

# 激光显示技术的研究现状及进展

秦宪超, 杨云帆, 赵志斌, 徐东昕, 李再金\*, 曾丽娜, 李林, 乔忠良, 曲轶, 刘国军

海南师范大学, 物理与电子工程学院, 海南 海口

Email: [lizaijin@126.com](mailto:lizaijin@126.com)

收稿日期: 2020年8月24日; 录用日期: 2020年9月4日; 发布日期: 2020年9月11日

## 摘要

本文主要介绍了显示技术的发展到国内外激光显示研究现状及进展。自显示技术发展以来, 经历了一系列的更新换代, 传统显示技术在高清晰视频图像方面已经相当成熟, 但是在颜色的高还原问题上却还处于初步研发阶段, 没有取得显著进展。随着激光器的出现, 显示用光源突破了原有光源的局限性。大色域覆盖率的激光显示的优越性, 掀起了显示技术更新换代的热潮。近年激光显示产品, 逐渐占据了一定的显示产品的市场份额。促进了显示技术的革命, 国内外都加紧制定了激光显示发展战略。用激光取代原有光源的激光显示技术, 继黑白、彩色和数字这三种显示技术之后的第四代“继承者”。它具有其独特的优点: 色域覆盖的范围更广、使用寿命更长、环保、低功耗。其将给显示行业带来发展机遇, 甚至是未来一段时间内主流的显示技术。当激光显示与全息技术结合应用, 便会产生一种兼顾两者优势特点的激光全息技术。激光全息的出现, 再次促进了显示行业的显著发展。

## 关键词

激光显示, 激光全息, 半导体激光

# Research Status and Development of Laser Display Technology

Xianchao Qin, Yunfan Yang, Zhibin Zhao, Dongxin Xu, Zaijin Li\*, Lina Zeng, Lin Li, Zhongliang Qiao, Yi Qu, Guojun Liu

School of Physics and Electronic Engineering, Hainan Normal University, Haikou Hainan

Email: [lizaijin@126.com](mailto:lizaijin@126.com)

Received: Aug. 24<sup>th</sup>, 2020; accepted: Sep. 4<sup>th</sup>, 2020; published: Sep. 11<sup>th</sup>, 2020

\*通讯作者。

文章引用: 秦宪超, 杨云帆, 赵志斌, 徐东昕, 李再金, 曾丽娜, 李林, 乔忠良, 曲轶, 刘国军. 激光显示技术的研究现状及进展[J]. 光电子, 2020, 10(3): 66-74. DOI: [10.12677/oe.2020.103009](https://doi.org/10.12677/oe.2020.103009)

## Abstract

This paper mainly introduces the development of display technology, the research status and progress of laser display at home and abroad. Since the development of display technology, it has experienced a series of updates. The traditional display technology has been quite mature in high-definition video image, but it is still in the initial stage of research and development on the issue of high color restoration, and no significant progress has been made. With the emergence of laser, the light source for display breaks through the limitation of the original light source. The advantages of large color gamut coverage of laser display set off the upsurge of display technology upgrading. In recent years, laser display products gradually occupy a certain market share of display products. It has promoted the revolution of display technology, and the development strategy of laser display has been formulated at home and abroad. Laser display technology, which replaces the original light source with laser, is the fourth generation "successor" of black-and-white, color and digital display technology. It has its unique advantages: wider gamut coverage, longer service life, environmental protection, low power consumption. It will bring development opportunities to the display industry, even the mainstream display technology in the future. When laser display and holographic technology are combined, a laser holographic technology will be produced which takes into account the advantages of both. The appearance of laser holography promotes the development of display industry.

## Keywords

Laser Display, Laser Holography, Semiconductor Laser

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

激光全色显示应用领域广泛, 在未来显示行业会占据一定市场份额。相关机构也提出了在未来几年是激光产业发展的关键时期, 产业值将达到 5000 亿美元。激光显示的瓶颈在于能否有性能优良的光源。而面向激光显示用的蓝光和红光光源已达到实用化水平, 但绿光光源却没有得到明显突破[1] [2]。

激光显示的优越性适用于广泛的领域, 分布在影院屏幕、指挥中心时讯、家庭影院等方面。目前, 激光显示市场主要由激光投影、激光电视两大部分构成。近年来, 我国相关的研发单位在激光投影显示技术上取得了突破性进展, 总体水平与国外相关的研究进度和水平基本同步, 其中在色域覆盖率的研究方面处于国际领先地位[3]。

