

文章编号: 1001-3806(2014)02-0274-04

## 三基色滤光片的设计

唐 雄, 姚兰芳\*

(上海理工大学 理学院, 上海 200093)

**摘要:** 为了得到纯正的三基色, 以实现大色域显示功能, 采用光学薄膜技术的传递矩阵方法进行了模拟计算, 分别得到红、绿、蓝三色的 F-P 滤光片, 并将其叠加在一起, 得到将显示光源中杂色滤除、留下三基色的滤光片。结果表明, 三基色滤光片很好地满足了设计要求, 如果应用于显示技术, 可以很好地提高显示器的彩色显示功能。

**关键词:** 薄膜; 三基色; 滤光片; 传递矩阵; 显示技术

**中图分类号:** O484.4      **文献标志码:** A      **doi:** 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2014.02.027

### Design of optical filters for three primary colors

TANG Xiong, YAO Lanfang

(School of Science, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** In order to obtain high-quality three primary colors to realize large color gamut display. Red, green and blue F-P filters were designed by means of transfer matrix method in optical thin film technology. Then these filters were put together to obtain a new filter allowing three primary colors to pass through and reflect other stray colors. The filter can satisfy the design target well. With this filter, color display function of displayer can be enhanced drastically.

**Key words:** thin films; three primary colors; filter; transfer matrix; display technology

## 引 言

三基色原理是彩色显示技术的基础, 三基色的不同获得方法也是各种彩色显示技术之间的重要区别。传统的显示技术主要采用各种荧光粉和灯泡作为光源<sup>[1]</sup>, 例如大家所熟知的阴极射线管显示(cathode ray tube, CRT)、液晶显示(liquid crystal display, LCD)和等离子显示(plasma display panel, PDP)等<sup>[2-5]</sup>。这些发光光源的光谱均呈现出连续或带状光谱的特性, 三基色强度不理想, 色饱和度低, 直接导致色度空间减小, 器件颜色表现能力不高, 只能显示人眼所能观察到的色彩空间的 33%<sup>[6]</sup>。

作为第 4 代显示技术的激光显示技术, 之所以具有大色域显示功能(能实现自然界中 90% 以上的人眼可识别色彩), 是因为它以红、绿、蓝三基色激光作为光源。由于激光光谱带宽窄, 三基色光源是纯正的三基色光源。

三基色滤光片的设计目的就是利用单腔梳状滤波器在光垂直入射时能得到梳状透射峰的机理, 对其薄膜参量进行调整, 获得能够使垂直入射的自然光在三基色处有“梳齿”状透射峰的光学薄膜。透射峰需满足以下 3 个条件: (1) 三透射峰的中心波长与三基色中心波长重合, 误差在  $\pm 2\text{nm}$  之内; (2) 透射峰峰值大于 0.95; (3) 透射峰半宽度不大于 10nm。

薄膜利用自然光作光源, 在三基色处能够获得窄带的光谱透射峰, 产生与激光显示器类似的纯正三基色, 如果用于彩色显示技术, 可能很好地改善显示器的彩色显示功能。

## 1 三基色原理

三基色是指红、绿、蓝三色, 国际照明委员会指定三基色中心波长分别是:  $\lambda_r = 700\text{nm}$ ;  $\lambda_g = 546.1\text{nm}$ ;  $\lambda_b = 435.8\text{nm}$ <sup>[7]</sup>。人眼对红、绿、蓝最敏感, 大多数的颜色可以通过红、绿、蓝三色按照不同的比例合成产生。同样, 绝大多数单色光也可以分解成红绿蓝 3 种色光。这是色度学的最基本原理, 即三基色原理<sup>[8-9]</sup>。三基色的混合可用图 1 来描述。

