

White PLED Based Full Color Flat Panel Display

Yan Xiong

School of Physics Science and Technology, Yangtze University, Jingzhou 434023, China

e-mail: dfxy1215@yahoo.com.cn

Abstract: White polymer light emitting diodes (PLED) based full color flat panel display was analyzed theoretically and experimentally. White emission PLED was coupled with transmission color filters to realize full color pixels, and the pixel efficiency was calculated and examined with two different white emitters. A white emitter made up of three primary emission peaks was found to be superior to a white emitter made up of complementary colors, i.e. two emission peaks, because of the mismatch between the emission peaks from the 'complementary colors' white emitter and the transmission peaks of the color filters.

Keywords: WPLED; full color flat panel display; primary; transmission color filters

基于白光 PLED 的全彩平板显示性能分析

熊艳

长江大学物理科学与技术学院, 荆州, 中国, 434023

E-mail: dfxy1215@yahoo.com.cn

【摘要】本文从实验上和理论上对采用聚合物白光电致发光器件 (PLED) 结合滤光片的方法实现的全彩平板显示进行性能分析。对采用三原色白光和互补色白光为光谱的 PLED 进行平板显示得到的像素效率进行分析比较, 结果表明, 由于互补色白光光谱与单色滤光片的透射光谱之间的不匹配而造成了像素的低效率与高能耗, 采用包含三原色发光峰的白光 PLED 进行显示, 比采用包含二元互补色发光峰的白光 PLED 具有更好的工作性能。

【关键词】白光聚合物电致发光二极管; 全彩平板显示; 原色; 滤光片

1 引言

近年来聚合物电致发光二极管 (polymer light emitting diodes, PLED) 已成为国际上非常热门的新兴平板显示器产业, 主要是因为其具有自发光、视角广、反应时间快、面板厚度薄、可制作大尺寸与柔性面板及可溶液处理、制备工艺简单等特性, 具有低成本的潜力。

在全彩平板显示中, 为了得到全彩的像素点, 最常用的方法是使用三个单独的三原色发光材料, 如图 1(a)所示。随着聚合物白光电致发光器件 (white PLED, WPLED) 性能的提升, 利用 WPLED 结合滤光片实现全彩显示的可行性越来越大^[1-2]。WPLED 配合滤光片的显示方式如图 1(b)所示, 具有工艺简单的优势, 只需一次性印刷打印白光发光材料, 避免了很多工艺技术上的问题, 而且更适用于大尺寸和高精度化的平板

显示器的制作^[3], 因而具有非常大的应用前景。

根据颜色混合的规律, 为了获得白光, 需要将三种三原色或两种互补色进行混合^[3]。最常用的三原色是

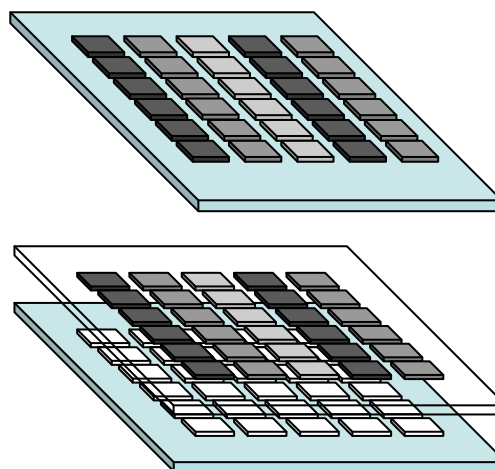


图 1 (a)红、绿、蓝三原色发光像素实现的全彩显示;
(b)白光发光像素配合滤光片实现的全彩显示

基金项目:湖北省教育厅科学技术研究计划优秀中青年人才项目 (Q20091204); 长江大学科研发展基金项目 (博士启动基金)。

红、绿、蓝色，而常用的互补色是蓝色与黄色^[4]。利用 WPLED 配合滤光片来实现全彩显示时，WPLED 的工作方式类似于液晶显示器中的背光源，因此为了获得效率更高，色域更宽和工作寿命更长的全彩显示，确定采用何种光谱的白光作为背景光源能最有效地结合滤光片进行工作就显得非常重要。我们对采用三原色白光和互补色白光作为背景光源的全彩显示进行了实验分析与理论计算，通过分析比较，对“WPLED+滤光片”全彩显示的改进方法进行了探讨。