激光显示具备传统显示的所有先进性能指标, 与现有的 CRT 显示、LCD 和等 PDP 等平板显示相比, 以激光作为显示光源具有更大的色域, 其复现白色和各种颜色的指标是荧光粉的两倍以上, 且激光与传统光源相比是线谱, 色饱和度有明显优势, 能够显示的色域比较宽, 颜色也更鲜艳。此外, 激光强度可以根据实际需求来调控。激光显示用屏幕规格不会受到限制, 从穿戴式显示屏到广场显示屏都能够依据规格大小设计。另外, 激光显示功耗小, 更加节能环保。全球范围的激光显示产业将在未来 10 年内面临着发展的关键时期。激光显示技术将会对显示产业带来革新换代, 成为未来显示行业突破瓶颈的研究方向, 将覆盖手持产品、家用电器、影院放映等各类应用市场[4]。

## 2. 激光显示技术的发展

显示技术的发展经历了黑白显示、彩色显示、数字显示这几个阶段，如图 1 所示，不同的显示时代解决了不同问题，每一个时代都解决了一定的技术障碍。激光显示不仅可以在民用市场占据一定份额，在军用领域也可以发挥独到的用处，各指挥中心的视讯屏幕可以利用激光投影技术的方便快捷快速搭建，实现即时通信[5]。

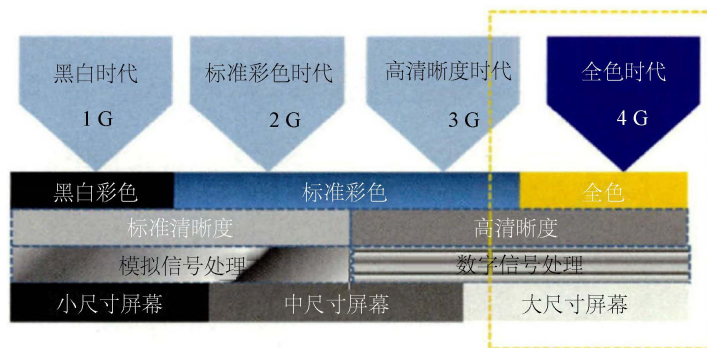


Figure 1. Changes in display technology  
图 1. 显示技术的更迭

激光显示系统组成结构大体可分为激光器、调制器、光偏转器和屏幕几个部分，其基本运行原理如图 2 所示。系统将获取的视频信号中的三色图像信号和帧同步信号分离出来。再利用分离出的信号来调控三色光源发出相应的光强，帧同步信号调控相应结构，可以实现光束扫描，在接收屏上形成图像。三基色激光器的光束质量及其他指标比传统光源更好，也克服了传统光源引起的成像缺陷[6]。

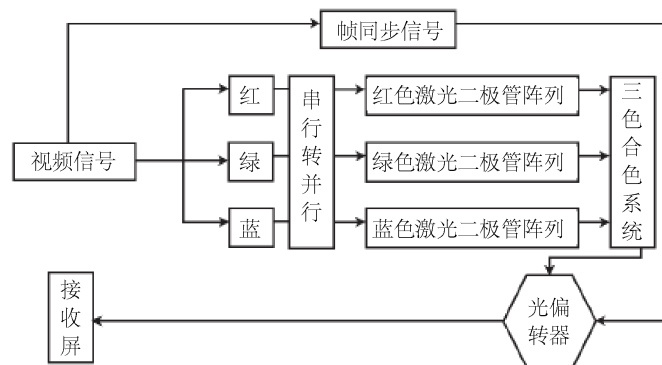


Figure 2. Working principle of laser display system  
图 2. 激光显示系统工作原理

目前应用广泛的显示技术主要有 CRT、LCD、以液晶技术为基础的 3D 显示技术(图 3)、激光显示技术、OLED、电泳显示器、以及目前刚刚开始发展的 microLE 显示技术等，不同的显示技术有其特有的优势，在不同环境中能发挥出最佳性能[7]。

### 2.1. 国内激光显示技术的进展

早在 20 世纪 70 年代，我国科学家许彦祖院士就已经带领团队开始了激光显示技术的攻关工作[8]。我国的激光显示得到了国家的相关政策的大力支持，列入了一系列长期发展规划重点技术。国内的一些

