

全固态三基色激光大屏幕投影显示实验*

姚爱云 侯玮 林学春 毕勇 张杰 李瑞宁 崔大复 许祖彦†

(中国科学院物理研究所光物理实验室 北京 100080)

章萍 樊仲维 刘伟奇 邢廷文 曹建林

(中国科学院光电集团 北京 100080)

摘要 三基色激光显示具有亮度高、色彩鲜艳、清晰度高、功耗低等优点. 文章介绍了激光显示原理, 并报道了用全固态非线性频率转换技术获得波长分别为 671nm, 532nm 和 473nm 的红绿蓝三基色激光. 在国内首次实现全固态激光全色投影显示实验, 同时提出了今后全固态激光显示的发展方向.

关键词 激光显示, 三基色

The projection display experiment in large screen by three primary colors from all solid state laser

YAO Ai-Yun HOU Wei LIN Xue-Chun BI Yong ZHANG Jie LI Rui-Ning CUI Da-Fu XU Zu-Yan†

(Laboratory of Optical Physics, Institute of Physics & Center for Condensed Matter Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

ZHANG Ping FAN Zhong-Wei LIU Wei-Qi XING Ting-Wen CAO Jian-Lin

(Optoelectrical Corporation of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract High brightness, bright hue, high sharpness and low power loss etc are the merits of the three primary lasers from all solid-state laser. Here we introduce the laser projection principle, and the red, green, blue three primary lasers at the wavelength of 671nm, 532nm, 473nm using all solid state nonlinear frequency transferring. We first realized the projection display in large screen by the three primary lasers from all solid state laser in home-area, and presented the developing direction of all solid state laser projection.

Key words laser projection, three primary colors

1 引言

显示技术将信息以视觉的形式传达给人类的媒体, 在为人类传播信息的同时, 还带给了人类视觉上的享受. 显示技术的发展主要经历了两个阶段: 首先是 20 世纪初阴极射线管(CRT)的出现带来了第一次显示器革命, 这是与当时的物质媒体时代对应的; 平面显示(FPD)带来了第二次显示器革命, 它包括平板型显示和投影式显示. 平板型显示主要有液晶显示(LCD)、彩色等离子体显示(PDP)、真空微电子显示(FED)、发光管阵列(LED)等. 平板型显示主要用于悬挂电视, 大屏幕壁. 投影式显示包括投影CRT、投影LCD等, 激光投影技术(LDT)也在不断

研发之中. 投影型主要用于家庭影院、数码影院、超大屏幕投影、公众信息大屏幕等. 依此类推, 将会出现新的人机界面技术, 以适应并促进信息社会的变革. 与信息时代对应, 显示技术的发展方向应为“高图像品质”、“高现场感”和“可携带”. 投影技术也在不断的进步之中, 过去一直以扫描式为主, 20 世纪 80 年代后半期开始出现了液晶光阀(LCD)调制的小型液晶投影机. 液晶投影机的投影方式有正投型和背投型^[1]两种.

与显示和投影技术对应, 光源也在不断地发展.

* 中国科学院知识创新工程(批准号 KJ CX1-05)资助项目

2003-04-03 收到初稿 2003-08-19 修回

† 通讯联系人. E-mail: zyxu@aphy. iphy. ac. cn

传统的显示是用灯或者气体激光作光源,实现扫描式投影显示.随着半导体激光技术的不断发展,使得价格便宜的全固态红光、蓝光和绿光激光器相继出现,激光显示大规模产业化成为可能.与传统的灯光投影显示相比较,激光显示具有线宽窄、色纯度高、色饱和度好、亮度高、对比度高以及空间分辨率高等优点^[2],因而受到了人们的高度重视.20世纪90年代末,基于各种不同过程的三基色全固态光源已纷纷面世.美国 Q-peak 公司研制的用 523.5 nm 绿光抽运的光参量振荡(OPO)器,并进行频率变换,可同时输出红绿蓝三基色激光^[3].德国 Kaiserslautern 大学 Nebel 等利用高光束质量 1064 nm 激光抽运的 OPO 并进行频率变换,获得了红绿蓝三基色激光光源^[4].类似地,德国的 JENOPTIK Laser, OptikSysteme GmbH 公司研制出了三基色激光并用于激光投影显示^[5].在国内,我们在研发成功全固态三基色激光器的基础上,率先实现了激光三基色大屏幕投影显示.

