

大功率 638 nm 红光激光器助力显示照明市场爆发

于占涛, 谢曳华, 胡海
深圳瑞波光电子有限公司

1. 引言

当前, 新兴显示技术争奇斗艳, OLED、Micro LED、QLED、激光显示 ... 均在争夺下一代显示技术的领头羊。这其中, 激光显示凭借大色域、大屏幕、高分辨率、数字化等特点, 被认为是未来显示技术的有力竞争者。中国工程院院士许祖彦也曾介绍道: “显示产业的发展历程是从标清走向高清, 目前正在走向超高清, 激光显示技术一定能成为下一代显示产业的主流技术。”

1966 年, 美国芝加哥 Zenith 广播公司研究部 Korpel 等^[1]首次提出将激光作为显示光源的想法, 随后各国研究人员纷纷投入到激光显示的研究大潮中。激光显示技术的出现, 也为我国在显示领域的发展提供了新的契机。

激光显示正从蓝光 + 荧光粉的传统技术, 向红绿蓝三基色激光显示迈进, 这在色度学方面是重大突破, 解决了显示技术领域长期以来悬而未决的大色域色彩再现的难题, 能够完美地再现自然色彩。本文主要介绍作为三基色激光显示的核心元件之一的大功率红光 638 nm 激光器的技术进展和应用趋势。

其中红光 LD 属于 GaAs 材料体系, 蓝光和绿光 LD 属于 GaN 材料体系。红光 LD 在激光显示等领域应用, 需要保持稳定的光模式及激光

功率输出, 对激光器的寿命及可靠性要求较高。红光 LD 波长越短, 光效势能越高, 但红光激光器采用 AlGaInP/GaInP 结构, 有源区及限制层的带隙差较小, 因而对注入载流子的限制能力较差, 容易产生泄露电流。这不仅会使半导体激光器的内量子效率降低, 功率转换效率下降, 还会导致器件的特征温度变低, 输出功率对温度的敏感度变高。通过提高 P 限制层掺杂浓度, 有助于抑制电子溢出, 然而高掺时掺杂剂向有源区扩散, 缺陷数量增加, 影响激光器可靠性的同时, 载流子吸收损耗增大; 为满足屏幕显示需求, 需要提高激光器的输出功率, 容易导致激光器发生腔面灾变损伤 (COD); 同时为提升市场竞争力, 要求外延片波长均匀性较好, 对产品一致性提出了更高的要求, 因此研制大功率红光 LD 存在非常大的技术挑战和困难。

2. 国外技术进展

红光半导体激光器具有体积小、寿命长、电光转换效率高等优点, 逐步取代了传统的 He-Ne 气体激光器及红宝石固体激光器, 广泛应用于光盘读写系统、条形码阅读器、准直标线仪、医疗保健设备等领域。同时随着功率和性能不断提升, 逐步应用于激光电视、便携式投影仪、

景观照明等激光显示和照明设备中^[2-4]。

在国际上,虽然欧美等发达国家特别是德国的欧司朗公司以及 Ferdinand-Braun 研究所^[5]、美国 nLight 均有一定的投入,红光 LD 的研发主要集中在日本几大电子公司,包括三菱、USHIO (牛尾,原日立)、夏普、索尼、NEC、松下等。之所以如此,是因为红光 LD 与家用电子技术密切相关,比如早期的小功率红光 LD 主要应用于 VCD 和 DVD,演变至今,目前激光显示和照明用的大功率红光激光器市场也被日系厂商所垄断。

研究表明,大于 600 nm 的红色激光波长越短,光视效能越高;波长越长,则色域覆盖的范围越大^[3]。根据国家电视标准委员会 (NTSC) 的标准,当选用 620 nm 红光时,光视效能为 0.33 lm/W,此时的色域可达 161%;当选用 650 nm 的红光时,色域高达 211%,光视效能则降为 0.141 lm/W^[6]。所以,在实际应用中,