单位也取得了显著的成果，如迪威视讯研发的大屏影院投影机 and 工程投影机已经面向市场，海信、康佳推出的大尺寸激光电视，都显示标志着我国激光显示取得了一定的进步。

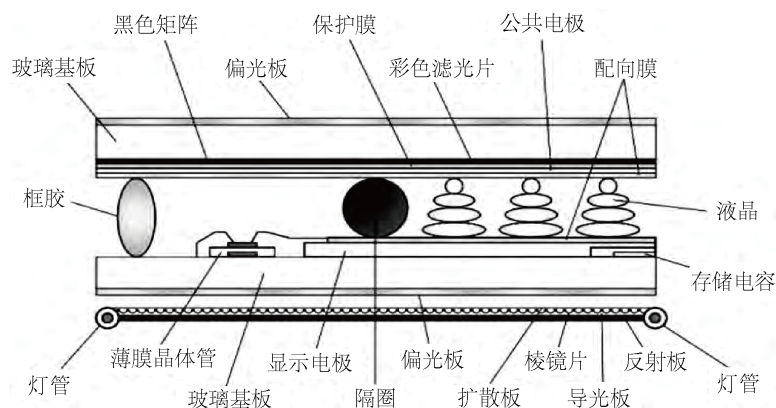


Figure 3. Basic structure of liquid crystal display

图 3. 液晶显示基本结构

### 1) 迪威视讯——全球激光显示创新引领者

在三基色纯激光投影显示方面，在全球范围内，迪威视讯率先研制出激光投影工程机并面市。其与国际上的投影巨头处于同等发展水平，为数不多的通过了 DCI 认证测试的企业。最近迪威视讯又推出了 RGB 纯激光工程一体机，光通量可达到 1200 流明。在屏幕研制上，又推出了 305 cm 全景多触点控屏。迪威视讯在显示行业一直推陈出新，引领着产业的创新。

### 2) 光峰光电——激光荧光技术拥有者

光峰光电在显示行业内拥有很大比重的专利技术，在历次展会上都推出全新的显示产品。其 ALPD 激光荧光显示技术在显示行业内大放光彩，也是我国企业首次在显示技术行业内拥有核心知识产权。

### 3) 视美乐——激光显示普及推动者

视美乐利用 445 nm 蓝光激光器作为光源研发的 SLPLS 技术，在成本、环保、健康、节能等方面相比其他显示技术性价比更高。

2016 年 12 月 21 日，长虹在北京“超剧场”发布拥有全球首创超高效远心激光光机和柔性菲涅尔光学屏幕的 CHIQ 激光影院。长虹激光显示科技公司相关负责人总结到，激光显示技术越来越成熟，各方面综合比较，有着低功耗、环保健康、快捷方便等优势。大型场合需要的大屏幕显示可以利用激光显示快速布置，效率更高。激光特有的优点可以实现全息三维空间成像。由于激光显示原理是属于反射式，其反射光具有自然柔和的特点，也是目前最健康的一种显示方式。长虹推出的全新的激光影院，结合了显示技术的诸多优点，将会加速推进家庭影更节能、更绿色环保[9]。

2006 年，中国科学院光电研究院联合民营资本创建了北京中视光电技术有限公司。并由相关研究单位的多名技术专家担任战略顾问。该公司主张自主创新的道路，在国内率先开发出小型、高效、高稳定性和长寿命的激光器产品，凭借技术优势研发出了激光显示产品并提供全套的解决方案[10]。

2008 年 7 月 17 日，全球第一家激光影院在北京向观众开放，一度首次启用了激光光源数字电影放映设备，合成的白色激光输出功率达到 101.7 W，亮度输出 12000 流明，其色域覆盖率相比传统显示增加了近 10%，在色饱和度和对比度上也凸显出激光显示的优越性，使用寿命相比传统放映设备提高了 10 倍，长达 10000 h [11]。

2016 年长春光学精密机械研究所张岳、郝丽等人利用固态激光器为光源制造了大屏幕激光彩色电视。

实验中,利用的光源是三基色(波长分别是 671 nm、532 nm 和 473 nm)全固态激光器,在满足白光平衡条件下,激光器输出功率分别是 2.5 W、0.6 W、5.6 W。该团队首创性提出了瞬间小视场变波前消干涉方法,在不保证光束质量的条件下,抑制散斑效果显著。通过控制扫描转镜的速度,会改善散斑效应[12]。

