

# 激光光源及其应用

航空工业上电 王红 朱锋 朱彦锐 张攀德



激光全称“受激辐射光放大”（LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation），是爱因斯坦于1917年提出的理论。40多年后，美国科学家梅曼于1960年成功研制了世界上第一台激光器，激光技术从此开始飞速发展。此后数十年间，阿瑟·伦纳德、朱棣文、中村修二、阿斯金等多位从事激光技术研究的科学家对全球科技进步做出重要贡献，并先后获得诺贝尔物理学奖。

在距今超过半个世纪的发展过程中，激光技术的身影遍及工业制造、测量传感、国防军事、显示照明以及医疗与生物学等领域。激光科学以其强大的生命力谱写了一部典型的多学科交叉创造发明史，深刻地影响了当代科技和社会的发展及变革，推动了人类文明的进步。

## 激光产业概况

随着科技的发展、时代的进步，激光作为高科技产品快速步入人们的生活当中。基于方向性好、亮度高等优势，激光已获得广泛应用，主要包括激光工业加工、仪器与传感器、激光通信、激光生物医疗、激光投影显示、激光照明、军事等领域。

### 激光应用助推传统行业发展

在工业加工和材料处理领域，激光已是最常用的工具，技术非常成熟，市场占有率最高。在欧美等发达工业国家，目前有50%~70%的汽车零部件是用激光加工（车身板材激光拼焊、白车身顶盖焊接、覆盖件激光三维切割、零部件激光打标）来完成的；而激光清洗技术作为材料处理领域的新技术，与传统机械摩擦清洗、化学腐蚀清洗、高频超声清洗等清洗方法相比，具有更安全、高效率、不产生污染等优点，目前已应用于模具、武器装备、电子工业等工业领域。

在制造领域，作为快速成型技术，3D打印技术被看作第三次工业革命的动力，已经在航空、航天、军工、医疗等高附加值产业中具备了经济效益。金属3D打印作为金属制造业的关键技术，目前主要采用激光光源，因此激光技术和3D打印技术开始更加紧密融合。随着科技发展和交叉学科应用，激光金属3D打印技术具有巨大潜力，甚至变革主流制造业。

在仪器与传感器领域，激光技术成熟度和市场占有率较高。激光传感主要包括激光测距、测速、测振等。根据不同测量原理和光学元件，构成测量核心器件，组成测量系统。近些年随着人工智能的发展，智能驾驶系统逐渐兴起，作为智能汽车的“眼睛”——以激光测量传感器为技术核心的激光雷达正成为国内外激光应用领域的新热点。

在通信领域，随着元器件、系统构建及大气信道传输技术的成熟和发展，激光通信的应用已非常广泛，技术成熟度较高。激光通信具有数据传输量大、图像分辨率高、不易受干扰等优势，如近两年我国自主研发的量子通信卫星“墨子号”。

在生物医疗领域，激光技术发展势头良好，技术成熟度高。激光以其具有的特殊生物效应，不仅可用于多种方法治疗各种疾病，包括手术和非手术治疗，还可以用于诊断及基础医学研究。例如，生物激光打印（BioLP）能够将含生物材料的极微量溶液精确打印在不同的位置而不致生物活性受损，是一种新型的生物打印技术，为未来器官组织打印奠定基础。

在军事领域，随着高能激光技术瓶颈的不断突破，其在激光武器领域得到长足发展，如高能激光束使光电探测器失效，以及飞机、导弹、卫星等军事目标的硬摧毁。同时，激光制

导武器以其精度高、结构简单、不易受电磁干扰等优点，在精确制导武器中占有重要地位。

### 激光技术催生新行业应用

随着激光技术的不断成熟，在传统工业领域已得到了较为深入的应用，技术成熟度较高，与激光相关的产品和服务已经遍布全球，形成了丰富庞大的激光产业。

随着激光技术在新应用领域中的关键技术不断突破，其应用范围不断扩展：一是在投影显示领域，激光投影显示能超越传统显示的所有技术指标，如大屏幕、高分辨率、数字化、高亮度、色域广等，专业级高端显示产品需求推动激光显示进入快速发展阶段；二是在照明领域，自高亮度蓝色激光二极管技术取得突破以来，激光照明技术得到了长足发展，在亮度、光效等关键性能上相比LED优势明显，将引起传统照明产业的结构调整；三是在通信领域，基于LED的LiFi（Light Fidelity）数据传输速率大幅突破了WiFi的传输速率上限，而基