2 显示的色度学原理及激光显示的优势

图 1 为国际照明委员会(CIE)1931年发布的色度图.根据刺激值与色品坐标的关系,直接用光谱三刺激值求得光谱色在 xy 坐标系中的各坐标值,将光谱色的坐标点连成马蹄形曲线,即 CIE 曲线. x 为红原色, y 为绿原色, z 为蓝原色($x+y+z=1$),它们都落在光谱轨迹的外面,在光谱轨迹外面的所有颜色都是物理上不能实现的.光谱轨迹曲线以及连接光谱两端点的直线所构成的马蹄形内包括了一切物理上能实现的颜色.所有单色光都位于光谱轨迹线上,其饱和度为 100%.连接轨迹线两端的直线并非轨迹线的一部分,其上的点不代表某种单色,而是代表由红蓝两色按不同比例混合而成的混合色.在蹄形区内,任取三点对应的彩色作为基色,则由这三基色混合而成的所有彩色都包含在以这三点为顶点的三角形内.可见,此三角形面积越大,就意味着能够表示更多的颜色,即其彩色再现的能力更强.为了得到色彩丰富的画面,选择红、绿、蓝三色作为三基色光源,并希望它们越接近光谱轨迹越好,这样可以复现更多饱和度高的色彩.当前激光显示的光源主要是全固态红、绿、蓝激光器.由图 1 可以看出,激光所显示的色域在色度三角形中更大,大约是传统电视显示所能显示色域的 2.3 倍.并且,激光的光谱线为线谱,因此,激光显示的色纯度最高,色饱和度最高.图 2 和图 3 分别为激光的线谱和荧光粉的光

谱线谱.三基色激光投影显示的光源需要满足下面条件(1)功率满足一定比例(2)实现空间匹配,即三束光的传播方向相同,光束直径大小相同,光束发散角相同.