## 2.2. 国外激光显示技术的进展

1964 年,美国德克萨斯仪器公司,首先报导了研究成功第一台激光显示系统。该系统采用 50 mw 的 He-Ne 激光器的 6328 Å 为光源,光通过 KDP 光调制器,受到普通电视信号的调制。然后进入频率为 15750 Hz 的圆形扫描反射镜,反射光借助于纤维光学扫描变换器,转换成水平方式扫描,再进入频率为 60 Hz 的电流计驱动反射镜,进行垂直方向的帧扫描,最后经过投影透镜投射到屏幕上成像[13]。

2007 年元月,在 CES 上,索尼公司和 Novalux 公司都创新性的展示出了各自最新激光显示产品。包括利用投影式激光显示技术的数台激光显示试验样机,也包括了 139.7 cm (55")激光背投电视和小型、袖珍式前投影机以及激光数码影院等[14]。

国际上大力着手研究激光显示技术的厂家主要集中在美国、德国、日本以及韩国,美国的 Novalux 和德国的欧司朗公司主要研究高质素的半导体和其他材料的激光光源,主要为 DLP、LCoS 等背投式平板电视以及投影机提供光源。而在激光电视的设计和制造方面主要有 LDT 公司(德国)、MITSUBISHI (日本)、SONY (日本)、SAMSUNG (韩国)等等。日本的 MITSUBISHI (三菱)已准备在今年的第三季度推出“LaserVue”系列的激光电视,能够表现广色域的颜色、支持 X.V.YCC 色域空间,预示着激光电视开始走进消费市场[15]。

当下全球范围内激光电视正处于产业大变革的发展黄金时期,攻克产业化技术障碍已是各研发单位的首要任务。日本、美国、韩国相关企业的企业在液晶显示和等离子显示领域现在已经率先取得技术和市场地位,未来发展方向定位于“激光显示技术”[16]。

韩国的家电巨头三星电子也宣称将会在未来 3~5 年内将激光显示全面推向市场。三星正在研发的 Spatial Optical Modulator 技术通过电动控制光束的开和关来产生图像。利用 SOD 中微小的带子上下弯曲来反射光线实现光阀的开关作用。线阵分布的 SOD 器件形成图像一维灰度,通过扫描镜进行快速面扫描,形成二维图像,然后通过镜头将图像投射到屏幕上产生图像。

## 3. 激光显示相关技术

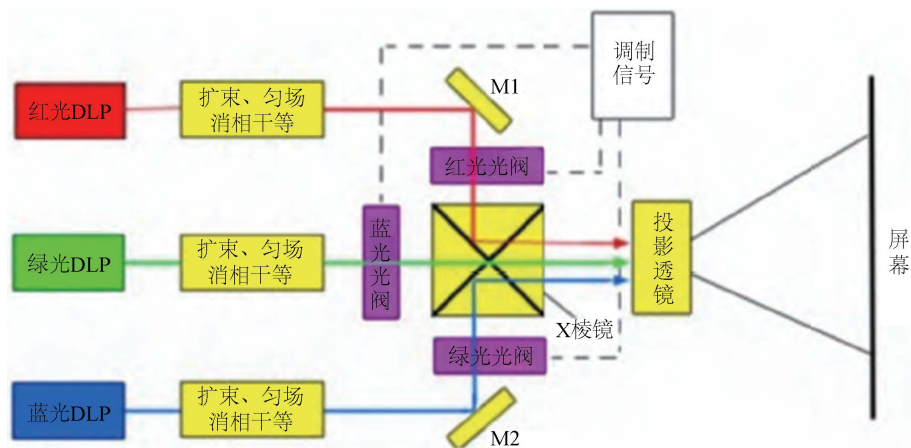
激光显示是使用三基色单色激光器进行显示成像,光路图如图 4 所示。当扫描速度符合人眼“视觉残留”的要求即大于所成像的临界闪烁频率(50 Hz),人眼就可以清晰的观察。再现技术性能上,激光显示远远超过液晶和等离子体,可以达到 92%。目前,三基色纯激光、荧光粉+蓝光、LED + 激光是当前显示行业发展的比较好的激光显示技术,都有着独特的优势,综合来看的话,三基色纯激光的优势相对更显著些。