2 实验材料与器件制备

为了获得三原色白光和互补色白光，我们分别制备了两种 WPLED：器件 A，结构为 ITO/PEDOT/PVK/ADS329BE:Ir(Bu-ppy)₃:Ir(DMFPQ)₂acac/Ba/Al，器件制备过程参考文献[5]，器件 B，结构为 ITO/PEDOT/PFB2:MEH-PPV/PFB2/Ba/Al，器件制备过程参考文献[6]。两种器件的电流密度-电压-亮度特性曲线如图2所示，它们均发射出比较理想的白光，CIE 色坐标分别为 (0.34, 0.33) 与 (0.32, 0.34)，其电致发光光谱见图4。

实验所采用的聚合物发光材料 ADS329BE 购自美国 Dye Sources Inc，Ir(Bu-ppy)₃、Ir(DMFPQ)₂acac 由华南理工大学高分子光电材料与器件研究所合成，PFB2 由中国科学院长春应用化学研究所的刘俊等人合成[5,7-8]。

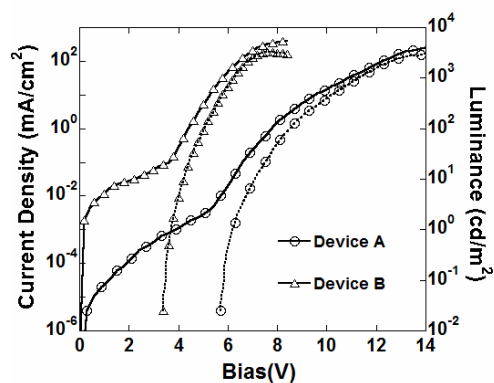


图2 器件 A 和器件 B 的电流密度（实线）-电压-亮度（虚线）特性曲线

3 实验结果与讨论

3.1 滤光片对白光的作用

使用滤光片对白光进行滤光后，得到单色光的光谱，我们可以把经过滤光片后出射的红、绿、蓝光作为单色的像素进行理论的分析。白光经过滤光片后，不光光谱会发生改变，其亮度也会减小。定义由聚合

物白光电致发光器件发出的光亮度 L 为实际亮度（actual luminance），而经过滤光片后的亮度为视在亮度（apparent luminance） L_T ，两者之间的关系可由计算得到^[1,9]：

$$L = \frac{\int \frac{P(\lambda)}{P_{peak}} V(\lambda) d\lambda}{\int \frac{P(\lambda)}{P_{peak}} T(\lambda) V(\lambda) d\lambda} L_T \quad (1)$$

$$L_T = \frac{\int \frac{P(\lambda)}{P_{peak}} T(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int \frac{P(\lambda)}{P_{peak}} V(\lambda) d\lambda} L \quad (2)$$

其中 $V(\lambda)$ 为人眼对光谱的视觉响应函数， $T(\lambda)$ 是单色滤光片的透射光谱， $P(\lambda)/P_{peak}$ 是归一化的白光光谱。

实验表明，由上式理论计算得到的 L 与 L_T 之间的比值与实验测得的结果一致。图 3 为实验所使用的单色滤光片（购自海安恒星光学元件厂）的透射光谱。

器件 A 与器件 B 分别发出的三原色白光与互补色白光光谱如图 4 所示，图中同时列出了经过红、绿、蓝三种单色滤光片后的单色光光谱，白光经滤光片呈现的三原色的 CIE 色坐标列于表 1 中，可见，所得的红、绿、蓝光是比较理想的三原色单色光。

