

薄膜晶体管液晶投影仪中的偏振分色薄膜*

章岳光 顾培夫 刘旭 唐晋发

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

摘 要 介绍了用于薄膜晶体管液晶投影仪显示的偏振光分色系统, 用多层光学薄膜实现了分色功能, 并对薄膜的设计、制造和测试进行了讨论。

关键词 光学薄膜, 液晶大屏幕显示, 偏振分色镜。

最近几年薄膜晶体管液晶板性能的提高, 使结构紧凑、高分辨率、高亮度的彩色大屏幕投影显示成为可能, 主动式电寻址液晶显示在大屏幕投影显示上的应用也越来越广泛, 成为液晶投影显示技术中的研究重点和发展趋势。根据液晶板工作方式的不同, 目前的液晶投影机可分为反射式和透射式两种类型, 透射式液晶投影机大都采用扭曲向列/薄膜晶体管液晶板作为图像写入源, 具有分辨率和清晰度高、显示图像质量好等优点, 因而仍占主导地位。在液晶投影机中, 投影图像的亮度、清晰度、色彩和均匀性等性能均取决于光学系统的性能, 而整个光学系统的性能又直接依赖于光学薄膜的特性, 因此光学薄膜在液晶投影机中起着决定性作用。本文主要就其偏振光分色和合色系统进行讨论, 重点阐述偏振分色薄膜的设计、制备和测试。

1 偏振光分色系统

透射式光学薄膜晶体管液晶投影机的光学系统主要由照明、分色和合色、投影物镜三大部分组成。图 1 为一典型的光学系统原理图。从金属卤素灯发出的光经聚焦准直后, 通过偏振分色系统分为红、绿、蓝三基色, 分别照射到红、绿、蓝三块液晶板, 经加在液晶板上的电信号调制后, 通过合色棱镜使三色光合成, 经投影变焦透镜投射到屏幕上。

在整个光学系统中, 由于分色系统对像差的要求不高, 故可采用平板分色。而随整个系统的要求而异, 其分色、合色系统可以有各种安排方式, 如图 2 所示是一些典型的系统。

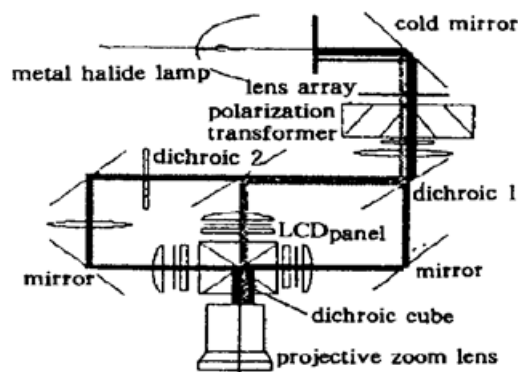


Fig. 1 The scheme of optical system of TFT-LCD projector

* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1998-03-26

在如图 2(a)、图 2(b) 所示的以立方棱镜合色的结构中, 仅考虑绿光透过而不透过蓝光和红光的方式, 这是为了避免在分色薄膜或合色系统中制做反射绿光、透射蓝光和红光的负滤光片。比较各种方案, 以方案(a)和(c)的分色膜的制作最为简单, 只需要镀制两个长波通滤光片: 反(射)蓝透红绿, 反(射)绿透红。方案(b)和(d)需要的是两个短波通滤光片: 反(射)红透蓝绿, 反(射)绿透蓝。与基于吸收的微型滤光片产生全彩色的办法相比, 采用分色薄膜不但可以显著提高系统的能量利用率, 而且可以通过调整截止滤光片的过渡波长的办法, 满足不同电视制式对色彩的要求。在本文中, 以 500 nm 和 580 nm 作为蓝光和绿光、绿光和红光的过渡波长。偏振分色系统对投影显示图像的亮度、色饱和度及色均匀性直接相关, 所以必须从设计制备及测试上加以严加控制。

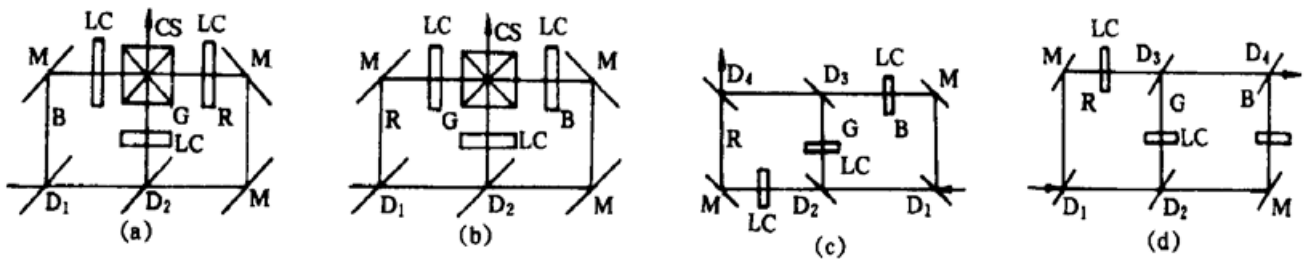


Fig. 2 The possibility of color separation and recombination system. D_1 , D_2 : dichroic filters, M_1 , M_2 : reflectors, LC: TFT-LCD panel, HW: half-wave plates, CS: cube color recombination prism