随着显示技术和半导体激光器技术的不断发展和产业化，目前激光投影显示主要有三种实现方式：

**B+GR 荧光粉激光方案（单色方案）：**采用单色激光（即蓝色激光）结合红绿荧光粉的旋转色轮技术产生红绿蓝三基色。该显示技术利用多色荧光粉色轮的旋转有效解决了荧光粉的热淬灭和散热问题，使荧光粉能够在高强度激光的照射下稳定工作。同时，利用多色荧光粉色轮的旋转实现在不同时间产生不同颜色的光输出，最终实现白光的输出。但由于蓝色激光激发红色荧光粉存在转换效率低（约20%）、转换中心波长偏短（约620nm，正常638nm）等问题，导致红色饱和度不够，投影输出图像颜色不纯正的问题。

**RB+G 荧光粉激光方案（双色方案）：**采用技术成熟的双色半导体激光（蓝色激光+红色激光）结合绿色荧光粉色轮技术产生红绿蓝三基色。该显示技术利用绿色荧光粉色轮的旋转实现在不同时间产生绿光输出，最

终实现白光输出。激光荧光粉光源技术攻克了激光显示在效率和可靠性方面最本质的技术难关。该光源显示终端具备颜色更纯正、长寿命、高安全可靠、无需消散斑等优点。

**RGB 激光方案（三色方案）：**RGB三色激光被业界视为最纯正的激光光源，其具有色彩丰富、色饱和度高等优点，成为显示技术领域的发展方向。但是，绿色（532nm）激光半导体利用红外半导体激光器通过PPLN晶体和其他晶体材料倍频转换产生，转换存在发热功率大、光电转换效率低、波长稳定性差、体积大等诸多问题，特别是激光散斑效应对显示效果及研发制造成本带来较大的负面影响。

目前，中国在发展激光显示领域已具备良好的产业化基础，中国科学院院士侯洵表示，激光投影显示有两个市场化的方向值得关注：一是可移动，激光显示的发展方向应瞄准可移动的家庭影院和微型投影，正如笔记本电脑取代桌面电脑一样，可移动是一个潜在的大市场，而液晶显示和OLED显示都是固定的；二是向超大屏幕发展，目前来看，液晶电视朝着超大屏幕发展有限。对于激光显示产业而言，中国工程院许祖彦院士曾表示：“激光显示将在超大屏幕/大屏幕、家庭影院/电视、微型投影/手机投影、

计算机屏幕/游戏机等四个市场形成千亿美元的规模”。目前，我国在激光显示技术方面与发达国家处于同一水平，色域等个别指标甚至优于发达国家，投影式激光显示的配套关键件等核心技术均已攻克。2016年国务院下发的《“十三五”规划》中，将激光显示列为新一代信息技术新型显示项目的首位，一系列国家政策的大力扶持，加速了我国激光显示的产业化进程。

### 照明产业

照明技术历经白炽灯、荧光灯和LED时代后，随着激光技术的发展和激光二极管（Laser diode，简称LD）的应用扩展，正迎来以激光光源为代表的第四代光源技术。2018年10月12日，诺贝尔物理学奖获得者、蓝光LED与蓝色激光二极管发明人中村修二应中航国画邀请，深入交流激光产业技术，并做了题为《蓝色激光二极管的发明及未来激光照明》的报告。中村修二表示，蓝色激光二极管正在改进，预计在不久的将来，蓝色激光二极管的价格将与LED相同，10年后，激光照明很可能会替代现在的LED照明。