作者简介: 唐 雄(1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事纳米功能薄膜与材料方面的研究。

\* 通讯联系人。E-mail: yao\_lanfang@126.com

收稿日期: 2013-04-03; 收到修改稿日期: 2013-05-23

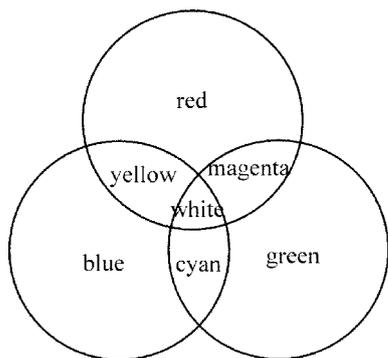


Fig. 1 The principle of three primary colors and color mixing

三基色原理在日常生活特别是光学成像方面有着非常重大的意义。所有的彩色显示器的成像都基于三基色原理。所以三基色在可见光中尤为重要。

## 2 光学薄膜特性理论计算

传递矩阵法<sup>[10-12]</sup>是光学薄膜模拟计算的主要方法之一。对于一定厚度与折射率的薄膜,其传递矩阵可以如下式所示:

$$\begin{bmatrix} \cos\delta & \frac{1}{\eta} \sin\delta \\ i\eta \sin\delta & \cos\delta \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中,  $\delta = 2\pi n d \cos\theta / \lambda$  为薄膜的相位厚度,  $n$  为薄膜折射率,  $d$  为薄膜厚度,  $\lambda$  为入射波长,  $\theta$  为光在薄膜中的折射角,  $\eta$  为薄膜的导纳, 由下式给出:

$$\eta_j = \begin{cases} \frac{\eta_j}{\cos\theta_j}, & (p \text{ 偏振光}) \\ \frac{\eta_j}{\cos\theta_j}, & (s \text{ 偏振光}) \end{cases} \quad (2)$$

对于由不同薄膜组成的膜系,其传递矩阵由各单层膜传递矩阵累乘得到,令:

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \left\{ \prod_{j=1}^k \begin{bmatrix} \cos\delta_j & \frac{1}{\eta_j} \sin\delta_j \\ i\eta_j \sin\delta_j & \cos\delta_j \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_g \end{bmatrix} \quad (3)$$

得到膜系的反射率  $R$  为:

$$R = \left( \frac{\eta_0 B - C}{\eta_0 B + C} \right) \left( \frac{\eta_0 B - C}{\eta_0 B + C} \right)^* \quad (4)$$

膜系的透射率  $T$  为:

$$T = \frac{4\eta_0 \eta_g}{(\eta_0 B + C)(\eta_0 B + C)^*} \quad (5)$$

(3)式中的  $B$ ,  $C$  分别表示右边计算所得  $2 \times 2$  矩阵的第1项和第2项;下标  $j = 1, 2, \dots, k$ , 表示元素所在膜层层数,  $k$  为膜层总数; \* 表示共轭复数,  $\eta_0$  和  $\eta_g$  分别为膜系入射介质与出射介质的导纳。

## 3 Feby-Perot 滤光片

Feby-Perot(F-P)滤光片是最简单也是最常用的窄带干涉滤光片<sup>[4]</sup>,其结构为<sup>[13]</sup>:

$$\text{air} | (\text{HL})^n \text{H4mLH} (\text{LH})^n | \text{sub} \quad (6)$$

式中,  $H$  为  $\text{TiO}_2$ , 折射率为 2.09;  $L$  为  $\text{SiO}_2$ , 折射率为 1.458;  $\text{air}$  表示入射介质为空气, 折射率为 1.0;  $\text{sub}$  代表玻璃基板, 折射率为 1.52;  $n$  表示腔体两侧高低折射率介质的周期数;  $m$  表示 F-P 滤光片腔体厚度; 膜系参考波长为 850nm。图2中给出入射光垂直入射即入射角为  $0^\circ$ ,  $n$  取不同值时 F-P 滤光片的透射谱。从图中可以看出,透射峰的中心波长为膜系的参考波长,即透射峰中心波长由膜层的厚度决定;F-P 滤光片的通带半宽度随  $n$  值的增大而变小。

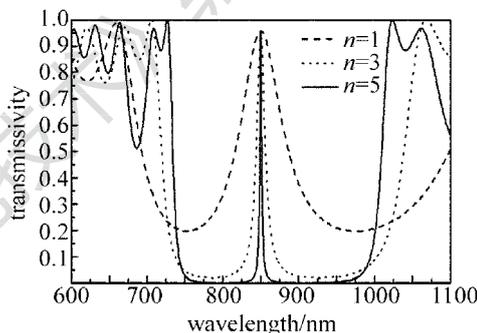


Fig. 2 The transmission spectrum of a F-P filter ( $n = 1, 2, 3$ )

