

文章编号: 1007-2780(2013)03-0377-05

偏振式 3D 显示原理及优化

周志远, 张建军, 李庆堂, 翟乐开, 程俊英

(深圳市三利谱光电科技股份有限公司, 深圳 518106, E-mail: zhouzhiyuan@sunnypol.com)

摘 要: 介绍了偏振式 3D 显示, 用琼斯矩阵推导偏振式 3D 显示形成视差的原理, 得出最准确补偿值。并提出一种负色散特性的补偿膜用于偏振式 3D 显示。文中用两张补偿膜和两张偏光片组成光学系统, 模拟偏振式 3D 显示产生视差的部分, 用紫外可见分光光度计 (UV-2450) 测试系统的透过率, 用位相差值测试仪 (RETS-100) 测试补偿膜的补偿值和色散特性。应用负色散特性的补偿膜, 偏振式 3D 显示具有更好的视差, 可以降低甚至消除使用中对观看姿势的要求, 从而实现更加优质的 3D 显示效果。

关 键 词: 偏光片; 补偿膜; 色散特性; 补偿值

中图分类号: O436.3; TN141.9

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20132803.0377

Theory and Optimization of Polarized Glasses Type 3D Display

ZHOU Zhi-yuan, ZHANG Jian-jun, LI Qing-tang, ZHAI Le-kai, CHENG Jun-ying

(Shenzhen Sunypol Optoelectronics Co., Ltd., Shenzhen 518106, China, E-mail: zhouzhiyuan@sunnypol.com)

Abstract: The principle of polarized 3D display is introduced. To deduce the principle of the parallax resulted from polarized 3D display by using Jones matrix, the most accurate retardation value is obtained finally. A kind of compensation film with the negative wavelength dispersion property is applied to the polarized 3D display. In this paper, there are two polarizers and two compensation films composited in the optical system to imitate the parallax phenomenon made by polarized 3D display. The transmission of the test system can be measured by UV-2450, and the retardation value and the wavelength dispersion property of the compensation film can be measured by the RETS-100. With applying the compensation film with negative wavelength dispersion, the polarized 3D display will produce a better parallax so that there will be less or no demands on the watching pose, which makes more convenient for users as well as the good 3D display performance.

Key words: polarizer; compensation film; wavelength dispersion; retardation

1 引 言

人类从有智慧以来, 就不断地努力记录和重现真实的世界。从壁画、绘画、摄影, 到 CRT, 再到高清平板电视。随着平板显示技术的发展, 人们对显示的现场感和真实感要求也越来越高。显示效果要高清晰度, 要大屏幕, 要有身临其境的感觉, 所以

从二维视频到三维视频^[1-2] (3D 显示) 是一必然的趋势。毋庸置疑, 3D 显示有更好的视觉体验。

早期的偏振式 3D 显示是应用线偏振光, 需要观看者有固定姿势, 倾斜会影响画面效果^[3]。为解决这个问题, 目前的 3D 技术, 需要用到补偿膜, 即在 3D 投影机和 3D 眼睛上各加入一层补偿膜, 从而可以使观看者有更轻松的姿势。但是目

收稿日期: 2012-11-23; 修订日期: 2013-03-26

作者简介: 周志远 (1986—), 男, 河北唐山人, 工程师, 从事液晶器件的光学测试、光学模拟以及光学薄膜的研究。

前应用的补偿膜^[4]的补偿值有 125 nm 和 138 nm 两种,由于本身色散特性的原因,只能对应某段波长接近 $\frac{1}{4}\lambda$,倾斜观看时,依然会产生一定的漏光。本文推导 3D 显示的最优补偿值,应用负色散特性补偿膜,实现解放观看 3D 视频的姿势,人们能够以更舒适的姿势体验 3D 盛宴。本文中色散特性指补偿膜的补偿值随着波长的增大而逐渐变化。一般晶体补偿值随着波长的增大而减少,定义为具有正色散特性^[5];反之为负色散特性。