激光照明按原理分为两种：蓝光激发荧光粉实现白光照明；红绿蓝激光合成白光。利用蓝色激光激发黄色荧光体合成白光的激光照明方式，产生的照明白光显色指数高（Ra>75），结构简单，成本较低，适合批量生产，成为目前室外激光照明的主流技术。

激光照明具有以下优势：一是亮度高、照射距离远。激光照明产品中的陶瓷封装LED芯片的荧光粉层，其基质结构的稳定性、荧光粒子浓度、材料耐热性等有明显优势。目前激光照明白光光源亮度已经达到1Gcd/m<sup>2</sup>，约为目前LED最高亮度

值的34倍。宝马汽车激光车灯照射距离可达600米，而LED车灯仅为300米。二是电光转换效率高。产品化的半导体激光器的电光转换效率达到45%~55%，而瓦级蓝光LED电光转换效率约26%，节能效果更显著。三是后续发展潜力大。随着激光二极管管光效、单管功率及荧光体转换效率的提升，激光照明的光效还有较大提高空间。相比之下，LED照明已经比较成熟，光效难有更大提高。

2009年日本的日亚公司发布了输出功率1.17W（@1A）的445nm蓝光激光二极管，是激光二极管发展历史上的里程碑事件。紧随其后，欧司朗也推出了商用的输出功率1.6W的445nm蓝光激光二极管。随着激光照明核心元件——大功率蓝光激光二极管技术的发展日趋成熟，激光照明产业的发展也开始步入快车道。在突破大功率蓝光激光二极管技术后，欧司朗通过与专业汽车照明供应商ZKW等合作，迅速将其应用于汽车行业，研发了第一代激光大灯，并首次应用于宝马发布的i8及7系轿车。

奥迪在2014年夏季奥迪高端R8 LMX版量产车型中正式推出远光灯激光焦点照明技术，其搭载的激光照明技术同样由欧司朗提供。在未来，奥迪还将在其他车型中升级这一技术，即每个大灯配备一个激光模组，可生成一个能覆盖几百米范围的光锥。2015年奥迪公司公布了由德国联邦教育研究部赞助的“高清矩阵式激光大灯”（iLaS）项目的最新成果。在该项目中，奥迪公司与博世公司（Bosch）、欧司朗公司（Osram）和卡尔斯鲁厄理工学院（KIT）照明技术研究所在跨领域合作，研发出了照明距离更远、更智能、更安全的矩阵式激光大灯技术，为未来汽车照明科技的发展指明了方向。

Soraa公司同诺贝尔奖得主中村修二联合创立的SoraaLaser公司计划将激光二极管、荧光体、光封装在同一热沉构成白光模块，模块利用LARP（Laser activated remote phosphor，激光远程激发荧光粉）技术，采用蓝光LD激发荧光体直接发出高质量的窄光束白光，以降低下游应用厂商开发激光照明灯具的技术难度，将对扩展激光照明应用领域起到推动作用。其半极性氮化镓与高性能荧光材料结合技术入围2017年棱镜光学奖（Prism Award）、蓝宝石奖（Sapphire Award）。

目前，激光照明已发展到产业化前期阶段，关键技术已经得到初步解

决，作为激光照明发展相对成熟的欧美及日本、韩国均具备完整的产业链环境；而国内激光照明尚处于起步阶段。国外企业在高流明照明产品领域的加速发展将推动照明产业的整体变革，迫使国内激光照明产业的加速发展，在这一背景下我国出台了多项政策推动激光照明产业的发展，依托良好的产业环境与政策支持，国内激光照明产业在未来几年将迎来加速发展的机遇期。

### 通信产业

作为新一代无线通信技术，无线光通信技术LiFi基于光的照明功能和数据通信功能，在不影响光照明功能的同时，将信号调制在光源上进行数据传送。与光纤通信拥有同样的优点，高带宽、高速度，照明光到达的地方，就有LiFi的信号。WiFi靠的是无线电波，而LiFi则是靠的光脉冲。

