

全固态激光技术在航天领域的应用

卢红星 郑沛恒 刘小平

深圳瑞丰恒激光技术有限公司 广东 深圳 518000

摘要: 全固态激光技术在激光的一些应用中已经有了很好的进展。例如利用固体激光器直接产生高功率高能激光脉冲, 在航空领域广泛应用。固体激光器在航天领域还有很多应用。近几年来随着固体激光器技术成熟以及新型材料的不断出现, 固体激光市场呈现出一个持续增长势头, 本文将介绍目前全固态激光技术所面临的问题和未来发展方向。

关键词: 全固态激光技术; 航天领域; 应用模式

Application of all solid state laser technology in aerospace field

Hongxing Lu, Peiheng Zheng, Xiaoping Liu

Shenzhen Ruifeng Heng Laser Technology Co., LTD., Guangdong, Shenzhen, 518000

Abstract: All solid-state laser technology has made good progress in some applications of the laser. For example, high-power and high-energy laser pulses are generated directly by solid-state lasers, which are widely used in the aviation field. Solid-state lasers have many other applications in aerospace. In recent years, with the maturation of solid-state laser technology and the emergence of new materials. The solid-state laser market shows a continuous growth momentum. This paper will introduce the current problems and future development direction of all-solid-state laser technology.

Keywords: All-solid-state laser technology; Space field; Application mode

引言

全固态激光技术是当今国际热研究和发展的热点之一。自上世纪 90 年代以来, 该技术先后在国际上引起了广泛而深入的研究。由于全固态激光技术具有多项突破性技术和成熟技术, 因而该技术已成为航空航天领域新的研究热点。为实现新一代固体基航天技术研究和开发, 必须对全固态激光技术进行深入研究, 并实现与现有航天领域激光技术和手段的有机结合, 从而实现航天领域激光与光学组件技术相互促进和发展, 最终实现航天领域激光技术与手段更新换代。全固态激光技术发展可分为三个阶段: 第一阶段是基于固体激光技术实现固体激光器的小型化、低成本和高性能。第二阶段是实现固体激光技术与光学组件技术结合将固体激光器集成到激光光学元件上实现高亮度、高精度、低损耗和长寿命等特性。第三阶段是实现全固态激光与光学组件技术与产品相结合实现光学器件中更高功率、更高精度、更长寿命要求的全固态激光。第四阶段是应用高密度、高可靠、大功率、高品质和低成本全固态激光工艺的产品实现各种光学功能扩展。在这个发展过程中, 全固态激光技术也将会成为航天领域科研生产发展的重要技术方向之一, 将对航天领域科学生产带来深远影响。

一、全固态激光产生原理

全固态激光技术是以激光为核心的高功率、高精度光学技

术。在航天领域具有广泛应用前景。目前全固态激光已成为航空航天领域的发展方向。全固态激光可用于产生高能量密度的高亮度激光、高精度光学元件和精细成像功能。作为当前世界上应用最广泛、最成熟的激光器之一, 目前中国已拥有全固态激光装置 70 多台。其中, 上海凯天科技股份有限公司研制的 YAG 光纤激光装置被评为“中国十大科技进展”之一^[1]。航天领域激光与光学技术的结合可谓是大势所趋。随着太空任务的不断增加以及航天任务对卫星通信环境有着苛刻的要求, 提高卫星通信质量是目前主要解决的问题之一。目前国际上对激光与光学组件的研究开发主要集中在两个方向: 一是高性能固体激光器(见图 1); 二是高功率低衰减光纤激光器(ODR)激光器。

一般用光作为能量源, 将光源转变为电信号传输给放大器的电路, 再将光转换为光能输出。目前常见的激光器光路有两种, 一种是全固态激光器(固体激光器), 另一种是泵浦激光器(气体激光器)。与普通的激光器不同, 泵浦激光器(固体激光器)主要由晶体, 光纤和半导体四部分构成, 示例光路图如图 2 所示。每个部分都能从自己发出具有高品质特征的光, 因此能够提供高品质能量输出。全固态激光器中泵浦激光的特征是连续谱线(peripheral light)中一个周期的连续光谱(transfer light), 称为“连续光谱”(distributed light)并能产生波长不同且具有光谱性质的光源。激光器按工作介质分为固体注入型、气

体注入型和液体注入型三种类型。由于固体注入型激光器主要由半导体组成, 所以其输出功率较高, 特别适合于加工工件或金属材料。由于液体注入型激光设备具有良好的透光性(能使光部分被液体吸收), 因此能够适用于所有金属材料和半导体材料加工。当然, 液体注入型激光设备也可以适用于某些有机物质加工方面, 如某些农药、杀虫剂等。对于激光器内部空间来说, 其主要参数是温度、压强和气体成分等光学参数、脉冲次数、波长转换时间等物理参数关系密切。具体参数与激光器的工作原理有关^[2]。



