

文章编号:1007-2780(2005)06-0539-05

高性能 LCoS 投影系统光引擎

张继艳,刘伟奇,柳 华,张 岳

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033, E-mail: jiyanyan20042000@yahoo.com.cn)

摘 要: 硅基液晶作为投影系统空间光调制器是一个相对较新的技术,因为其成本低,光学效率高,具有很好的发展前景。使用 LCoS 面板作为光引擎的结构较多,这些结构各有优缺点。一个系统的亮度、色阈、对比度主要取决于它所采用的光学引擎。文章通过对几种 LCoS 光引擎的分析和比较,得到了一种高亮度、高对比度、宽色阈的光引擎结构模型,为实际设计提供了依据。

关 键 词: 硅基液晶;光引擎;偏振分光器

中图分类号: TN141.9;TP211.6 **文献标识码:** A

1 引 言

透射式液晶显示器在投影显示市场仍占有主导地位,但它们存在着分辨率低、数值孔径小、亮度低和散热难等明显的缺点。LCoS 反射式液晶投影显示是半导体技术与 LCD 技术相结合的新技术^[1,2],从问世之初就凭借其高解析度、高亮度和低成本的优势成为业界关注的焦点,吸引了众多厂家参与研制^[3,4]。LCoS 技术是硅基 CMOS 半导体集成电路技术和液晶显示技术相结合的新技术。这两项技术比较成熟,尤其单晶硅迁移率高,可实现驱动电路,甚至控制电路乃至信息处理系统集成到屏上,有高度集成化的可能性。LCoS 技术如今正呈现两极化发展:一是应用于大尺寸背投电视,这是主流应用产品;二是应用于小尺寸便携式产品。未来在量产及成本问题解决后,这类产品将有机会在投影显示市场上获得更广泛的应用。

2 光引擎的性能

数字投影系统的光学部分包括照明系统、投影器件和带有光阀的光引擎等^[5]。反射式 LCoS 投影系统的质量主要取决于光引擎的性能。氙灯有短弧和一致的光谱,适用于高性能的投影系统。本文主要介绍采用一个氙灯的三片式 LCoS

系统。

三片式光引擎将氙灯的白光分离成三基色光直接照射到 3 个分立的 LCoS 面板。入射光的偏振态随着液晶层上的电压改变而改变。调制光反射回光引擎并重新组合,通过投影镜头投影到屏幕上。

图 1 所示为一个偏振分光器(PBS)和一个 X 合光棱镜组成的双棱镜结构。实验所用检偏器都是 MacNeille PBS,它由一个多层的二向色膜组成,可以分离不同偏振态的光。偏振分光器将 S 态的光反射到 X 合光棱镜。X 合光棱镜将白光分成三色光,通过 3 个 LCoS 面板调制后,被 X 合光棱镜重新合成。对 LCoS 施加不同的驱动电压,通过像素改变使光的偏振态发生变化,P 态光透过 PBS 进入投影镜头。

入射角不同时 PBS 的透射光谱特性如图 2 所

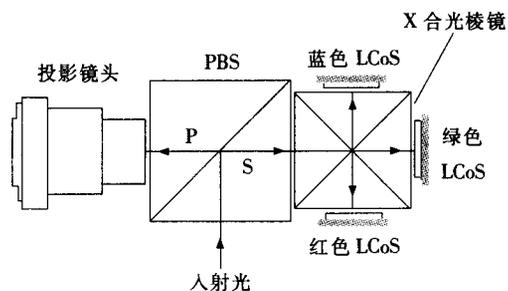


图 1 一个 PBS 和一个 X 合光棱镜组成的双棱镜结构
Fig. 1 Double cube system with a PBS and X cube

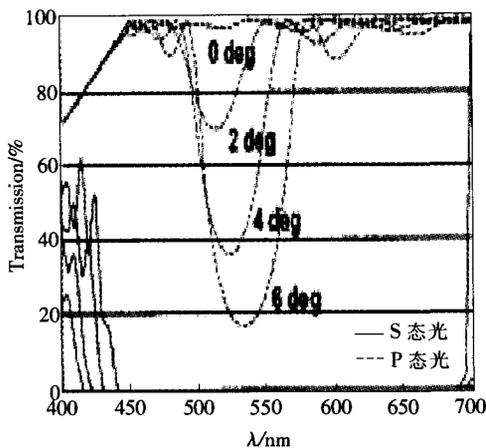


图 2 入射角不同时 PBS 的透射光谱特性

Fig. 2 Transmission spectra of a conventional PBS for different angles of incidence in air