### 3.1. 全息技术

全息技术是利用光的干涉记录物体光波信息和衍射原理再现物体全息图的技术[17],其原理如图 5 所示。第一步是拍摄过程,利用光的干涉,通过干涉条纹的反差和间隔来反映出物体的全部信息。底片上的干涉条纹又经过相关技术处理后,便得到一张全息图。第二步是成像过程,利用光的衍射将干涉记录的物体光波再现。全息图立体感强,视觉效果比普通的要好的多。全息图最重要的一个特点是它每部分都可以再现物体的全部图像,同一张底片可以没限制单次记录不同的图像。

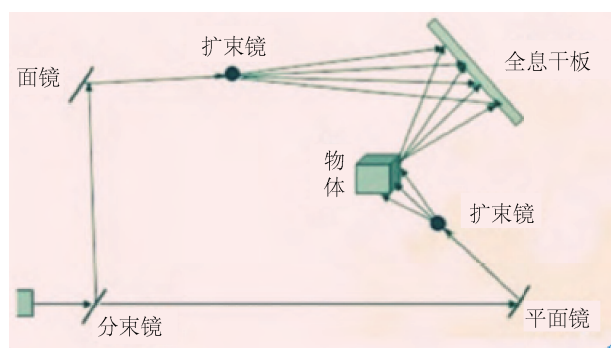
激光全息立体显示技术是在激光显示的基础上再现人眼在自然界中接收的光波信息,给人一种立体视觉效应,产生一种现实世界的显示环境,在显示行业内被认为是最具开发潜力的显示技术[18]。





**Figure 4.** Schematic diagram of imaging optical path of pure laser display with three primary colors

**图 4.** 三基色纯激光显示成像光路示意图

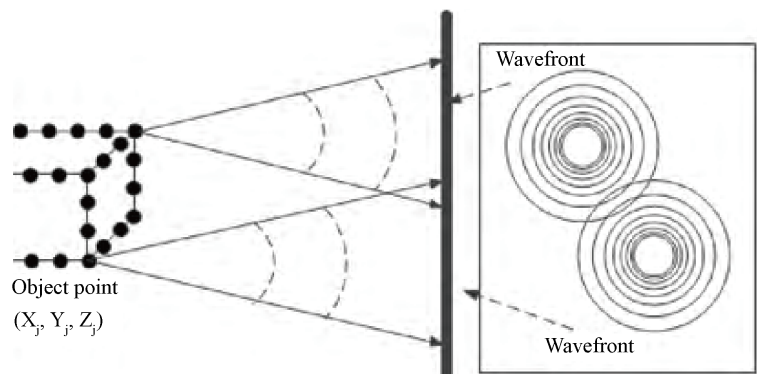


**Figure 5.** Principle diagram of holography

**图 5.** 全息技术原理图

### 3.2. 动态激光全息显示技术

动态激光全息显示技术主要分为三步，第一步由物体的立体信息计算出全息图，如图 6 所示；第二步则是将全息图光学再现过程，如图 7 所示；第三步是将全息图制成视频实现动态显示。在整个过程中，计算全息图是最复杂的一步。