图3中给出的是  $m$  取不同值时 F-P 滤光片的透射谱,从图中可以看出,当  $m$  值小幅变化,其透射峰中心波长随之变化。

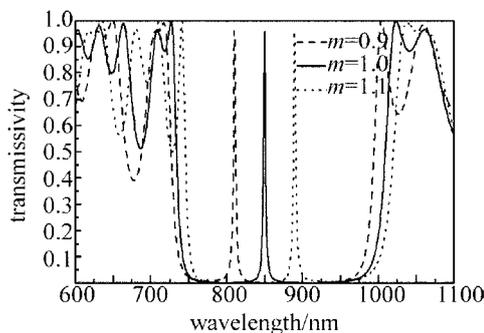


Fig. 3 The transmission spectrum of a F-P filter for different values

综上所述,F-P 滤光片能够产生细锐透射峰,透射峰中心波长受高低折射率介质和腔体厚度的影响,并且透射峰半宽度随高低折射率介质周期数的增大而减小。

## 4 滤光片设计

调节 F-P 滤光片的相关参量,使其透射峰的中

心波长为三基色之一,同时在另外两个三基色波长处的透射率足够大,最后将它们叠加在一起,即可获得满足设计要求的三基色滤光片。

三基色 F-P 滤光片的结构为:

$$\text{air} | (\alpha L \beta H)^n C (\beta H \alpha L)^n | \text{sub} \quad (7)$$

式中,  $\alpha$  和  $\beta$  为薄膜光学厚度的系数 ( $nd = x \frac{\lambda_0}{4}$ ,  $x = \alpha, \beta$ ;  $\lambda_0$  表示参考波长), 设计中滤光片选取的材料是对可见光透明的常用薄膜材料, L 为 SiO<sub>2</sub> 薄膜 (折射率为 1.458), H 为 Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 薄膜 (折射率为 2.05)<sup>[14]</sup>, C 表示腔体, 取腔体材料为熔融石英固体 (折射率为 1.458), 基底材料为玻璃 (折射率为 1.52)。

通过改变腔体两侧高低折射率介质厚度达到控制透射峰中心波长的目的。当  $\alpha = 0.86, \beta = 0.98$ , 腔体厚度为 140nm,  $n$  取不同值时, F-P 滤光片的在可见光区的透射谱如图 4 所示。 $\alpha, \beta$  的取值, 即高低折射率介质的厚度决定透射峰中心波长位置,  $n$  的取值决定透射峰的半峰全宽。当  $n = 6$  时, 透射峰中心波长在红光中心波长处, 半峰全宽很小, 且在绿光与蓝光特征波长处的透射率很高, 能够很好地满

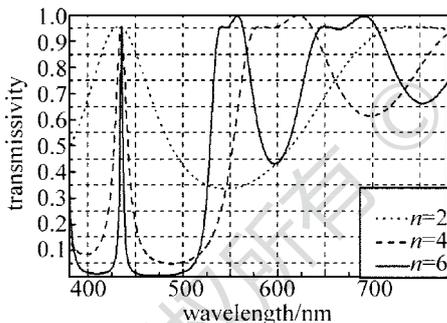


Fig. 4 The transmission spectrum of structure  $(0.86L0.98H)^n C (0.98H0.86L)^n$  in the visible region

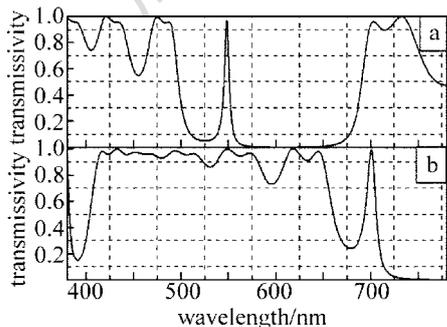


Fig. 5 The transmission spectra of green filter and blue filter in the visible region  
a—film structure is  $(1.1L1.33H)^6 C (1.33H1.1L)^6$  whose cavity length is 150nm b—film structure is  $(1.34L1.88H)^6 C (1.88H1.34L)^6$  whose cavity length is 150nm

足设计要求。

薄膜设计要求尽可能少的膜层数达到预期效果, 当  $n = 6$  时, F-P 滤光片的透射峰半峰全宽已足够小, 为设计方便, 保持  $n = 6$ 。

改变  $\alpha$  与  $\beta$  的值与腔体厚度, 可以得到透射峰中心波长为绿光中心波长和蓝光中心波长, 并在另外两个三基色的波长处有较高透射率的 F-P 滤光片, 它们在可见光区的透射谱如图 5 所示。