示。当系统的 F 数为 5 时,对比度只有 10:1。我们定义 S 态及 P 态的透射光强分别为 T_P 和 T_S , S 态及 P 态的反射光强分别为 R_P 和 R_S ,则系统的对比度为:

$$C = \frac{I_{on}}{I_{off}} = \frac{R_S T_P + R_P T_S}{R_P T_P + R_S T_S} \quad (1)$$

对 MacNeille PBS 而言,以下关系在可见波段依然成立。

$$0 \approx T_S < R_P \quad (2)$$

$$T_P < R_S \approx 1 \quad (3)$$

由式(1)、(2)、(3)我们可以得到下式:

$$C \approx \frac{R_S T_P}{R_P T_P + R_S T_S} \approx \frac{R_S}{R_P} \approx \frac{1}{R_P} \quad (4)$$

从式(4)不难看出,P 态光的反射光强 R_P 是造成低对比度的主要原因。PBS 的膜系设计就是要优化 R_P ,使之在整个波段达到最小。在光进入 PBS 之前,使其预偏振,用一个偏振转换器和吸收偏振器来消除 P 态光,只有 S 态光可以在 PBS 的二向色膜处反射,则 P 态光就会大大减弱,对比度也会增大。同样,如在投影镜头的端口处放一个吸收偏振器来吸收 P 态光,也可以得到同样的效果。模拟显示,有入射光预偏振的系统,其对比度可以达到 100:1,则式(4)变为

$$C = \frac{R_S T_P}{R_S T_S} = \frac{T_P}{T_S} \quad (5)$$

当 T_S 接近于零时,对比度会相当高。式(5)只考虑了 PBS 二向色膜的透过光谱特性对对比度的影响,但实际上还有一些因素,如 X 合光棱镜对光的去偏振,倾斜的二向色膜使透射光的相位发

生移动,以及 PBS 的压力双折射等都会降低系统的对比度。尤其当很强的光流过系统时,PBS 会产生很大的压力双折射。倾斜的二向色膜会减小投影系统的总光效率。二向色膜的透过光谱主要取决于入射光的偏振态和入射角。

光的偏振态转变时,会有一些光在膜系中损失。在两种不同的 F 数条件下,双棱镜系统的透过光谱特性如图 3 所示。用 Essentia Macleod 设计的二向色膜模拟实验显示,当 F 数为 5 时,光引擎的光效率只有 60%,当 F 数为 3 时,光引擎的光效率为 52%。随着 F 数减少,PBS 的光输出会减少,从而使光效率降低。

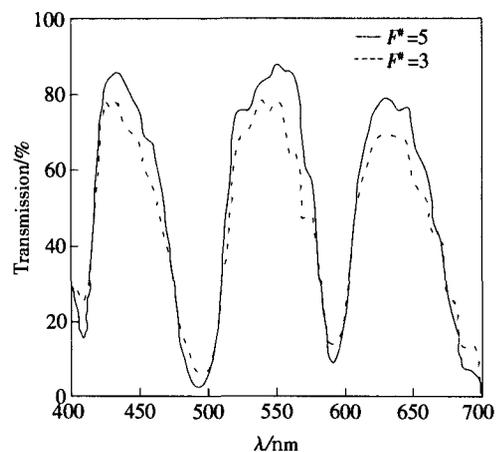


图 3 双合光棱镜系统中不同 $F^{\#}$ 下的透射光谱特性
Fig. 3 Transmission spectra of the double-cube system for different F numbers

热压力双折射的强度主要取决于晶体中的光程^[6]。很明显,要想使系统获得高对比度和高亮度,应使 LCoS 面板和 PBS 之间的元件尽可能少。把透射式 LCD 面板改造成反射式 LCoS 面

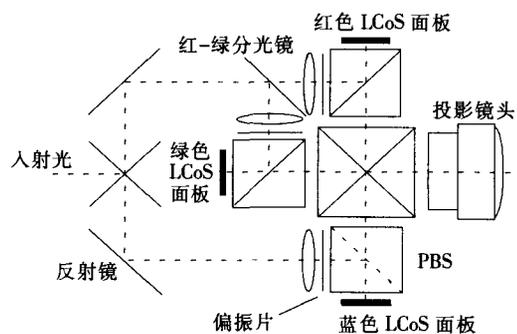


图 4 反射式 LCoS 投影系统的传统光引擎结构
Fig. 4 Layout of the traditional optical engine for reflective LCoS panels