表 1. 白光经滤光片后的像素色坐标

白光光谱	红	绿	蓝
三原色白光	(0.682, 0.313)	(0.317, 0.627)	(0.152, 0.050)
互补色白光	(0.668, 0.329)	(0.356, 0.584)	(0.146, 0.062)

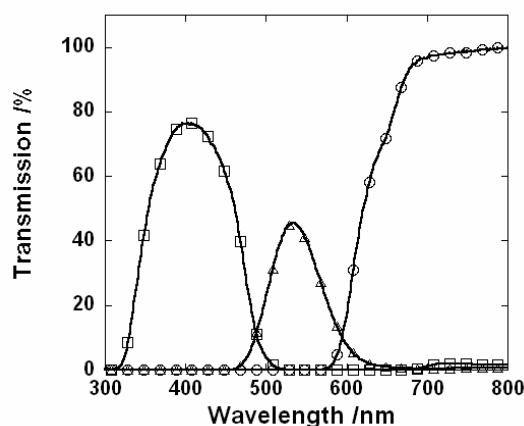


图 3. 滤光片的透射光谱

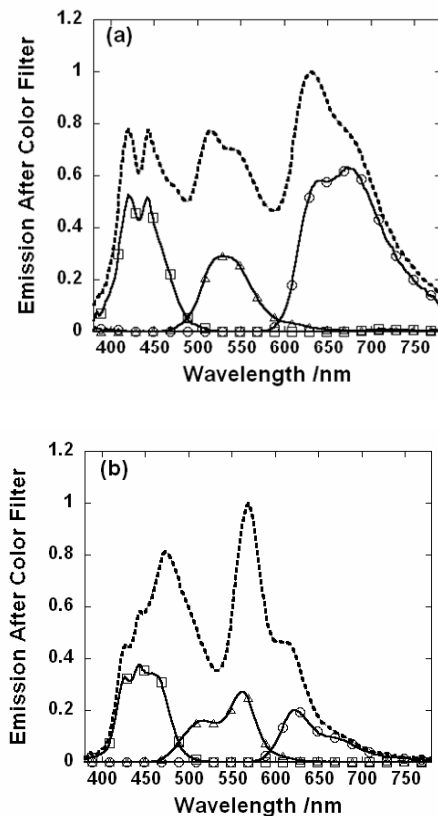


图 4. (a)器件 A 与(b)器件 B 的电致发光光谱（虚线）和经滤光片后的单色光谱（实线）

3.2 获得 D65 白光的性能比较

高清电视采用的标准白光为 D65 白光，色坐标为 (0.313, 0.329)^[10]。获得 200 cd/m² 亮度的 D65 白光性能参数常被用作评判平板显示效率的标准。我们对分别采用三原色白光和互补色白光配合滤光片的全彩显示方法，测试并计算经由滤光片产生的三原色单色光复合为 200 cd/m² 的 D65 白光时每个像素的效率与功耗。

要实现全彩显示，每个像素点应具备红、绿、蓝三个基本三原色的次像素点。为了分析所制备的发光器件在实际的平板显示中的工作性能，我们假定构成每个全彩像素点的三个次像素点是平行排列的。设一个全彩像素点的尺寸为 100 μm × 100 μm，且每个次像素点的面积一样大，则每个次像素点的尺寸为 33.3 μm × 100 μm。定义最后进行复合需要的目标亮度为面亮度 (areal luminance)，对于复合后的 D65 白光，面亮度即 200 cd/m²，而对于经过滤光片后形成的单色光，由于每个次像素点的面积是整个像素点面积的 1/3，故参与复合的单色光目标亮度值仅为通过滤光片后得到的视在亮度的 1/3。也就是说，为了获得需要参与复合的