2 理论推导和测试分析

2.1 3D 显示的原理

目前常用的偏振式 3D 显示有两种:电影院通过两个投影机,在屏幕上投影两种偏振态不同画面,不同偏振态画面,分别透过左右眼镜片,形成视差;3D 电视是在屏幕上贴合一层微相位延迟阵列膜,即 FPR(Film-type patterned retarder)膜,不同位置的出射光经过 FPR 膜后,偏振态不同,从而可以透过左右眼镜中的一个,这样左右眼观看到的图像就有差别,可以产生 3D 效果,如图 1(本图摘自清华大学液晶中心培训课程)。这样的 3D 效果有一个很大的优点就是当观看者倾斜或者是躺下观看时都可以看到较好的 3D 效果。

在屏幕上偏光片和 3D 眼镜的偏光片之间加入两层补偿膜,从而达到提升观看的范围,改善观看效果的目的。光透过液晶显示器偏光片后为线偏振光,再经过补偿膜的慢轴与偏光片吸收轴角度成 45° 或 -45° 的补偿膜,线偏振光会分别转变

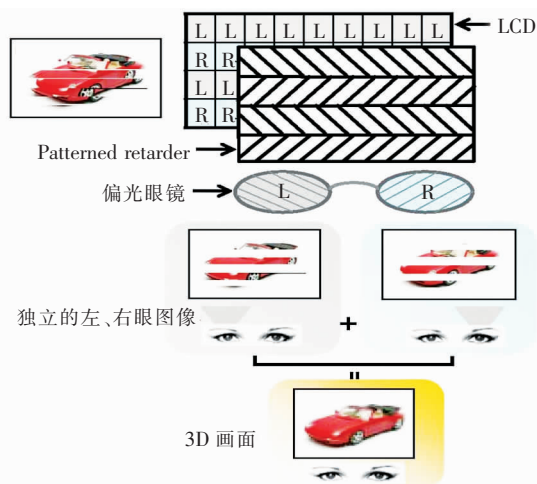


图 1 偏振式 3D 电视的显示原理

Fig. 1 Schematic diagram of polarized glasses type 3D TV

成左旋或右旋圆偏振光,再经过眼镜片前的补偿膜,圆偏振光再次转换成相互垂直的线偏振光,从而左右眼观看到不同的画面。

2.2 3D 显示的琼斯矩阵的理论计算

我们考虑理想模型,以单波长的光入射,单像素点为例,即两层理想偏光片和两层补偿膜,如图 2。理想条件下,光透过起偏器的琼斯矢量表示为 $\frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$,位相差膜的延迟量为 Γ :

$$\Gamma = 2\pi(n_o - n_e)d/\lambda \quad (1)$$

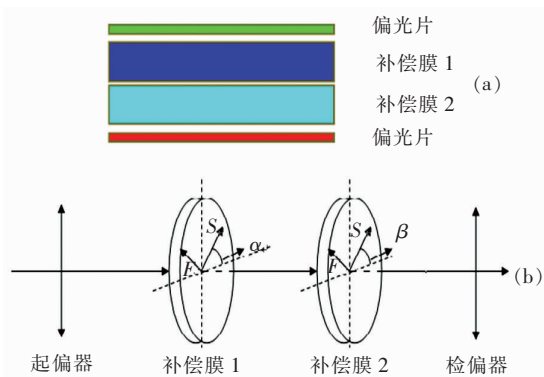


图 2 3D 显示的原理图,起偏器是 3D 显示器上的上偏光片,补偿膜 1 是 3D 显示器上的补偿膜,补偿膜 2 是 3D 偏光片上的补偿膜,检偏器是 3D 偏光片的偏光片。

Fig. 2 Schematic diagram of 3D display. Polarizer is analyzer of 3D TV, compensation film 1 is the FPR film of 3D TV, compensation film 2 is the compensation film of polarized glasses, analyzer is the polarizer of polarized glasses.