板的传统做法是采用三片式 PBS 结构。反射式 LCoS 投影系统的传统光引擎结构如图 4 所示,这种结构既笨重,造价又高。

3 堆式 X 合光棱镜的设计

改善了对比度的双棱镜系统如图 5 所示。参照图 4 所示结构,若光在进入 X 合光棱镜之前是偏振光,则 X 合光棱镜对光的去偏效应会大大减少,对比度会有所改善。设计低 F 数的 PBS 光学系统时,通常会造成投影镜头的后焦距很大,系统成本增加。虽然图 4 所示结构使分离光束和合成

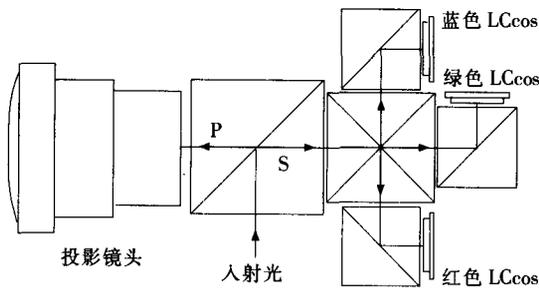


图 5 改善了对比度的双棱镜系统

Fig. 5 Double-cube system with improved contrast ratio

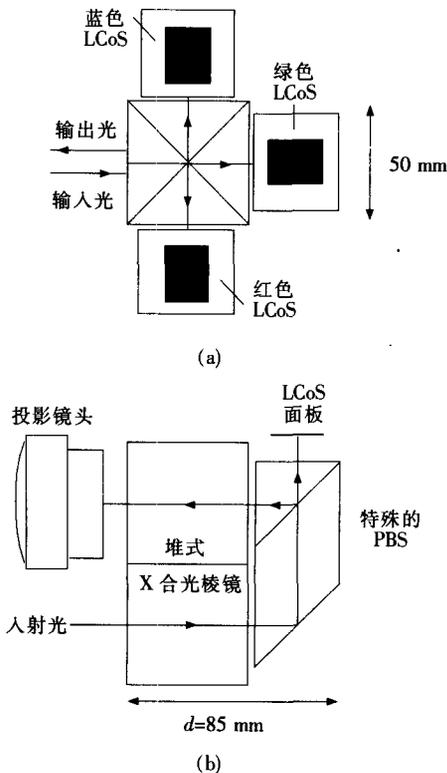


图 6 堆式 X 合光棱镜示意图。(a)俯视图;(b)侧视图。
Fig. 6 Schematic illustration of the stacked X-cube design.
(a) Top view;(b)Side view.

光束同时进行,投影镜头的后焦距不会很大,但系统体积庞大,仍不可取。设想用一个结构特殊的 PBS,如图 6 所示,使得分离光束和合成光束在 PBS 上下两端进行,则系统的体积就会减少。入射白光在下面的 X 合光棱镜处被分成三基色光,进入到 3 个特殊形状的 PBS,调制光在投影到屏幕之前被上面的 X 合光棱镜合成,距离 $d=85\text{ mm}$,这种堆式 X 合光棱镜的设计结构相对紧凑,使得投影镜头的后焦距不会很大。

我们用一个氙灯作为入射光源,它与入射可见光有相似的能量光谱。采用远心光照明, F 数为 3 的 LCoS 面板。入射光经过偏振后在第一个合成棱镜的二向色膜处是 S 态。选用 BK7 玻璃做 X 合成棱镜, SF57 玻璃做 LCoS 材质。PBS 材质要选择不产生热压力双折射的材料。由 Essential Macleod 设计的二向色膜有很好的效率和颜色性能。热压力双折射因为模拟条件极端困难而不好模拟。结构不同的光学现象对对比度不会有太大的影响。以下我们研究两种不同的堆式 X 合光棱镜结构。

3.1 第一种结构

图 7 所示为堆式 X 合光棱镜第一种结构的示意图。各基色光分别进入不同的 PBS,在 PBS 的二向色膜处反射,在 PBS 的二向色膜处呈 P 态而在 X 合光棱镜的二向色膜处呈 S 态。对于第一种结构,使用一个和两个 X 合光棱镜的光引擎的透射光谱如图 8 所示。