目标亮度，每个次像素点的单色光的视在亮度必须达到目标亮度值的 3 倍。

计算出为获得 200 cd/m² 的 D65 白光所需要的每个颜色次像素点的面亮度值如表 2 所示^[10]。

表 2 获得 200 cd/m² 的 D65 白光时，三原色白光与互补色白光全彩显示的像素性能（基于器件 A 的电致发光性能参数计算）

白光光谱	性能参数	红	绿	蓝	完整像素
三原色	面亮度(cd/m ²)	34	153	13	200
	视在亮度(cd/m ²)	102	459	39	600
	实际亮度(cd/m ²)	817	1801	2346	4964
	流明效率(cd/A)	0.282	0.471	0.026	0.213
	功耗(μW)	13.2	39.7	62.7	116
互补色	能量效率(lm/W)	0.080	0.121	0.006	0.054
	面亮度(cd/m ²)	29	156	15	200
	视在亮度(cd/m ²)	86	467	47	600
	实际亮度(cd/m ²)	1383	1846	2345	5574
	流明效率(cd/A)	0.126	0.463	0.320	0.189
	功耗(μW)	26.8	41.3	63.7	132
	能量效率(lm/W)	0.034	0.118	0.079	0.048

为了在同样的基础上对采用两种白光光谱的显示性能进行更准确的比较，我们假定互补色白光器件的电致发光特性与三原色白光一样，即同样采用器件 A 的电流密度-电压-亮度特性，对以互补色白光结合滤光片进行全彩显示获得 200 cd/m² 的 D65 白光时的像素效率进行计算，所得结果如表 2 所示。

由表 2 可见，用互补色白光进行全彩显示时，每个完整像素点的能量效率为 0.048 lm/W，其效率明显低于三原色显示的效率 0.054 lm/W，并且其每一个像素点的功耗（131.78 μW）要大于后者（115.65 μW）。

3.3 在同样发光亮度下的比较

同时，我们对在给定同样的实际亮度L的情况下，采用两种白光光谱，利用“WPLED+滤光片”进行全彩显示的像素的效率也进行了比较。由(2)式进行计算或根据实验测试结果，可得到给定的WPLED的白光亮度经过滤光片后的视在亮度L_T，继而得到面亮度的值。其余计算过程同3.2。设两种WPLED都给出200 cd/m² 的亮度，对每个像素点的性能参数进行计算，结果列于表3中。同3.2的处理方法，为了更客观地对两种白光

实现的全彩显示的效率进行比较, 计算基于器件A的性能参数。

由表3, 用三原色白光实现全彩显示时, 每个像素的流明效率和能量效率分别为0.402 cd/A与0.139 lm/W。对于使用互补色白光的情况, 像素的流明效率和能量效率分别为0.339 cd/A与0.117 lm/W, 低于三原色白光显示的像素效率。因此, 采用互补色白光进行全彩显示的像素效率都要比采用三原色白光的效率低。

表 3. 200 cd/m² 实际亮度下, 三原色白光与互补色白光全彩显示的像素性能

白光光谱	性能参数	红	绿	蓝	完整像素
三原色	视在亮度(cd/m ²)	25	51	3	—
	面亮度(cd/m ²)	8	17	1	26
	流明效率(cd/A)	0.380	0.775	0.052	0.402
	功耗(μ W)	1.998	1.998	1.998	5.994
	能量效率(lm/W)	0.131	0.267	0.018	0.139
互补色	视在亮度(cd/m ²)	12	51	4	—
	面亮度(cd/m ²)	4	17	1.3	22.3
	流明效率(cd/A)	0.189	0.769	0.061	0.339
	功耗(μ W)	1.998	1.998	1.998	5.994
	能量效率(lm/W)	0.065	0.265	0.021	0.117

3.4 讨论

综上所述, 在平板显示中, 对于利用“WPLED+滤光片”来实现全彩显示的方式, 使用三原色组成的白光光谱的效率要大于使用互补色组成的白光光谱。对于平板显示的每个像素, 无论是获得相同亮度的D65白光, 还是在相同的实际亮度下进行显示性能的比较, 使用三原色白光光谱时, 其流明效率、能量效率都要高于使用互补色白光光谱的情形, 而功耗则比后者要低。