**Figure 6.** Hologram calculation process

**图 6.** 全息图计算过程

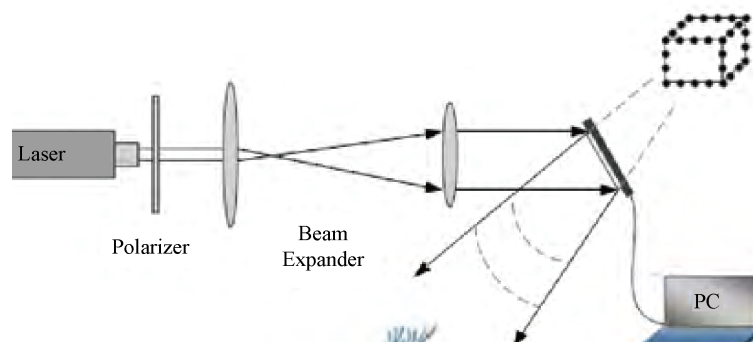


Figure 7. Optical reproduction process

图 7. 光学再现过程

#### 4. 显示用激光器

激光显示的光源历经气体激光器和固态激光器后，又迎来了半导体激光器时代。进入 21 世纪后，半导体激光器的全面发展，各性能提高后，作为激光显示的光源则更具竞争力。中科院许祖彦院士总结了半导体激光器作为显示光源的优势。半导体激光器可直接由电流激励，比固态激光器的效率更高；工作物质衰减较慢，使用寿命更长；适合高度集成，光源系统的体积更小。激光显示所需的功率计算是由屏幕亮度与激光光源的光视效能比值得到的，其中屏幕亮度是由环境亮度与屏幕面积的乘积再与屏幕的对比度的比值得到。简单来说，A4 纸大小的屏幕，为保证正常的投影需要，若光源是红光半导体激光器，则需要的输出功率约为 50 mW；大小为 40 英寸的屏幕，所需的输出功率则至少要达到 500 mW；而对于大规格屏幕，光通量在 1000 流明以上的，对输出功率要求更高，功率需要达到 25 W 以上[19]。

半导体激光器在光束调制和体积上具有很大优势。三基色半导体激光器发展并不平衡，红光和蓝光发展的相当成熟，但绿光在功率、寿命、效率指标上提升很慢[20]，红光和蓝光的波长调制也受到限制。现在掺镨氟化物光纤激光器的特有性能越来越被众多相关科研单位关注，它拥有宽带可调谐特性，可以提高色域范围，从而增强激光显示系统的色彩表现力[21]。

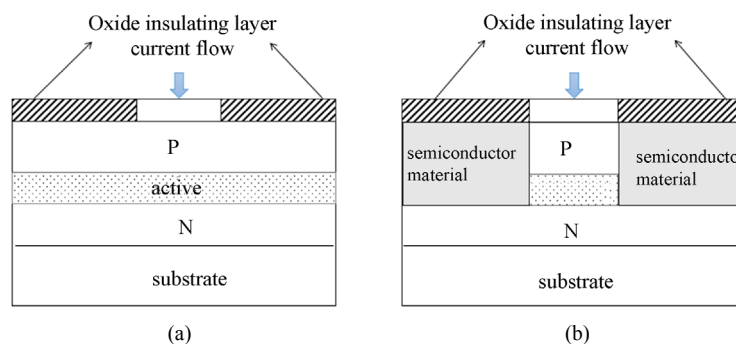
激光显示系统选择波长一般根据两个依据：一方面，依据人眼对波长的响应度来选择人眼敏感的波长，进而获得较高的光视效能；另一方面，所选波长能够扩大色域的覆盖范围，获得更好的色彩体验。实验发现，当选取的光源是 620 nm 的红光时，光视效能为 0.33 lm/W，此时的色域可达 161%；当选取的光源是 650 nm 的红光时，色域高达 211%，但光视效能则降为 0.141 lm/W [22]。

激光显示对于光源光束质量的要求主要取决于所使用的激光显示技术。在当前应用最多的激光线扫描、激光点扫描和激光投影中，激光线扫描体积和效率介于激光投影和点扫描之间，该技术主要应用在微投影领域[23]；激光点扫描效率较高、体积小，整个系统的成本较低，但是对光源的光束质量和调制系统的要求较高，亮度低，只能适合于小尺寸(小于 A4 纸)的显示应用[24]。激光投影技术相对其他显示技术对光源的光束质量要求不高，在保证人眼安全范围内的前提下能够允许的光通量较大，可以适合于大部分显示领域。

为了获得较大的功率，红光半导体激光器普遍采用宽条形结构，同时增大条形区域的宽度(一般为几十到几百微米)，通常把这类激光器称为宽条形激光器。根据光场的限制模式，可以把宽条形激光器分为增益导引结构和折射率导引结构，如图 8 所示[25]。

在增益导引结构中，通过质子轰击的方式对电流注入区以外的地方进行绝缘处理，只有电流注入区内可以产生光学增益，但是该结构对光场的限制较差；折射率导引结构的宽条形激光器不仅对注入电流和载流子的侧向扩散有限制作用，还能够限制光场的侧向渗透[26]。所以折射率导引机制能够有效降低器