模拟结果显示,用一个 X 合光棱镜的设计可以得到 62 % 的光效率,用两个不同的 X 合光棱镜可以得到 69 % 的光效率。使用两种不同结构的 X 合光棱镜的色阈见图 9。透射光谱的倾角会减少系统的光效率,却可以得到很宽的色阈。LCoS 面

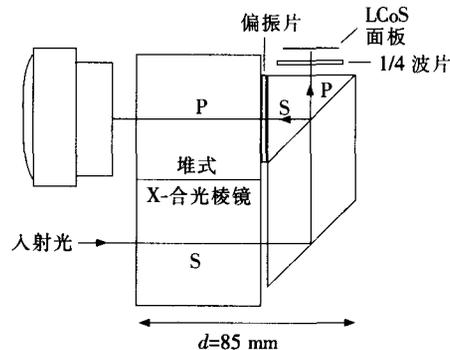


图 7 第一种结构示意图

Fig. 7 Layout of the first configuration of the stacked X-cube design

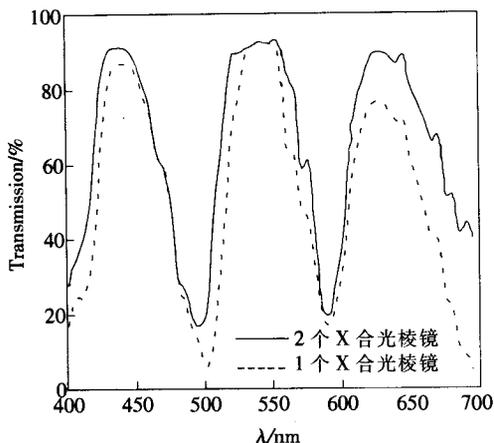


图 8 第一种结构使用一个和两个 X 合光棱镜的光引擎的透射光谱

Fig. 8 Transmission spectra of the optical engine (first configuration) with one and two X cubes

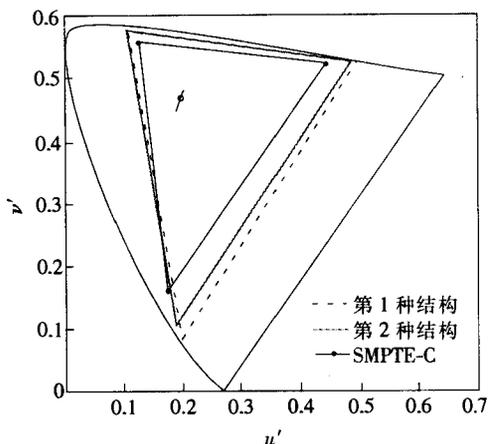


图 9 两种结构的色阈

Fig. 9 Color gamut of the two configurations

板和 PBS 之间的光学元件越少,对比度越高。如果 LCoS 面板放在 PBS 的反射端口,在 LCoS 面板和 PBS 之间放置一个预偏振器;如果 LCoS 面板放在 PBS 的透射端口,在 LCoS 面板和 PBS 之间放置一个去偏振器,则系统可以得到很高的对比度。模拟结果显示,对比度可以达到 4 000:1。如果入射光是预偏振的效果会更好。

3.2 第二种结构

因为在第一种结构中,X 合光棱镜的二向色膜处的出射光中有 P 态光,所以系统光效率较低。第二种结构针对以上不足进行了改进,如图 10 所示。在 X 合光棱镜(下侧)和 PBS 之间放入一个半波延迟片,用来改变入射光的极性,使得出射的 P 态光减少,光效率提高。LCoS 面板放在 PBS 反射端的

入口处,在 X 合光棱镜处入射光及出射光的偏振态相同,只需要一个 X 合光棱镜。通常,在 PBS 的二向色膜处放置预偏振器可获得高对比度。最好的方法是在 PBS 的底端另放一个偏振涂层,而不用平板偏振器,因为平板偏振器容易受热破坏,影响系统亮度。堆式 X 合光棱镜的第二种结构光引擎的透射光谱如图 11 所示。这种结构的光效率可以达到 78%,其色阈如图 9 所示。在二向色膜处入射光与出射光有不同的角分布。光通过第二个 X 合光棱镜时同样会有光损失。杂散光会产生热效应,影响对比度及光亮度,在光进入 X 合光棱镜前最好剔除杂散光。