将以上 3 个独立的滤光片叠加在一起, 即可得到满足设计要求的三基色滤光片, 滤光片在可见光区的透射光谱如图 6 所示。

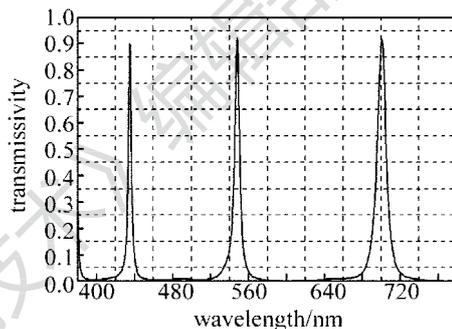


Fig. 6 The transmission spectrum of optical filter for three primary colors in the visible region

三基色滤光片的透射谱的一些参量在表 1 中给出。

Table 1 The parameters of the transmission peaks

|  | blue  | green | red   |
|--|-------|-------|-------|
| transmission peak wavelength $\lambda_c$ /nm | 435   | 548   | 701   |
| transmission peak $T_{max}$                  | 0.896 | 0.881 | 0.923 |
| half peak breath $2\Delta\lambda$ /nm        | 3.9   | 5.4   | 10.3  |

从表 1 中可以看出, 滤光片的 3 个透射峰的中心波长均在三基色中心波长处, 而且透射峰峰值大、宽度窄、质量很高, 很好地满足了三基色滤光片的设计要求。

## 5 结 论

光学薄膜技术是一种综合性非常强的工程技术科学。通过不同材料折射率材料不同厚度的薄膜叠加可以获得具有不同特殊光学特性的膜系。而三基色能够合成为任何颜色的光, 在显示技术中有不可替代的重要性。本次设计的三基色滤光片可将垂直入射的显示光中的三基色以较高的透射率透射, 而将其余杂光反射, 具有一定的实用价值。

## 参 考 文 献

[1] LIU L D, CHANG B K, DANG C M. Displaying technology

- [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1993: 48, 126, 173 (in Chinese).
- [2] KOTANI T, CHENG Y. Overview of latest display technologies [J]. *Electronic Design & Application World for Design and Application Engineers*, 2005(9): 51-60 (in Chinese).
- [3] LU G Z. Research on OLED color display driver technology [J]. *Semiconductor Optics*, 2011, 32(2): 175-178 (in Chinese).
- [4] TANG J F, GU P F, LI H F, *et al.* Modern optical thin film technology [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2006: 20-24 (in Chinese).
- [5] LI J Z, ZHU H Y, LIN L, *et al.* All-solid-state continuous-wave laser at 447nm [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2009, 36(1): 28-32 (in Chinese).
- [6] XU Z Y. Laser display-new display technology for next generation [J]. *Laser & Infrared*, 2006, 36(s1): 737-741 (in Chinese).
- [7] SUN Y P, LOU C, JIANG Z W, *et al.* Experimental research of representative wavelengths of tricolor for color CCD camera [J]. *Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2009, 37(2): 108-111 (in Chinese).
- [8] LI W Y, XIE B, TONG J Q, *et al.* Principles of television experiment [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2004: 8-12 (in Chinese).
- [9] TANG H Y, ZHUANG T G. Color models used in image representation and segmentation [J]. *Chinese Journal Computers*, 1999, 22(4): 375-382 (in Chinese).
- [10] PENDRY J B. Photonic band structure [J]. *Journal of Modern Optics*, 1994, 41(2): 209-229.
- [11] ZHANG H F, LAN P F, YANG G H, *et al.* Study on property of prohibited band gaps in 1-D ternary unmagnetized plasma photonic crystals [J]. *Laser Technology*, 2011, 35(4): 566-572 (in Chinese).
- [12] GAO W J, LIANG L. Study on characteristics of 1-D ternary photonic crystal containing gain medium defect layer [J]. *Laser Technology*, 2013, 37(2): 147-150 (in Chinese).
- [13] CHEN H X, GU P F, LÜ W G, *et al.* Superprism effect in thin film Fabry-Perot filter [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, 26(11): 157-160 (in Chinese).
- [14] ZHONG D S. Plating coatings in vacuum [M]. Shenyang: Liaoning University Press, 2001: 235-241, 245-252 (in Chinese).