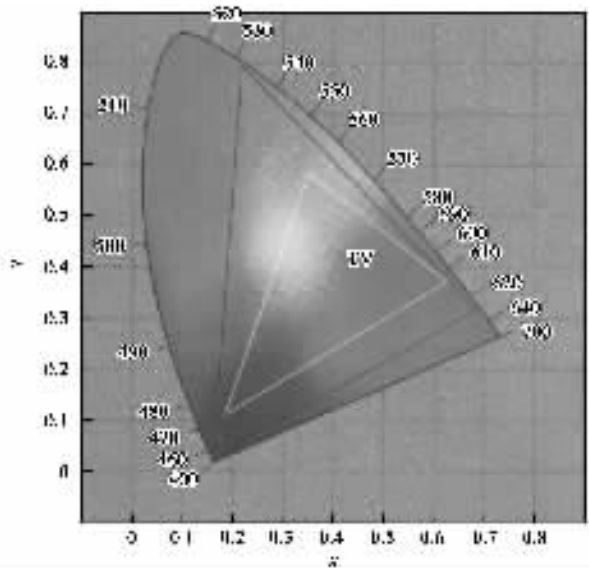


图 1 CIE 色度图

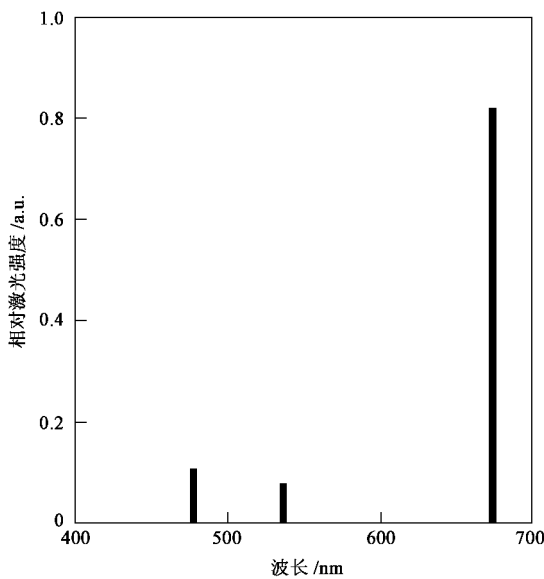


图 2 激光光谱线

本实验的三基色 DPL 光源用三谱线法产生的红绿蓝三基色激光.用半导体二极管激光器(LD)产生的 808 nm 的激光抽运激光晶体 Nd:YVO₄,产生 1342 nm 的基频光,经过非线性晶体 LiB₃O₅(LBO) II 类非临界相位匹配进行倍频,产生波长为 671 nm 的红光,温度保持在 $T=40^{\circ}\text{C}$.蓝光激光器的激光晶体是 Nd:YAG,倍频晶体是 LBO(角度切割为 $\theta =$

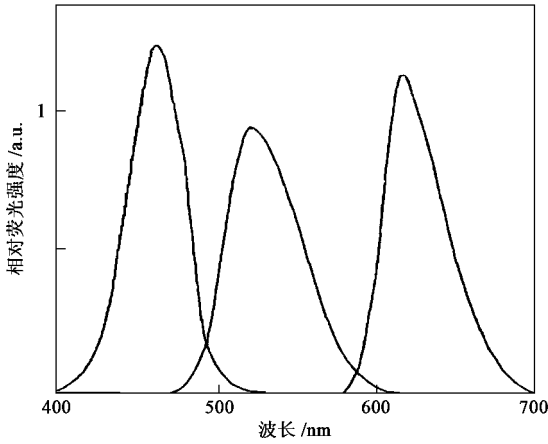


图3 荧光粉光谱线

90° $\varphi = 19.3^\circ$), 用 808 nm LD 抽运 Nd:YAG, 产生 946 nm 的基频光, 经过 LBO 进行临界相位匹配倍频, 产生 473 nm 的蓝光. 532 nm 绿光激光器由 808 nm LD 抽运 Nd:YVO₄, 产生 1064 nm 的基频光, 再经过非线性晶体 KT_iOPO₄ (KTP χ 角度切割为 $\theta = 90^\circ, \varphi = 26.3^\circ$) 进行倍频产生. 根据色度学原理, 我们计算了激光显示中利用波段为 671nm 红光 532nm 绿光 473nm 蓝光的三基色时所用的功率比. 我们采用的是 D₆₅ 白色坐标. 由参考文献 [7] 可知, D₆₅ 的白色域是无色透明的, 它的颜色温度是 6500K, 对应的色品为 (0.3137, 0.3290)_{CIE1931}, 从 (x_w, y_w) 的值, 我们计算出 1000 lm D₆₅ 白光的三刺激值为

$$\begin{aligned} X &= \left(\frac{x_w}{y_w}\right) \cdot L & X &= 953 \\ Y &= L & Y &= 1000 \\ Z &= \left(\frac{1 - y_w - x_w}{y_w}\right) \cdot L & Z &= 1086 \end{aligned}$$

根据 CIE 1931 年颜色匹配函数, 在 671 nm 红光, 532 nm 绿光和 473 nm 蓝光的色度坐标分别为 (0.081901, 0.029963, 0), (0.18914, 0.884962, 0.036936) 及 (0.162688, 0.103367, 1.138761). 三基色混合需要的流明数为

$L_r = 242 \text{ lm}, L_g = 662 \text{ lm}, L_b = 96 \text{ lm}$, 可得到在 671nm 红光 532nm 绿光 473nm 蓝光作三基色的条件下, 所需的光照度比为 8.01873:0.749753:0.931106, 从而得到所需的功率配比为 0.826702:0.07773002:0.099558.