LiFi不是要替代WiFi，而是一种补充。无论我们使用智能手机、平板电脑还是笔记本电脑，两者将同时存在，这需要一个特殊的接收器和发送器来发送和接收LiFi信号，也需要一个特殊的编码器/解码芯片将光信号转换成数据。LiFi技术利用已铺设好的设备和无处不在的灯泡，在灯泡上植入一个微小的芯片，使终端随时接入设备，不仅传输速率快，无电磁干扰，而且由于光不能穿越墙壁，通信将更安全。pureLiFi公司联合创始人/首席科学家Hartal Hass教授表示：“今天的LiFi就像是15年前的WiFi，而在5到10年的时间里，LiFi将像WiFi一样无处不在”。

基于LED的LiFi可达到10Gb/s的数据传输速率，改善了WiFi中7Gb/s的数据传输速率上限，如中村修二所说，可能会成为LED发展的又一撒手锏；而Hass教授利用激光器的高能量与高光效，基于激光的LiFi可实现传输数据速率超过100Gb/s，比LED快10倍。这项研究发表在光学快讯（Optics Express），研究中激光照明不使用荧光粉，而是混合不同波长的激光产生白光，这意味着每个波长的光可以用作一个单独的数据通道，同样的光波可以双向传输，大大提高传输数据的速率并且很容易超出100Gb/s。目前这种设备还非常昂贵，需要寻求大规模生产以降低成本，并且可以把它应用到照明市场。随着激光照明应用不断推进，未来是否激光照明会在LiFi技术中取代LED，也非常值得期待。

### 雷达产业

激光雷达Lidar（Light Detection And Ranging）是传统雷达技术与现代激光技术相结合的产物，是一种主动式的现代光学遥感技

术。激光雷达是以激光束作为信息载体，可以用振幅、相位、频率和偏振来搭载信息的雷达。由于激光的高亮度、高方向性、高单色性和高相干性，激光雷达具有角分辨率高、距离分辨率高、速度分辨率高、测速范围广、抗干扰能力强等独特的优点。它不但能够精确测距，而且能够精确测速、精确跟踪。继微波雷达之后，激光雷达把辐射源的频率提高到光频段，比毫米波高出两到四个数量级，这使之能够探测微小自然目标，包括大气中的气溶胶。

随着超短脉冲激光技术、高灵敏度的信号探测和高速数据采集系统的发展和运用，激光雷达以其的高测量精度、精细的时间和空间分辨率以及大的探测跨度而成为一种重要的主动遥感工具。激光雷达能全天时地对地观测，受地面背景、天空背景干扰小，并具有高分辨率和高灵敏度，激光雷达可以广泛应用于环境监测、海洋探测、森林调查、地形测绘、深空探测、军事应用等方面。

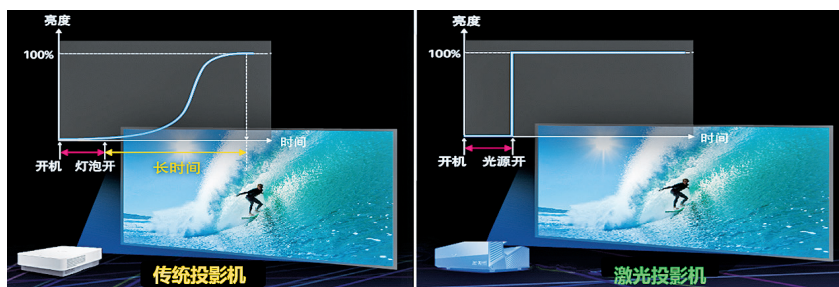
按技术路线，激光雷达主要分为三大类：机械旋转式、混合固态和纯固态。较为著名的机械旋转式激光雷达如Velodyne的HDL64和

HDL32等，因量产难度大，机械旋转式激光雷达被更低成本的混合固态激光雷达和固态激光雷达取代已经是大势所趋。混合固态激光雷达：即“一半是机械旋转，一半是固态”，与传统的机械旋转式和“激光”的纯固态相比，走折中路线的混合固态激光雷达的量产难度最低，在未来几年，能批量生产的激光雷达，大多都属于混合固态。固态激光雷达：即“所有的激光探测水平和垂直视角都是通过电子方式实现，内部不存在任何的机械旋转部件”。虽然因扫描角度有限，需要在不同方向布置多个以实现全方位扫描，但由于装配调试可以实现自动化，量产成本与量产时间可期待，因此，引起了业界的浓厚兴趣，固态雷达被认为是激光雷达在未来的主要方向。