2 设计、实验及其结果

透射式扭曲向列水平定向的液晶板, 在光路中的放置有两种方式: 液晶分子的长轴平行于 s(或 p) 偏振方向, 或与之成 45° 角。对于前者, 为了保证立方棱镜中对 s 光合色, 平板系统必须对 p 光分色, 相对 s 光而言, 由于 p 偏振的导纳比较小, 因此对 p 光分色的膜系需要更多的层数, 而且反射带较窄, 使得 p 偏振的平板分色薄膜的设计和制备都困难得多。在后一种放置中, 液晶分子长轴与偏振光成 45° 角, 可以对 s 光分色, 然后在液晶板前后都加上半波片以转动偏振方向, 最后以 s 光合色。因此, 本文作者采用 s 分量的平板分色系统, 给设计和制备都带来很大方便。

从图 2 可以看到, 分色膜是长波通滤光片和短波通滤光片的组合, 为简单起见, 本文仅讨论图中 D_1 反(射)蓝透红绿的长波通和反(射)红透蓝绿的短波通这两种典型情况。在薄膜晶体管液晶投影仪中, 为了提高光源的能量利用率和色彩还原的真实性, 平板分色系统中分色膜必须有尽可能高的通带透过率和尽量小的通带波纹, 并解决过渡波长的定位问题。其中, 色彩还原性很大程度上依赖于分色膜光谱曲线通带波纹的大小, 因此在分色膜的设计中, 压缩通带波纹是关键之一。跟垂直入射情况不同的是, 倾斜入射时规整膜系的光谱特性难以达到分色膜的使用要求, 特别是对 s 偏振光, 即使加匹配层进行修正, 通带波纹仍不够平整。同时考虑到制备的工艺性, 选取特性优良的 SiO_2 和 TiTaO_x (为 TiO_2 和 Ta_2O_5 的混合膜料) 两种材料。通过对薄膜厚度的优化(单纯形法和 Powell 法), 以通带波纹的平整性作为主要的权重, 可以设计出性能很好的膜系。

表 1 给出了对 s 偏振光的长波通和短波通设计膜系, 图 3 为它们的光谱特性, 可以看到透射带中的波纹很小 ($R_s < 0.3\%$)。

Table 1. Design of dichroic filters for s-polarization

layer No.	material	long-wave pass		short-wave pass	
		index at 550 nm	optical thickness/nm	index at 550 nm	optical thickness/nm
substrate	glass	1.52		1.52	
1	TiTaO _x	2.10	83.5	2.10	20.0
2	SiO ₂	1.45	53.0	1.45	288.5
3	TiTaO _x	2.10	159.5	2.10	201.5
4	SiO ₂	1.45	119.3	1.45	207.1
5	TiTaO _x	2.10	77.3	2.10	176.7
6	SiO ₂	1.45	139.1	1.45	193.0
7	TiTaO _x	2.10	89.6	2.10	189.7
8	SiO ₂	1.45	138.4	1.45	163.3
9	TiTaO _x	2.10	138.5	2.10	205.3
10	SiO ₂	1.45	70.2	1.45	158.7
11	TiTaO _x	2.10	125.3	2.10	187.0
12	SiO ₂	1.45	124.3	1.45	200.0
13	TiTaO _x	2.10	142.1	2.10	153.4
14	SiO ₂	1.45	90.0	1.45	220.8
15	TiTaO _x	2.10	86.6	2.10	151.0
16	SiO ₂	1.45	135.3	1.45	252.9
17	TiTaO _x	2.10	124.7	2.10	68.0
18	SiO ₂	1.45	31.7	1.45	267.4
19	TiTaO _x	2.10	20.0	2.10	120.6
20	SiO ₂	1.45	161.4	1.45	127.5
	Air	1.0		1.0	

