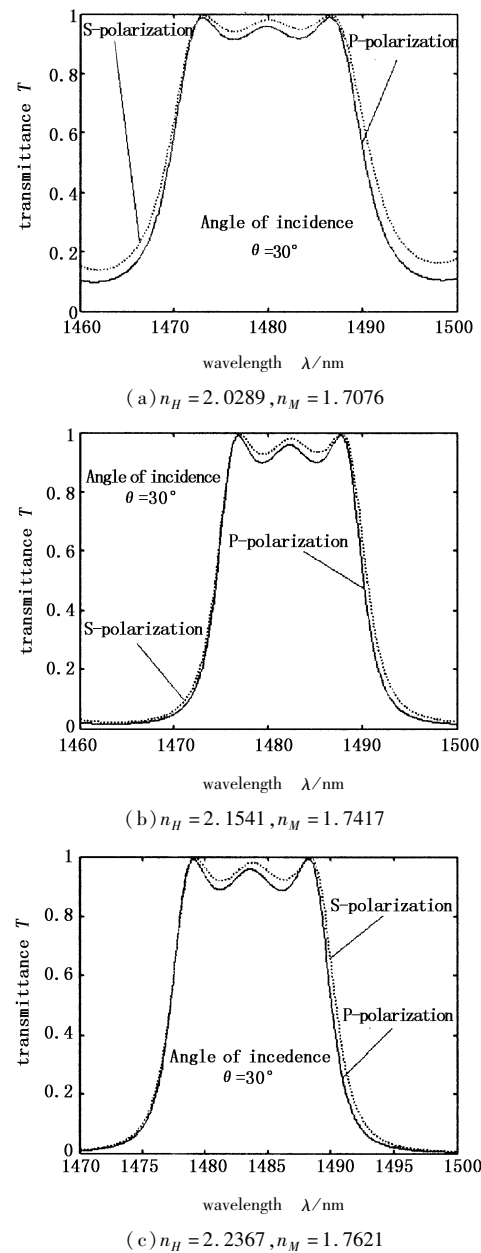


图 2 30° 入射角, 三腔 249 层膜系结构透射率曲线
Fig. 2 the transmittance curves of three-cavity 249 layers films at incidence angle of 30°

由图 2 可看出, 在入射角为 30° 情况下, 三个图形中两偏振通带宽度及中心波长近乎一致。虽有分离现象, 但分离的程度很小, 是完全可用的。

比较图2(a)、图2(b)和图2(c)可知:随着 n_H 和 n_M 折射率的增大,图形的通带宽度逐渐减小。因此,可根据实际的要求来选取 n_H 和 n_M 值,得到所需要的通带宽度。但是, n_H 的增大却为镀膜材料的选用带来了一定难度。因此,我们应当在保证能得到合适镀膜材料的前提下,来设计所需要的通带宽度。

4 结 论

应该指出的是,由于增加了不同折射率材料、而且设计层数很多,因此镀膜的要求很严格^[9],各层的多个指标必须进行严格控制。

从最初的单腔到后来的多腔,膜系的设计愈加成熟^[10-13];而且随着计算水平和设备性能的提高,还有制备技术的突飞猛进,薄膜滤光片得到了很大的发展。

本文由膜系设计着手,除了采用高低折射率材料外,另外使用第三种材料。通过仿真分析,得到了好的消偏振结果。由此可知,此种膜系设计可以很好地应用于相关领域。

参考文献:

- [1] R P Costich. Reduction of polarization effects in interference coatings[J]. Appl. Opt., 1970, 4(9): 866-870.
- [2] D M Cordray, T A Wiggins. Design of nonpolarizing reflectors[J]. Appl. Opt., 1973(12): 2242-2243.
- [3] Gu Peifu, Li Haifeng, Zhang Yue-guang, et al. Characteristics and improvement of DWDM thin film filters used in tilted incidence[J]. Acta Optica Sinica, 2003, 23(3): 377-380. (in Chinese)
顾培夫, 李海峰, 章岳光, 等. 用于倾斜入射的波分复用薄膜滤光片的特性及改进[J]. 光学学报, 2003, 23(3): 377-380.
- [4] Wang Chong, Luo Bin, Pan Wei. Algorithm of seeking precise refractive index value of spacer for controlling angle-tuned filter's polarization characteristics[J]. Acta Optica Sinica, 2005, 25(5): 707-711. (in Chinese)
王翀, 罗斌, 潘伟. 角度调谐滤光片偏振控制的间隔层折射率寻优算法[J]. 光学学报, 2005, 25(5): 707-711.
- [5] Gu Peifu, Bai Shengyuan, Li Hai-feng, et al. Design of DWDM thin-film interference filter[J]. Acta Optica Sinica, 2002, 22(7): 794-797. (in Chinese)
顾培夫, 白胜元, 李海峰, 等. 密集型波分复用薄膜干涉滤光片的设计[J]. 光学学报, 2002, 22(7): 794-797.
- [6] A J Thelen. Design of Optical Interference Coatings[M]. New York: McGraw Hill, 1989: 10.
- [7] Baumeister P. Bandpass design-application to non-normal Incidence[J]. Appl. Opt., 1992, 31(4): 504-512.
- [8] P W Baumeister. Transmission and degree of polarization of quarterwave stacks at nonnormal incidence[J]. Opt. Acta., 1961(8): 105-119.
- [9] P W Baumeister. Optical coating technology. Lecture notes for the five-day short course engineering 823. 17 at the UCLA Extension[C]. University of California. Los Angeles. 14 January., 1991: 7.
- [10] A F Turner. Infrared transmission filters[C]//Quarterly technical report number 5 of contract DA-44-009-eng-1113 with US Army Engineer Research and Development Laboratories Fort Belvoir VA. Published by Bausch and Lomb, Rochester Ny, July, 1953.
- [11] S D Smith. Design of multiplayer Filters by considering two effective interfaces[J]. J Opt Soc Am, 1958, 48: 43-50.
- [12] A J Thelen. Equivalent layers in multilayer filters[J]. J Opt Soc Am., 1966, 56: 1533-1538.
- [13] J S seeley. Synthesis of interference filters[J]. Phy Soc. (London), 1961, 78: 998-1008.