需要综合考虑激光显示应用的场景和光源系统的性能,来选择合适的激光波长。目前,国际上用于激光显示的红光波长通常集中在 630~650 nm,其中 638 nm 红光半导体激光器的综合效能最高。但是波长短功率又高的红光激光器是技术难点。

索尼在 2006 年 7 月举行的“日本东京国际激光产品与光学技术展览会 (InterOpto06)”上展示了 643 nm 波长的高功率半导体激光器^[7],输出功率高达 3 W。其在产品验证阶段已经确认输出功率可提高到 7 W,而此次展品最高输出功率也可达 4 W。

三菱于 2009 年发布用于彩色投影仪的 638 nm 半导体激光器,而后其输出功率也在不断突破,2010 年推出连续工作功率 500 mW 产品,2014 年采用双发光点将连续输出功率提升至 1.8 W,2015 年将发光点个数增加至 3

个,使脉冲输出功率达到 2.5 W (ML562G84 脉冲红色大功率半导体激光器,性能见图 1)。2018 年 12 月发布脉冲输出功率 3.0 W 产品 ML562G86 (2019 年 4 月正式上市),成为当年所报道的 638 nm 波段激光器中功率最高的半导体激光器^[8]。自此以后,三菱再无 638 nm 新品推出。

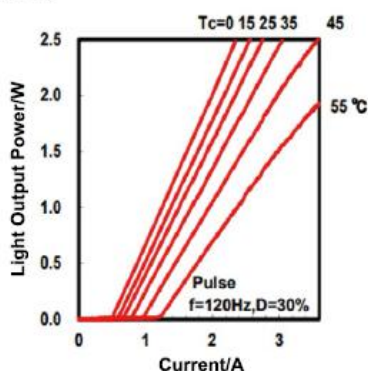


图 1 三菱 2.5 W 638 nm 半导体激光器 (型号 ML562G84) 功率电流曲线 (脉冲)

Oclaro 公司 2014 年推出 638 nm/700 mW 激光二极管^[9],为多横模 AlGaInP 激光器。2014 年 8 月,USHIO 收购 Oclaro 半导体激光和 LED 业务,该激光二极管沿用至今。在 2017 年,USHIO 接连发布两款高功率红光半导体激光器,分别为单发光点 637 nm/1.2 W (CW)/1.5 W (Pulse) 和双发光点 638 nm/2.2 W (CW)/2.8 W (Pulse) 激光二极管。2019 年,USHIO 推出更高功率双发光点激光器,型号为 HL63520HD,其在 25 °C、连续电流 2.4 A 下,可实现 2.4 W 连续工作功率,而在频率 120 Hz、占空比 30%、电流为 3.3 A 的脉冲条件下,脉冲工作功率可达 3.5 W^[10],比三菱 2018 年推出的 3.0 W 脉冲输出激光器高出 17% (见图 2),成为世界上最高功率 638 nm 激光器。自此以后 USHIO 再无 638 nm 新品推出。

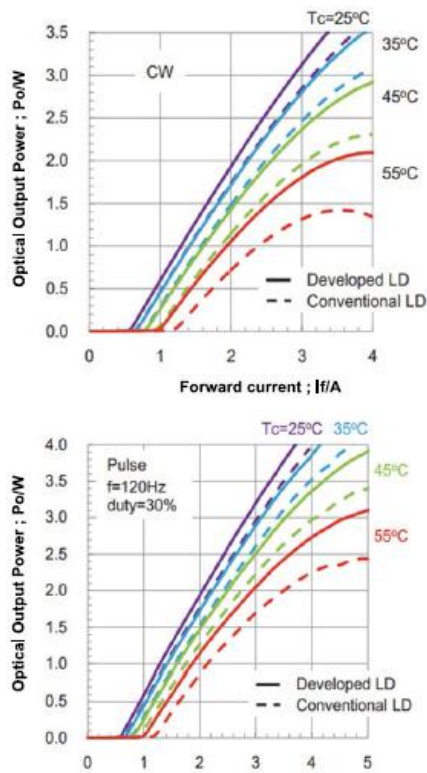


图2 USH10 638 nm 2.4 W (CW)/3.5 W (Pulse)(HL63520HD) 功率电流曲线 (CW 和 Pulse)