件的阈值电流，同时有源区产生的热量能够向周围的无源区散失，保持器件的热稳定性。大部分激光器都是采用折射率导引的结构。



**Figure 8.** (a) laser with gain guiding structure and (b) laser with refractive index guiding structure

**图 8.** (a) 增益导引结构的激光器, (b) 折射率导引结构的激光器

2018 年, 山东华光公司报道了 640 nm 红光半导体激光器[24], 有源区使用张应变 GaInP/AlGaInP 量子阱, 其最大输出功率 2.3 W, 激射波长 640 nm。这也是目前我国自主研发的用于激光显示的红光半导体激光器的最好水平。通常把有源区的温升和热功率的比值称为热阻[27], 它是衡量器件性能的重要参数。降低器件的热阻, 减小阈值电流, 提高器件的温度特性已经成为整个激光器领域的重要研究课题。

大功率红光半导体激光器的发散角也会影响其在显示中的应用。因此, 在保证高功率输出的前提下, 还需要对其快轴和慢轴的发散角进行优化。2002 年, 美国 SDL 公司研究人员采用脊型波导结构制备了低发散角的高性能激光器[28]。器件激射波长 635 nm, 单模输出功率 120 mW, 垂直发散角 20°。2004 年, 北京工业大学崔碧峰等人将多个有源区通过隧道级联的方式联结成一个大光腔结构, 使垂直发散角降低到 20°。2009 年, 日本三菱公司报道了应用在小功率激光显示光源的红光半导体激光器。器件采用窄脊型和非吸收窗口结构, 器件在室温下连续输出功率达 100 mW, 激射波长 636 nm, 发散角分别为 8°和 16°。2013 年, 台湾交通大学的研究人员通过增加钝化层的厚度, 将 AlGaInP 激光器的垂直发散角可以降至 13.9° [29]。激光显示系统的光源所占体积应越小越好, 根据不同的环境来设计不同的规格。应用于移动电子设备的投影系统, 它的体积小于 10 cm<sup>3</sup> [30], 对于稍大的便携式式的, 它的投影系统的体积应小于 100 cm<sup>3</sup>。

## 5. 展望

传统显示技术发展比较成熟, 价格也比较低廉, 占据一定的优势。激光显示虽然发展前景广阔, 但是还需要攻克一些技术难关, 并且成本比较高, 在市场普及上会受阻, 亮度也是其受限因素。所以目前市场上 OLED 和液晶显示占主导地位。但激光显示的大色域、高饱和度、低能耗等优点却是传统显示无法替代的。激光显示光源有很大发展空间, 在显示用红光半导体激光器一方面可以通过缩短波长来更好的满足人眼的视觉体验。另一方面可以优化工艺、改善器件性能提高激光器输出功率来满足大屏幕亮度需求。

## 基金项目

项目资助信息: 海南省重大科技计划项目(ZDKJ2019005)、海南省基础与应用基础研究计划(自然科学领域)高层次人才项目(2019RC190, 2019RC192)、海南省自然科学基金(2018CXTD336, 618QN241)、海南省高等学校科学研究项目(Hnky2020-24, Hnky2020ZD-12)、国家自然科学基金项目(61864002,