从图 4(b)可以看出, 互补色白光的发光经过滤光片后被大大地减弱, 尤其是对于使用绿色与红色滤光片时的情况。这是因为白光光谱中的黄色发光峰位于绿色与红色滤光片透射光谱峰值的中间地带, 因此大部分的发光被滤光片过滤掉了。由表 2 中像素的实际亮度的对比也可以看出, 为了复合得到相同的 D65 白光, 所需要的互补色白光 WPLED 的每个像素的实际发光亮度的总值为 5574 cd/m², 而所需的三原色白光的 WPLED 的每个像素的实际发光亮度总值为 4964 cd/m², 前者的每个像素比三原色白光器件的实际发光

亮度要高 12%, 因此势必造成更多的能量消耗与更低的效率。

因此在利用“WPLED+滤光片”的方式来实现全彩显示时, 选择三原色光谱的白光能更有效地提高显示器的效率。要进一步提高显示的效率, 除了改进白光聚合物电致发光器件的发光效率以外, 为了使尽可能多的能量透过滤光片, 光谱的发光峰与滤光片的透射光谱之间的匹配也非常重要。

4 总结

通过结合实验测试与理论计算的方法, 对采用 PLED 利用“WPLED+滤光片”的方法实现全彩平板显示进行了性能分析。分别对以三原色白光和互补色白光为光谱的 WPLED 进行显示得到的像素的性能进行比较, 发现以三原色白光为光谱的 WPLED 进行显示比采用互补色白光光谱的 WPLED 进行显示的效率更高。

致谢

感谢华南理工大学高分子光电材料与器件研究所提供的帮助!

References (参考文献)

- [1] J. Wang, G. Yu, Performance simulation of active-matrix OLED displays [J]. Proc. SPIE, 2005, 5632: 2-44.
- [2] K. Mitsuhiro, H. Koji, A. Reo, et al. Advanced AM-OLED display based on white emitter with microcavity structure [J]. SID'04 Digest, 2004, 35: 1017-1019.
- [3] G.Y. Ying, Y. Tu, B.Q. Wan, et al. Technical manual of flat panel display application [M]. Bei Jing: Electronic Industry Press, 2007: 383-455.
应根裕, 屠彦, 万博泉, 等. 平板显示应用技术手册 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007: 383-455.
- [4] D. Gupta, M. Katiyar, Deepak. Various approaches to white organic light emitting diodes and their recent advancements [J]. Opt. Mater., 2006, 28: 295-301.
- [5] Y.H. Xu, J.B. Peng, J.X. Jiang, et al. Efficient white- light- emitting diodes based on polymer codoped with two phosphorescent dyes [J]. Appl. Phys. Lett., 2005, 87: 193502.
- [6] G.-K. Ho, H.-F. Meng, S.-C. Lin, et al. Efficient white light emission in conjugated polymer homojunctions [J]. Appl. Phys. Lett., 2004, 85: 4576-4578.
- [7] L. Wang, B. Liang, F. Huang, et al. Utilization of water/alcohol-soluble polyelectrolyte as an electron injection layer for fabrication of high-efficiency multilayer saturated red-phosphorescence polymer light-emitting diodes by solution processing[J]. Appl. Phys. Lett., 2006, 89: 151115.
- [8] J. Liu, C. Min, Q., Zhou et al. Blue light-emitting polymer with polyfluorene as the host and highly fluorescent 4-dimethyl-amino-1, 8-naphthalimide as the dopant in the sidechain [J]. Appl. Phys. Lett., 2006, 88: 083505.
- [9] C Poynton. Digital Video and HDTV [M]. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2003.
- [10] R. W. G. Hunt, Measuring Colour [M]. New York: Ellis Horwood, 1992, 2nd ed.