3. 国内技术进展

早在 20 世纪 80 年代, 我国便在国家“863”计划中安排了激光全色显示项目, 围绕激光显示技术成立了产业联盟, 旨在进一步推动我国激光显示产业的发展。科技部近几年通过国家重点研发计划集中优势资源, 布局三基色光源等关键元件和整机进行研发, 取得了丰硕的成果。目前中国激光显示专利申请量国际领先, 专利布局也最为全面, 覆盖了光源、控制、光机、整机和光学元件, 初步形成专利池。

在研究方面, 非吸收窗口、腔面钝化、大光腔结构、电流非注入窗口等关键技术, 都可以有

效抑制 COMD 现象, 提高器件的单管输出功率。

2018 年, 山东华光朱振等^[11]将固态扩 Zn 方式替代原有气态扩 Zn 方式, 提升非吸收窗口工艺的稳定性及重复性, 制备出了连续输出功率高达 4.2 W 的 660 nm 半导体激光器。2019 年, 济南大学夏伟等^[12]制备出条宽 100 μm、腔长 1.5 mm 的 640 nm 半导体激光器并对比研究其封装在不同导热系数热沉材料上的性能。在室温 25°C 下, 封装在 AlN 热沉上, 器件的热阻约为 9.1 K/W, 阈值电流为 0.45 A, 最高输出功率可达 2.9 W。当芯片封装在导热系数更高的 SiC 热沉上, 器件的热阻降至 5.6 K/W, 阈值电流减小至 0.42 A, 最高输出功率显著提升至 3.9 W, 增幅 34.5%。

深圳瑞波光电子有限公司作为国内极少数研发生产大功率半导体激光芯片的公司, 从 2016 年开始, 参与和承担了科技部在 2016-2018 年重点研发计划里与红光显示光源相关的全部 6 个课题, 并为 2017 年“高光束质量、低阈值、长寿命、究”重点研发计划的总牵头单位。目前瑞波光电的 638 nm 激光芯片经过多年的刻苦研发, 攻克了量子阱混杂、非吸收窗口和腔面钝化等多项关键技术, 成功导入批量生产和上市。目前已经量产的有 0.5 W、1 W、2.5 W 638 nm 芯片以及 2 W 665 nm 芯片。

其中 1 W 638 nm 芯片采用 110 μm 发光条宽, 腔长 1.5 mm 的尺寸结构 (见图 3), 而 2.5W 638 nm 芯片则采用三个发光点, 每个发光点条宽为 60 μm、腔长 1.5 mm 的尺寸结构 (见

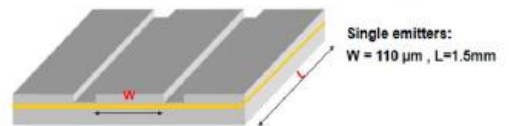


图3 单发光点, 条宽 110 μm 结构

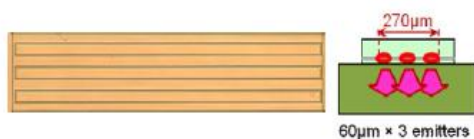


图 4 三发光点，条宽 60 μm×3 结构

图 4)。

瑞波同时也研发出 665 nm 单发光点、40 μm 条宽和 110 μm 条宽结构的红光 LD，因波长较长，665 nm 红光 LD 的光电性能显著优于 640 nm 红光 LD。由于全球大功率红光 LD 市场主要被日系厂商所垄断，代表厂商为三菱、USHIO 和 Sharp，其中三菱产品最为领先，市场份额也是最大。因为三菱没有发光条宽为 110 μm 的芯片，所以瑞波以 500 mW 40 μm 条宽的红光 LD 与三菱近似规格的 50 μm 条宽红光 LD（产品型号 ML501P73，规格为 500 mW）进行对比，见下表，性能比较见图 5。