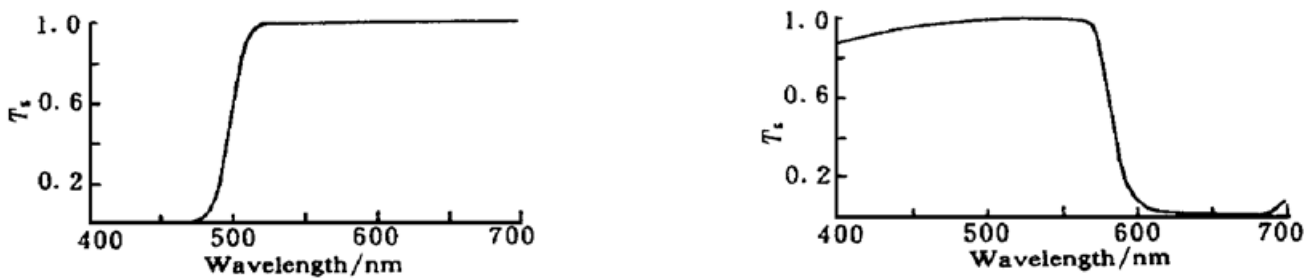


Fig. 3 The design results of long-wave pass dichroic filters for s-polarization

另外, 在此平板分色系统中, 过渡波长的定位也直接影响色彩的还原性。如图 4 所示, 在实际的光学系统中, 入射于分色平板的光束不是平行光, 而带有一定的发散角(如 $45^\circ \pm 5^\circ$), 为保证色还原, 要求平板分色薄膜上不同位置在设计入射角度处的过渡波长一致, 即整个分色膜的厚度分布需有一楔角, 呈非均匀分布。在实际制备时, 可以通过试验调整基板和蒸发源间的距离或加遮挡板的办法实现。

上述非规整膜系经计算机模拟, 容差很好。对上述长波通和短波通膜系, 其厚度监控可以采用石英晶体、定值法及宽波段监控。为提高薄膜性能, 采用了离子辅助蒸发方法。

采用图 5 所示的装置进行了实验测试。可分别测量 s 和 p 偏振状态的透射率和反射率。白炽灯发出的光经聚焦后进入单色仪产生单色光, 然后准直起偏, 通过样品, 其反射光和透

射光由带积分球的光电倍增管接收。图 6 表示 45° 入射时测得的 s 偏振光的长波通和短波通滤光片的光谱特性，三条曲线分别对应于平板的两侧和中心处，可以看到分色膜的实际厚度呈非均匀分布，光谱特性与设计结果吻合很好。

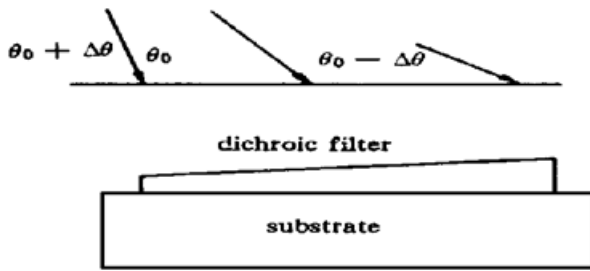


Fig. 4 The sketch of coating wedge

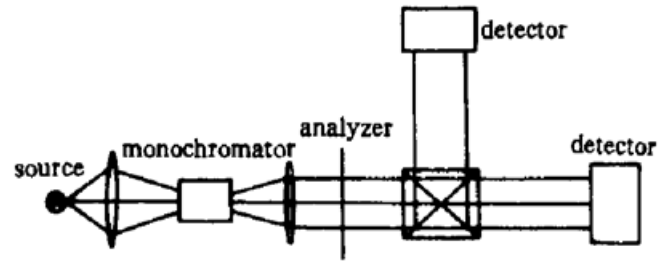


Fig. 5 Set-up for measurement of the polarized spectral performance

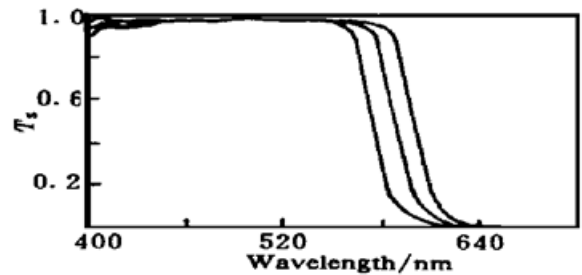
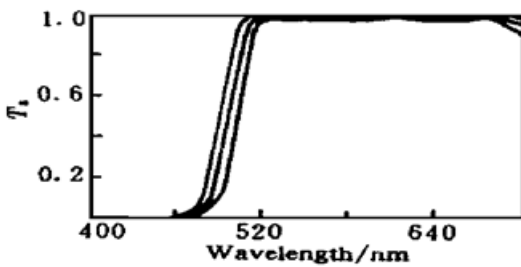


Fig. 6 The measured results of dichroic filters for s-polarization

结 论 上述 s 偏振光的平板分色系统具有很深的截止和很高的通带透射率，并已应用于薄膜晶体管液晶板大屏幕彩色投影显示中，当投影距离为 4 m 时，图像画面为 $1.5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 。当用 200 W 的金属卤素灯照明时，可产生 400 lm 以上的光通量，对比度大于 $150:1$ ，色彩均匀性优于 90%，这些都表明这种偏振分色薄膜可使用于大屏幕液晶投影系统中。

Color-Separation Multilayer Systems Used for Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display

Zhang Yueguang Gu Peifu Liu Xu Tang Jinfa

(State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

(Received 26 March 1998)

Abstract The color-separating multilayer systems operating in s- or p-polarization components used for thin film transistor-liquid crystal display (TFT-LCD) projectors have been discussed. To reduce the transmission band ripples of the dichroic filters, the designs used for s-component are emphasized. Some experimental details and measured results are discussed.

Key words optical coatings, thin film transistor-liquid crystal display large screen display, polarization color-separating multilayer, dichroic mirror.