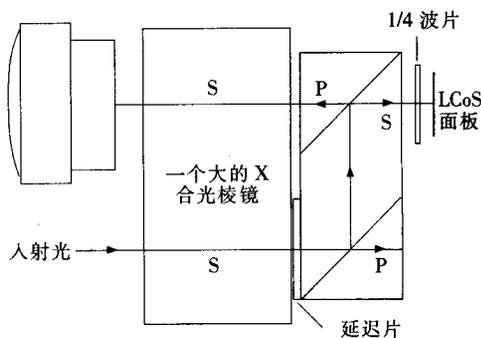


图 10 第二种结构示意图

Fig. 10 Layout of the second configuration of the stacked X-cube design

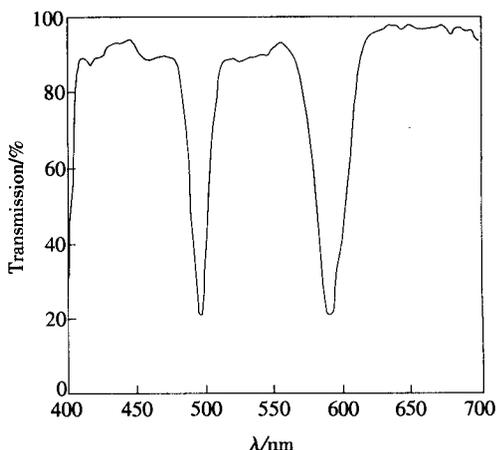


图 11 第二种结构光引擎的透射光谱

Fig. 11 Transmission spectra of the optical engine (second configuration)

Colorselect 膜能将一个光谱波段无损失地变成正交的偏振光,互补颜色的光偏振态不会改变。用这种膜作为半波延迟片能过滤杂散光,不会减少光效率。偏振膜会将正交的偏振光反射,透过的光

在二向色膜处被热吸收器吸收。这些膜的效率很高,不会受人射光角度的影响,是理想的半波延迟片。使用这种膜可以得到很好的光效率和很宽的色阈。用普通的半波延迟片可以得到 2 000:1 的对比度,如果使用 Colorselect 的膜则可以得到 3 000:1 的对比度。Colorselect 可以解决杂散光的问题,第二种结构可以得到更高的亮度和对比度,以及更宽的色阈。

4 结 论

若想得到高对比度,就要尽可能减少 LCoS 面板和 PBS 之间的光学元件。通过对两种不同光学结构的研究,可以得到性能很高的结构设计。第二种结构适用于高亮度系统,因为它能够剔除杂散光,而且用偏振涂层替代平板偏振器,能够减少热效应。

参 考 文 献:

- [1] 耿卫东,张永利,代永平,等. 基于 LCoS 芯片的微型电视系统设计与实验 [J]. 液晶与显示,2004,19(6):458-461.
- [2] Bowron J, Schmidt T. A new high resolution reflective liquid crystal light valve projector[J]. *Proc. SPIE*,1998,3296:105-115.
- [3] 赵福庭,董建伟. LCoS 光机中的若干问题 [J]. 国际光电显示技术,2003,(10):188-191.
- [4] 代永平,王隆望,孙钟林,等. 天赐良机—LCoS 与中国平板显示产业[J]. 光电子技术,2002,22(1):11-17.
- [5] 应根裕,胡长波,邱勇,等. 平板显示技术[M]. 北京:人民邮电出版社出版,2002. 495-497.
- [6] Chen C, Shen W, Ho F, *et al.* Compact design of the high-resolution projection using reflective LCD panel[J]. *Proc. SPIE*,2002,4657:77-84.

Optical Engines for High-performance LCoS Projection Systems

ZHANG Ji-yan, LIU Wei-qi, LIU Hua, ZHANG Yue

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China, E-mail: jiyang20042000@yahoo.com.cn)

Abstract

Liquid crystal on silicon (LCoS) is a relatively new technology that can be used as the spatial light modulator in projection systems. It has a great developing potential for its low cost and high performance in optical efficiency. Various optical architectures have been proposed that can be used with LCoS panels. All of these systems have their own specific advantages and disadvantages. Efficiency, color gamut, and contrast ratio are three quality parameters that are largely dependent on the optical engine. By the analysis of several optical engines, we got the best structure of the optical engines which can get the best bright and contrast rate, large color gamut, which providing design basis for the practical project.

Key words: LCoS; optical engine; PBS

作者简介:张继艳(1977—),女,黑龙江牡丹江人,硕士研究生,主要从事光学设计及激光大屏幕投影显示的研究。