瑞波与三菱红光芯片性能参数对比表（1.5 mm 腔长，40 μm 条宽）

	指标	日本三菱 产品指标 (ML501P73)	瑞波同类 产品指标 (RB- 638A-40-0.5- 1.5-SE)
红光 LD 器件	特征温度 参数 T_0	65 K	65 K
	中心波长	640 nm (25°C)	640 nm (25°C)
	输出光功 率	690 mW (25°C, I=1A)	720 mW (25°C, I=1A)
	电光转换 效率	31.0% (0.5 W, 25°C)	30.0% (0.5 W, 25°C)
	阈值电流 密度	207 A/cm ² (25°C)	322 A/cm ² (25°C)

从目前双方对比结果看，已经商业化的三菱 500 mW 红光 LD 的 T_0 温度参数与瑞波批量制

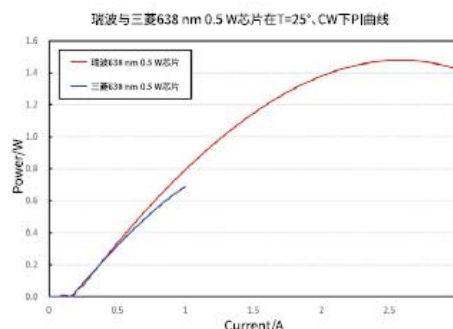


图 5 瑞波与三菱红光芯片在 25°C、CW 下 PI 曲线对比（1.5 mm 腔长，40 μm 条宽）

造的红光 LD 一致，波长也一致，不过瑞波光电的红光 LD 在输出功率略胜一筹，可以说在核心指标方面已经达到世界领先地位。同时，瑞波开发的多发光点 638 nm 芯片、665 nm 芯片，在性能上也填补国内空白，并且达到世界前列。

4. 未来趋势和展望

近 20 年来，激光显示在我国经历了从原理可行、技术可行到产业可行的三个发展阶段。到 2019 年，激光显示上下游产业链企业超过 100 家，年产值超过 150 亿元。

在目前的显示市场上，我国大陆地区液晶面板产量虽已位居全球前列，行业数据显示，仅仅在面板上游的材料产业，包括偏光片、玻璃基板、靶材、光掩模版、光刻胶等产品，国产化率不超过 20%。

已形成产业优势的激光显示领域，国产化率目前在 45%-55% 的区间，发展空间巨大。核心器件和部件的国产化已经全面开展，预计 3 年内国产化比例将提升到 75%-80%。

激光电视是中国电视史上自主研发程度极高的电视产品，在全球显示产业发展史上，这是中国企业一次漂亮的“变道超车”。长期来看，中

国激光电视稳态出货量水平或在 600 万台上下，而如果考虑到激光电视对商用场景与全球市场的渗透，长期发展空间将更为广阔。由于具有更大的技术成长空间和明显的技术路线优势，激光电视吸引了多家巨头悄然进入。

家电巨头海信从 2007 年起布局激光显示。截至 2021 年 6 月 30 日，其在激光显示领域已经申请了 1439 项国内外专利，授权 575 项，为激光显示的升级奠定了坚实的基础。



图 6 海信全色激光电视 L9G 获评 2021 年“激光超短焦产品之王”（最左侧为海信激光电视 L9G，使用 RGB 三色激光光源，达到 3000 流明）来源：搜狐

此外，长虹已完成全渠道、系列化激光显示产品布局。小米、百度、阿里纷纷直接或间接进入激光电视领域；光峰光电 2019 年上市，募集资金 10 亿元致力于激光显示开发；中科极光完成新一轮融资……更多的巨头正在跃跃欲试，潜心研发，希望能在这条新赛道上抢占先机。

另外，今年激光显示在应用边界上又开始渗透到一个更为巨大的细分领域——智能微投市场，降维打击。从体量来看，2021 年全年智能家用投影市场有望突破 400 万台，这将是投影产业高光的细分市场。综合来看，激光投影 / 显示应用对红光激光芯片的要求一般为功率高、可靠性高、一致性好等，一般都采取一定的温控措施，芯片工作温度受控。