61964007)和中国工程科技发展战略项目(19-HN-XZ-07)。

## 参考文献

- [1] 王立军. 大功率半导体激光在智能装备制造领域的应用[J]. 广东科技, 2016, 25(17): 20-23.
- [2] 彭秀林, 杨昌盛, 邓华秋, 谭天奕, 关先朝, 赵齐来, 冯洲明, 徐善辉. 蓝绿光单频激光器研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(7): 84-97.
- [3] 赵宏伟. 许祖彦: 激光技术, 人类视觉史上的一场革命[J]. 中国高新技术企业, 2010(17): 70-73.
- [4] 翟强. 激光显示: 下一代的显示技术[J]. 中国科技投资, 2008(1): 54-55.
- [5] 秦德虎. 激光显示与安防[J]. 中国安防, 2015(17): 58-63.
- [6] 屈伟平. 激光显示技术掀起色彩革命[J]. 有线电视技术, 2010, 17(2): 76-78+107.
- [7] 李鹏飞, 徐恩波, 淡美俊. 近代显示技术综述[J]. 电子制作, 2018(14): 77-78.
- [8] 云怡嘉. 毕勇: 领航中国激光显示技术[J]. 中国高新科技, 2018(23): 25-26.
- [9] 长虹发布柔性显示技术 CHiQ 激光影院[J]. 电子世界, 2017(1): 16-17.
- [10] 激光显示技术[J]. 高科技与产业化, 2013(9): 61-64.
- [11] 激光显示技术取得新进展全球首家激光影院在北京揭幕[J]. 光学仪器, 2008(4): 35.
- [12] 张岳, 郝丽, 柳华, 刘伟奇. 激光显示的原理与实现[J]. 光学精密工程, 2006, 14(3): 402-405.
- [13] 许春帆. 激光显示技术的发展概况[J]. 激光与红外, 1979(6): 8-16.
- [14] 激光显示技术在国外的发展[J]. 电子元件与材料, 2008(4): 68.
- [15] Vinci. 颠覆传统视觉感受的激光显示技术[J]. 家庭影院技术, 2008(6): 53.
- [16] 毕勇. 激光全色显示技术[J]. 新材料产业, 2009(4): 61-65.
- [17] 汪百知. 激光显示: 一次革命性的行业洗礼[J]. 高科技与产业化, 2017(1): 74-77.
- [18] Michael, H., Bala, M. and Harold, G. (2003) Dynamic Holographic 3-D Image Projection. *Optics Express*, **11**, 437-445. <https://doi.org/10.1364/OE.11.000437>
- [19] Moench, H. (2008) New Markets and New Light-Sources for Projection. *Proceedings of SPIE*, **6911**, 69110Y. <https://doi.org/10.1117/12.779673>
- [20] Vierheilig, C., Eichler, C., Tautz, S., et al. (2012) Beyond Blue Pico Laser: Development of high Power Blue and Low Power Direct Green. *Proceedings of SPIE*, **8277**, 82770K. <https://doi.org/10.1117/12.917469>
- [21] 石君, 唐明, 付松年, 沈平, 刘德明. 面向激光显示应用的红绿蓝掺镨氟化物光纤激光器研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2012, 49(11): 21-27.
- [22] Buckley, E. (2011) Laser Wavelength Choices for Pico-Projector Applications. *Journal of Display Technology*, **7**, 402-406. <https://doi.org/10.1109/JDT.2011.2125944>
- [23] Jeong, H.M., Park, Y.H. and Lee, J.H. (2008) Slow Scanning Electromagnetic Scanner for Laser Display. *Journal of Microlithography Microfabrication & Microsystems*, **7**, 1589-1604. <https://doi.org/10.1117/12.762549>
- [24] Buckley, E. (2012) Detailed Eye-Safety Analysis of Laser-Based Scanned-Beam Projection Systems. *Journal of Display Technology*, **8**, 166-173. <https://doi.org/10.1109/JDT.2011.2170955>
- [25] 孟雪, 宁永强, 张建伟, 张星, 彭航宇, 秦莉, 王立军. 面向激光显示的红光半导体激光器的研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2019, 56(18): 9-20.
- [26] 王文亮, 曹润秋, 郭少锋, 姜宗福, 许晓军. 增益导引折射率反导引光纤激光器研究进展[J]. 激光与光电子学进展, 2012, 49(4): 31-36.
- [27] Chen, B.C., Chen, K.H., Yu, J.W., Ho, C.Y. and Wen, M.Y. (2017) Analysis of Junction Temperatures for Groups III-V Semiconductor Materials of Light-Emitting Diodes. *Optical and Quantum Electronics*, **49**, Article No. 183. <https://doi.org/10.1007/s11082-017-1015-6>
- [28] Lu, B., Osinski, J.S., Vail, E., et al. (2002) High Power 635nm Low-Divergence Ridge Waveguide Single Mode Lasers. *Electronics Letters*, **34**, 272. <https://doi.org/10.1049/el:19980223>
- [29] Hung, C.T., Huang, S.C. and Lu, T.C. (2013) Optical Mode Modulation of AlGaInP Multi Quantum Well Laser Diodes. *Proceedings of SPIE*, **8816**, 88160L. <https://doi.org/10.1117/12.2024042>
- [30] Freeman, M., Champion, M. and Madhavan, S. (2009) Scanned Laser Pico-Projectors: Seeing the Big Picture (With a Small Device). *Optics and Photonics News*, **20**, 29-34. <https://doi.org/10.1364/OPN.20.5.000028>