2.2.1 模拟透过眼镜右眼镜片看右眼画面

用琼斯矩阵模拟通过眼镜右眼镜片观看右眼画面。以 X 轴为基准,起偏器的吸收轴和 X 轴重合,补偿膜 1 的慢轴与基准成 $\alpha = 45^\circ$ 角,补偿膜的琼斯矩阵^[6]为

$$W = \begin{pmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{-i\frac{\Gamma}{2}} & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\Gamma}{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha \\ -\sin\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix}$$

因为我们需要得到圆偏振光,需要 $\alpha = 45^\circ$, 则

$$W_1 = \begin{pmatrix} \cos \frac{\Gamma}{2} & -i \sin \frac{\Gamma}{2} \\ -i \sin \frac{\Gamma}{2} & \cos \frac{\Gamma}{2} \end{pmatrix} \quad (2)$$

补偿膜 2 慢轴和基准线的夹角是 β ,光通过补偿膜 2 的琼斯矩阵为:

$$\mathbf{W}_2 = \begin{pmatrix} \cos \frac{\Gamma}{2} - i \sin \frac{\Gamma}{2} \cos 2\beta & -i \sin \frac{\Gamma}{2} \sin 2\beta \\ -i \sin \frac{\Gamma}{2} \sin 2\beta & \cos \frac{\Gamma}{2} + i \sin \frac{\Gamma}{2} \cos 2\beta \end{pmatrix} \quad (3)$$

由于检偏器和补偿膜2的角度是 45° ,所以检偏器吸收轴与基准的角度是 $(\beta - 45^\circ)$ 。

光通过检偏器的矩阵为:

$$\mathbf{W}_3 = \begin{pmatrix} \cos^2(\beta - 45^\circ) & \sin(\beta - 45^\circ) \cos(\beta - 45^\circ) \\ \sin(\beta - 45^\circ) \cos(\beta - 45^\circ) & \sin^2(\beta - 45^\circ) \end{pmatrix} \quad (4)$$

整个模型的矩阵是

$$\mathbf{W}_4 = \mathbf{W}_3 \mathbf{W}_2 \mathbf{W}_1 \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

当 $\Gamma = \frac{\pi}{2}$ 时,

$$\mathbf{W}_3 = \frac{\sqrt{2}}{4} \begin{pmatrix} -\cos 2\beta - i(1 + \sin 2\beta) \\ 1 - \sin 2\beta + i \cos 2\beta \end{pmatrix} \quad (6)$$

通过变换运算得到出射光的结果为

$$\mathbf{W}_3 = \begin{bmatrix} -\frac{\sqrt{2}}{4} \cos 2\beta - \frac{\sqrt{2}}{4} i(1 + \sin 2\beta) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{\cos \beta + \sin \beta}{\cos \beta - \sin \beta} \end{pmatrix}$$

所以出射光为线偏振光。透过补偿膜2和透过检偏器的琼斯矩阵是完全相同的。

定义透过起偏器的光强是 I_1 ,透过检偏器的

光强是 I_2 ,当光透过检偏器时,光强为:

$$I_2 = |E_x|^2 + |E_y|^2 = \frac{1}{2}$$

透过起偏器的光强是

$$I_1 = \frac{1}{2}$$

$I_1 = I_2$ 所以,在理想偏振器和补偿膜延迟量 $\Gamma = \frac{\pi}{2}$ 的条件下,透过检偏器的光和透过起偏器的光强是相同的,与 β 值无关。

2.2.2 模拟透过眼镜左眼镜片观看右眼画面

当用左眼观看右眼图像时,起偏器、补偿膜1、补偿膜2都是不变的,只是检偏器吸收轴和补偿膜2的慢轴的角度发生变化。所以这时检偏器的光学矩阵是

$$\mathbf{W}'_3 = \begin{pmatrix} \cos^2(\beta + 45^\circ) & \cos(\beta + 45^\circ) \sin(\beta + 45^\circ) \\ \sin(\beta + 45^\circ) \cos(\beta + 45^\circ) & \sin^2(\beta + 45^\circ) \end{pmatrix}$$