3 实验装置

全固态激光器(DPL)大屏幕显示包括三基色

DPL 光源系统、投影系统、显示屏幕三个部分. 激光单元产生三基色光源, 在光路中匹配合成白光, 经过光束整形、匀场之后进入投影仪. 视频信号被传输到投影仪并被转换成红绿蓝三色调制的光信号. 液晶投影显示仪识别传输过来的视频信号, 并进行信息存储, 然后合成信号颜色, 投影在大屏幕上, 实现大屏幕投影显示^[6].

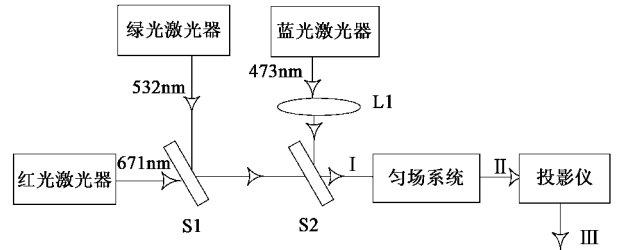


图4 实验光路
(S1, S2 为反射镜, L1 为准直透镜)

为了达到匹配条件, 我们利用的是如图 4 的光路. 红光激光器发出的红光由于光斑半径大, 在它的出口处放了缩束系统对红光进行缩束. 蓝光激光器由于发出的蓝光少许发散, 我们在它的出口处放了透镜 L1 进行准直, 准直后的蓝光和缩束后的红光与绿光光斑半径几乎相同. S1 反射绿光, S2 反射蓝光, 使它们的传播方向与红光的相同. 它们的功率可以通过分别调节各自抽运电流的大小来调节, 在 I 处匹配成白光. 合成的白光通过匀场系统进入液晶投影仪, 在投影仪的入口处通过一分色镜被分离成红 (R)、绿 (G)、蓝 (B) 三原色, 并投射到液晶屏上. 在液晶屏上, 入射光经视频信号调制后形成相应的三色图像, 再经三色合成, 最后通过投影放大镜投射到投影屏幕上. 图 5 为匀场部分光路及前投型液晶投影机的结构图. 由于光源在垂直于传播方向上的光强分布不均匀, 用复眼阵列透镜将其匀场, 使其在垂直于传播方向的截面上分布均匀, 经匀场后的光经起偏器起偏, 会聚透镜会聚后由反射镜反射进入液晶投影机. 液晶投影机由三块液晶面板, 将光源光分为三基色的二色镜、合成投影光的二色棱镜、可变焦距的变焦距透镜等组成的. 被二色镜分离的 R, G, B 光分别入射到三个液晶光阀, 输出光被二色棱镜合成投影.

4 实验结果及讨论

首先, 我们获得了适当功率配比的红光、绿光和

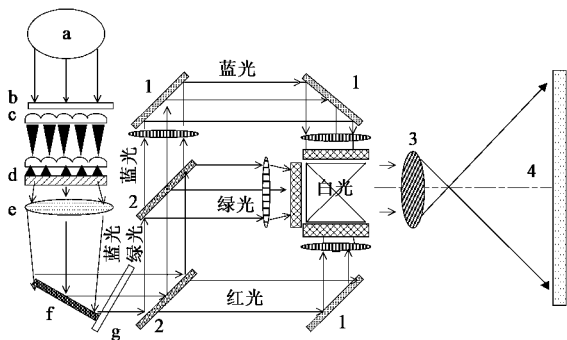


图5 正投型液晶投影机的结构

1 为反射镜 2 为二向色镜 3 为投影透镜 4 为屏幕 a 为光源；
b 为复眼阵列透镜 c 为起偏器 d 为会聚透镜 e 为反射镜

蓝光,并匹配合成了白光.如图6所示.将白光经过匀场系统后,照射到投影仪的光阀上,则实现了前投式大屏幕激光投影显示,屏幕的尺寸为52寸.在损失一定的情况下,屏幕上图像的亮度与光源的输出功率有关.