### 展望

2018年刚刚过去的诺贝尔物理学奖，因在激光领域“光镊及其在生物系统的应用”、“生成高强度超短脉冲的方法”的创造性贡献，分别颁给了阿瑟·阿什金、杰拉德·莫雷和唐娜·斯特里克兰等三位科学家。激光技术作为工业制造领域的一股核心驱动力，正在加速改变产业格局、深刻影响产业重构。激光技术不仅在已经广泛应用的产业领域更加深入应用，如加工、测量、医疗等产业领域，而且在新的领域也带来重大变革，如激光显示、照明、通信、雷达等产业领域。这些新兴产业领域的核心技术突破和市场应用拓展，将加速航空产业的产品升级换代。

随着科技的发展，激光技术必将更加广泛并深入地应用于社会的各个方面，航空工业需要高度重视激光产业布局，积极打造自主可控的核心研制能力和产业生态布局，为建设航空工业强国奠定更坚实的基础。



投影显示技术发展：传统投影机需预热冷却，激光投影机即开机关。

## 固态激光应用趋势报告会 Report On Trends In Solid-state Laser Applications

主讲人：中村修二

Speaker: Shuji Nakamura



2018年10月，中村修二参加中航国画固态激光应用趋势报告会。

于LD的LiFi数据传输速率比LED快10倍，此项技术非常值得期待；四是在测量领域，激光雷达以其测量精度高、可三维立体成像等优点而获得应用，如美国Velodyne公司最新的64线激光雷达已应用于谷歌、百度等公司的无人驾驶汽车中；五是在生命科学领域，光镊技术给生命科学提供了一个广泛使用的革命性工具，光镊作为微小粒子的操控手段，在生命大分子特性、细胞生物学和遗传学等生命科学以及介观物理学研究中获得应用，带来生命科学的革命。

### 激光技术带来的产业变革

#### 显示产业

“无激光不投影”，由于激光光源具有亮度高、色彩好、能耗低、寿命长且体积小的优势，激光投影显示技术（LDT）不仅实现了传统显示达到的所有先进技术指标，如大屏幕、高分辨率、数字化等，并因为具有波长可选择性大和光谱亮度高等特点，其色域空间最高可以覆盖人眼所能识别色彩空间的90%以上，可以真正实现超高清、全色和真三维，成为继黑白显示、标准彩色显示和数字显示后的第四代显示技术。2013年激光投影显示技术与产业化论坛上，在中国工程院许祖彦看来，激光显示是显示领域的“最高境界”。

终实现白光输出。激光荧光粉光源技术攻克了激光显示在效率和可靠性方面最本质的技术难关。该光源显示终端具备颜色更纯正、长寿命、高安全可靠、无需消散斑等优点。

目前，中国在发展激光显示领域已具备良好的产业化基础，中国科学院院士侯洵表示，激光投影显示有两个市场化的方向值得关注：一是可移动，激光显示的发展方向应瞄准可移动的家庭影院和微型投影，正如笔记本电脑取代桌面电脑一样，可移动是一个潜在的大市场，而液晶显示和OLED显示都是固定的；二是向超大屏幕发展，目前来看，液晶电视朝着超大屏幕发展有限。对于激光显示产业而言，中国工程院许祖彦院士曾表示：“激光显示将在超大屏幕/大屏幕、家庭影院/电视、微型投影/手机投影、

计算机屏幕/游戏机等四个市场形成千亿美元的规模”。目前，我国在激光显示技术方面与发达国家处于同一水平，色域等个别指标甚至优于发达国家，投影式激光显示的配套关键件等核心技术均已攻克。2016年国务院下发的《“十三五”规划》中，将激光显示列为新一代信息技术新型显示项目的首位，一系列国家政策的大力扶持，加速了我国激光显示的产业化进程。