所以,通过左眼镜片观看右眼图像的琼斯矩阵是

当 $\Gamma = \frac{\pi}{2}$ 时,

$$\mathbf{W}'_4 = \mathbf{W}'_3 \mathbf{W}_2 \mathbf{W}_1 \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\mathbf{W}_5 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

所以,当检偏器吸收轴和补偿膜2慢轴的夹角是 135° 时,理想模型透过光强为 $I_3 = 0$

所以,当 $\Gamma = \frac{\pi}{2}$ 时,无论 β 的取值,左眼完全不能看到右眼画面。

偏振式3D显示中,引入补偿膜最重要的目的就是解放观众的观看姿势,即减小 β 对观看效

果的影响。上述计算的结论是当补偿值为 $\frac{\lambda}{4}$ 时,与 β 无关。通过计算,得到在可见光范围内,补偿值越接近 $\frac{\lambda}{4}$,3D显示效果越好,所以本文中选择的补偿值随波长增大而增大的具有负的色散特性的补偿膜^[7-8]。

2.3 测试结果分析

一般晶体色散特性是随着波长的增大补偿值减小的。不同的材料色散特性不同,例如普通聚碳酸酯(PC)补偿膜的色散特性是 $R_{450}/R_{550} = 1.067$,聚环烯烃(COP)补偿膜的色散特性是 $R_{450}/R_{550} = 1.007$ 等。图3是125 nm补偿值的COP补偿膜的色散特性。

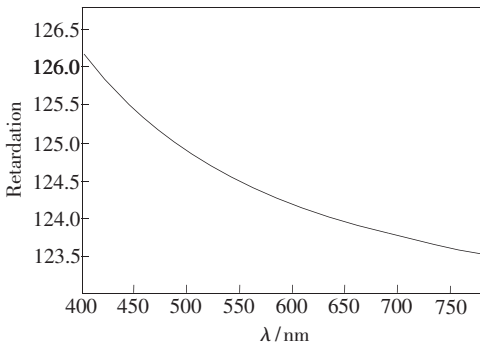


图 3 COP 补偿膜对应不同波长的补偿值

Fig. 3 Wavelength dispersion of COP compensation film

目前市场上的 3D 眼镜片多选用 COP125(补偿值为 125 nm 的 COP 补偿膜)作为补偿膜,选用 125 nm 补偿值主要目的是降低左右眼画面的相互干扰,优化对比度。COP 材料属于低色散特性,已经是 PC 材料的提升。但是,为了得到更好的显示效果,本次测试选用负色散特性的补偿膜,即宽频带补偿膜。

用左右眼 3D 偏光片模拟观看时的暗态漏光。用 UV-2450 测试光谱的透过率,用 RETS-100 测试补偿值和色散特性。图 4 是负色散特性的补偿膜的补偿值与波长的关系,表 1 是测量结果,图 5 是用两种补偿膜对应的不同的光谱透过率。

当应用宽频带补偿膜时,补偿膜的补偿值随波长的增大而增大。在 400~700 nm 的波段内,补偿值是在相应波长的 1/4 左右,光线透过偏光

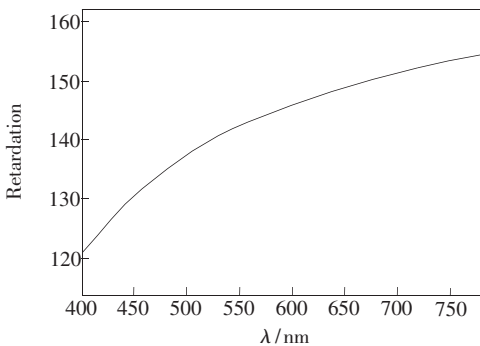


图 4 WR-S 补偿膜补偿值随波长的变化

Fig. 4 Wavelength dispersion of WR-S compensation film

表 1 两种补偿膜的显示效果

Table 1 Comparison of two kinds of compensation films

	WR-S 补偿膜	COP 补偿膜
R_{450}/R_{550}	0.915	1.007
Re(589 nm)	139.4	124.3
漏光	在 400~700 nm 没有较大漏光	在红光区有较大漏光
透过率	0.53%	1.81%
a^*	2.41	18.74
b^*	-19.34	14.87