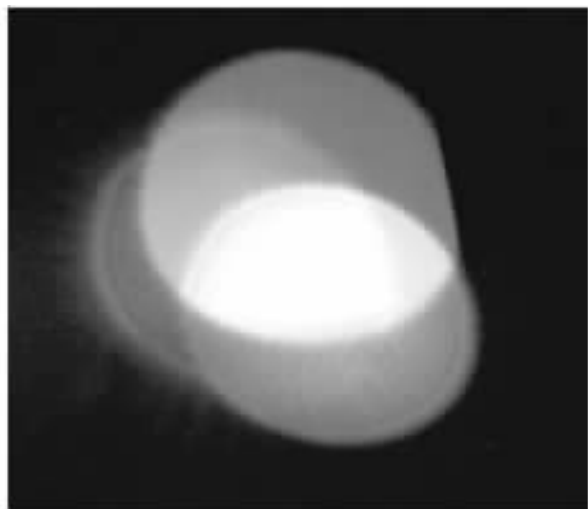


图6 三基色合成的白光

实验演示的是动态的视频图像.现场演示的画面色彩饱满艳丽,对比度高.显示的画面分辨率为 1024×768 ,与笔记本电脑分辨率为 1024×768 、32位真彩色的相比,激光显示颜色逼真,色彩艳丽,清晰度更高.颜色逼真艳丽是由于激光的线宽窄,颜色饱和度高,清晰度高是由调制带宽宽,像素面积小决定的.同时前投式显示的很多优良品质也表现出来,画面分辨率、亮度、色再现性都比传统显示性能好,还有画面对比度高、很强的临场感、动人感及画面尺寸调整方便等.屏幕上图像的亮度与全固态激光光源的功率大小有关,在损耗一定的前提下,激光光源的功率越大,屏幕上图像的亮度越高.同时,激光显

示中存在的相干性的问题也有所体现,由于激光线宽窄,相干性在所难免,但是我们可以采取措施将其降低到不影响图像对眼睛的视觉效果.

我们在国内首次实现了大屏幕激光投影显示.激光显示的画面较真,色彩艳丽,清晰度高.

目前,全世界都在开发全固态激光显示技术,除了美国和德国以外,日本 Sony 公司和韩国三星公司等也都在从事这方面的研究,2002 年 Sony 公司进行了扫描式全色演示,获得了很好的展示效果,并计划两年后推出 10 万台试销.同年三星公司进行了扫描式全色显示的实验,但效果尚不如本实验中的演示效果.我国发展激光显示产业有独到的优势,在晶体材料方面,主要是激光晶体和非线性晶体,晶体生长和发明是我国的强项,处于国际领先地位,有些晶体能廉价供应国际市场. LD 材料和模块方面,正在进行产业化技术的攻关,目标之一就是提高寿命,降低价格.在全固态激光光源方面,国内如中国科学院,目前已发展到国际先进水平.光学系统方面,我国有很好的基础技术.最困难的光调制器如 LCD, LCOS, DMD 等国内均无生产基础,设想可通过引进或合作研究开发解决.

平板显示将成为本世纪显示业的主流,而激光显示在平板显示技术中有可能竞争得高端市场,我国完全有可能进行自主产业开发.在激烈的竞争中,我们凝聚我院综合优势,促进激光显示的产业化进程,抓住激光显示产业化的机遇,争取创立在激光显示市场占一席之地的激光产业,提出并推动建立国际激光显示标准,使得我国的激光显示在国际竞争中立于不败之地.

参 考 文 献

- [1] 刘永智,杨开愚等.液晶显示技术.成都:电子科技大学出版社,2000 [Liu Y Z, Yang K Y et al. Liquid Crystal Display Technology. Chengdu: Publishing Company of Electric and Science University, 2000 (in Chinese)]
- [2] Eric J. Lerner. Laser Focus World, 2002, 5 : 91
- [3] Snell K J. (Q-peak INC), Lee Icky, Pati Habana et al. SPIE, 2000, 3954 : 158
- [4] Nebel A, Ruffing B, Wallenstein R. In: Conference Proceedings-Lasers and Electro - Optics Society Annual Meeting - LEOS. IEEE, 1998, 1 : 395
- [5] Hollemann G, Bernd B, Dorsch F et al. SPIE, 2000, 3954 : 140
- [6] Deter C, Kraenert J. SPIE, 2000, 3954 : 175