除此之外，红光激光器在照明领域（舞台 / 景观 / 汽车（图 7））、医美领域（光动力治疗

PDT（图 8）、生发植发等）均展现出很好的应用商机。其中，激光照明对 638 nm 的要求是耐高温特性好，一般采取风冷方式，所以要求高温工作条件下的功率稳定度高，衰减少，这与投影应用要求有所不同。医美 / 生发的波长一般为 650 nm 和 665 nm，区别显示应用的 638 nm 波长。



图 7 雷诺的 Trezor 概念车采用标志性的 C 形后部照明采用红色激光照明加光纤的方式，创造了一种有趣的视觉效果。来源：Motortrend



图 8 科学家们利用光动力疗法 (PDT)，将药物与红色激光配合使用，对黑色素瘤皮肤癌细胞形成致命的组合式打击。来源：美国国立癌症研究所 (National Cancer Institute, NCI)

在 PDT (Photodynamic Therapy, PDT) 手术中，医生也开始使用激光代替 LED 灯作为光源。激光和 LED 照明设备之间的主要区别在于，与 LED 设备相比，激光照射在皮肤更小、更集中的区域，并向该区域发出更强的光。使用激光的优点是它们可能需要更短的与光敏剂的孵育时间。

4. 结论

激光显示和照明市场蕴藏着庞大商机。国产大功率红光芯片，极大地拉近了中国与世界的差距，并且某些性能指标已经达到国际领先，为中国未来的激光显示、照明以及激光医疗市场的爆发增长提供了坚实的发展基础，除此之外，我们也了解到越来越多的企业计划进入该领域，为国产 RGB 芯片的发展壮大助力。我们也需要认识到，目前国内仍缺乏大功率 RGB 激光芯片封装的经验，例如 TO 封装、多芯片阵列封装等，部分关键原材料如热沉、管座等仍需要进口，这需要业界在未来做更多的努力和进步。



作者简介

于占涛，深圳瑞波光电子有限公司总经理助理；

谢曳华，深圳瑞波光电子有限公司研发工程师；

胡海，深圳瑞波光电子有限公司总经理。

参考文献：

1. A.Korpel, R.Adler, P.Desmares, *et al.* A television display using acoustic deflection and modulation of coherent light [J]. *Applied Optics*, 1966,5(10):1667-1675.
2. 郑凯. 大功率 650 nm 波段 AlGaInP/GaInP 应变量子阱半导体激光器的研究 [D]. 中国科学院半导体研究所, 2006
3. 孟雪, 宁永强, 张建伟, 等. 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): 1-12.
4. H.Hiroki. Progress of aluminum gallium indium phosphide red laser diodes and beyond [J]. *Fiber and Integrated Optics*, 34: 259-281, 2015
5. Bernd Sumpf, Martin Zorn, Ralf Staske, *et al.* 3-W broad area lasers and 12-W bars with conversion efficiencies up to 40% at 650 nm [J]. *IEEE J. Of Select. Quantum Electronics*, 2007,13(5):1188-1192
6. E.Buckley. Laser wavelength choices for pico-projector applications [J]. *Journal of Display Technology*, 2011,7(7):402-406.
7. 科技简讯. 索尼开发出红光激光器用作投影机光源 [J]. *光机电信息*, 2007,(6):64.
8. News release from Mitsubishi Electric Corporation <https://www.mitsubishielectric.com/news/2018/1219.html>
9. Oclaro 公司推出 638 nm/700 mW 激光二极管 [EB/OL]. *激光世界 LaserFocusWorld*/2014-11-14.
10. M.Hagimoto, S.Miyamoto, Y.Kimura, *et al.* USHIO 3.5W red laser diode for projector light source [C]// *Novel In-Plane Semiconductor Lasers XVIII*. 2019.
11. 朱振, 张新, 肖成峰, 等. 高可靠性瓦级 660 nm 半导体激光器研制 [J]. *中国激光*, 2018, 45(5):5.
12. Xia W, Zhu Z, Li X Y, *et al.* Improved Thermal Performance of 640 nm Laser Diode Packaged by SiC Submount [J]. *Journal of Russian Laser Research*, 2019, 40(2):193-196.