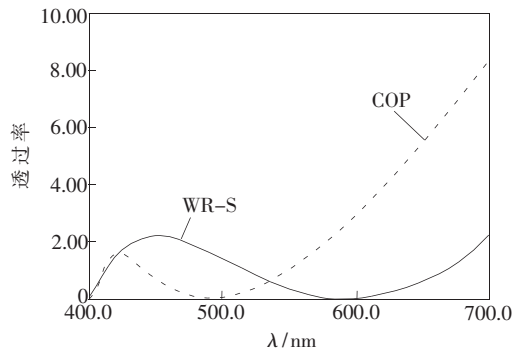


图 5 分别用 COP 和 WR-S 补偿膜测试结果

Fig. 5 Test results of used COP compensation film and WR-S compensation film

片、补偿膜后,很接近圆偏振光,不会出现使用普通补偿膜在红光范围有较多的漏光的现象,用两种补偿膜模拟显示效果光谱图随波长的变化,如图 6。

3 结 论

宽频带补偿膜由于本身色散特性小于 1,补偿值随着波长的增大而增大,所以在 400~700 nm 间,补偿值始终接近 $\lambda/4$,对于变化的 β ,右眼看到右眼画面减小色彩偏移,左眼看右眼画面透过率更小;在模拟测试过程中,用负色散特性的补偿膜,漏光更少,显示效果更好。理论计算和实际模拟测试结果相符,所以负色散特性的补偿膜用于 3D 偏光片会有更好的显示效果。

参 考 文 献:

[1] 王爱红,王琼华,李大海,等. 三维立体显示技术 [J]. 电子器件,2008,31(1):299-301.

[2] 冯奇斌,王小丽,吕国强,等. 固态体视式真三维立体显示器的色度特性 [J]. 液晶与显示,2011,26(1):100-104.

- [3] 张兴,郑成武,李宁,等. 液晶材料与3D显示[J]. 液晶与显示, 2012,(4): 448-455.
- [4] 单艾娴,李志勇,孙玉宝. OCB模式液晶显示器件的膜补偿模拟优化[J]. 液晶与显示, 2011,26(1): 34-39.
- [5] 田芊,廖延彪,孙利群. 工程光学[M]. 北京:清华大学出版社,2006:281-325.
- [6] 王新久. 液晶光学和液晶显示[M]. 北京:科学出版社,2006:395-398.
- [7] Kuboyama K, Kuroda T, Ougizawa T. Control of wavelength dispersion of birefringence by miscible polymer blends [J]. *Macromolecular Symposia*, 2007,249-250:641-646.
- [8] 刘云安,李国华,彭捍东. 波片组合在调整偏振态势中的应用与分析[J]. 激光技术, 2007, 31(4): 0391.

数值范围的表示法

1. 数值范围采用波浪号“~”。
2. 书写百分数范围,每个百分数后面的“%”都要重复写出。例如“10%~20%”不能写成“10~20%”。
3. 书写用万或亿表示的数值范围,每个数值中的万或亿不得省略。例如2万~5万,不能写成2~5万。
4. 书写具有相同幂次的数值范围,每个数值中的幂次都要重复写出。例如“ $3 \times 10^5 \sim 5 \times 10^5$ ”不能写成“ $3 \sim 5 \times 10^5$ ”,但可以写“(3~5) $\times 10^5$ ”。
5. 单位相同的量值范围,前一个量值的单位可以省略,只需在后一个量值上写出。例如:“5 mm~8 mm”应写作“5~8 mm”。
6. 单位不完全相同的量值范围,每个量值的单位应全部写出。例如:2 h~2 h30 min(但最好改为“2~2.5 h”)。