图 1: 高性能固体激光器

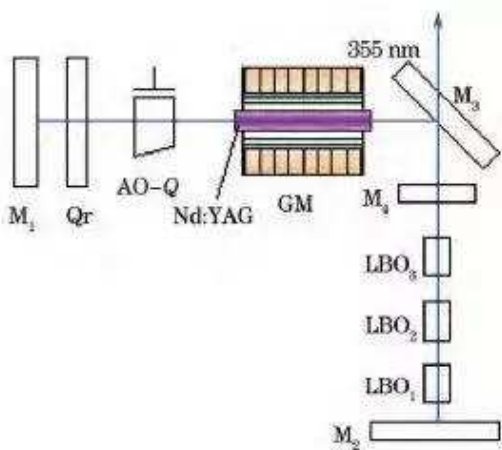


图 2: 全固态紫外激光器光路设计图

二、全固态激光技术的发展现状及未来发展趋势

目前全固态激光器主要研究方向是固体激光器等非线性介质。全固态激光具有良好的工作性能, 同时又不影响工作温度。因此, 全固态激光越来越受到学者的重视。固体激光器目前面临的主要问题是固体激光器的成本问题以及固体激光器波长问题。目前全固态激光技术主要是采用 400 纳米波长的固态激光和 400 纳米高脉冲固体激光。其中激光的主要介质为激

光波长, 其它器件主要采用光纤、滤波器和激光器。如果使用过激光脉冲在全固态激光器中会造成波长偏移和损坏激光波长。例如, 在某些工业激光领域中, 固体激光具有固定波长, 使用激光熔接装置熔接将导致激光波长偏移并影响激光器的工作效率; 如果在工艺过程中使用较短的激光脉冲, 则会使激光波长发生偏移, 从而损坏激光波长。另外在使用激光波长来提高激光器的稳定性也是全固态 Laser 激光应用领域需要解决的主要问题之一。虽然在不断提高激光波长、降低激光波长对激光器功率影响方面取得了一定进展但距离激光波长越短激光越差; 同时受材料性质影响光束质量也会受到限制; 另外在采用非线性介质材料时往往会对激光产生更大的光损耗, 这就使得非线性介质激光器的功率成为一个亟待解决的问题^[3]。

与传统的光学组件相比, 全固态激光的研制有着许多优势。如: 可以实现任意波长激光的精密调制, 可实现任意波长激光的精密调制输出; 能够实现稳定可靠的高输出能量范围; 能够与各种非线性光学器件结合; 能够提供高质量的光学信息; 能够通过特殊的设计实现激光光束功能及成像功能等。全固态激光所使用的半导体激光器具有很好质量控制性能, 在光学系统领域已有广泛应用。但随着科学技术和工业技术不断进步及全固态激光器性能不断提高, 以及半导体材料成本、加工难度逐渐增加。因此对半导体激光器而言, 必须寻找新的设计思路和技术。另外, 固体激光器对工作环境要求极高。固体激光器自身具有较强的热稳定性和较低的辐射损耗。因此需要对激光器开展高性能研究工作。而全固态激光是一种新型激光器件, 通过激光与光学结合能够获得更多优良性能。与其它具有较高性能和工艺技术要求激光器件相比, 光纤激光器(ODR)具有更优越的性能和工艺技术要求。

但是, 全固态激光的研究受到激光介质、激光脉冲频率、光子能量密度等多个因素的制约。由于激光器介质存在较大温差、不同温度下可能会产生干涉现象等, 因而造成激光输出的脉冲存在较大的偏振损耗水平。这对输出光子能量的强度和纯度有着非常高的要求。所以在激光领域里常用的谐振方式是直接激光谐振(BPL)或非谐振(NML)方式。目前已经报道了利用 NML 和非洛伦兹谐振技术来实现高功率全固态激光脉冲。但是这样依然存在两个缺点——1)谐振器的寿命短(只有几十年)、功率密度低(大于 100 W/cm^2)^[4]。2)因为谐振器无法直接对脉冲进行谐振操作(直接谐振)因而导致信号的干涉现象无法得到有效的抑制。目前为止全固态激光器普遍采用多层共聚焦技术实现多路光源并发生射激光脉冲以获得更高峰值功率。但这些技术在空间中只适用于大口径激光器并不适用于低功率激光系统中的应用, 这使得在空间中安装多路激光脉冲成为一个问题。为了解决这个问题目前已经有不少工作试图利用具有不同参数的激光器来实现类似任务。

三、全固态激光在空间应用中的优势

与固体激光器相比,全固态激光器具有体积小、重量轻、加工方便、功率大、价格低廉等特点。全固态激光具有功率大、定位精度高特点,可广泛应用于空间目标跟踪、制导、观测、通讯、定位等领域。此外,全固态激光还可以应用于空间成像光束制作、空间通信等领域。全固态激光发出光束,再由高品质激光产生高亮度激光。而激光发射前,必须先将激光注入大气,再经大气散射,形成高能和高能混合光束。全固态激光产生时,应避免反射光与散射光的混合照射。全固态激光器因其体积小、重量轻而广泛应用于航天器。由于激光器具具有温度稳定性好、热稳定性好、亮度高等特点,因此它具有广泛的应用前景。全固态激光具有较高的功率和较低的衰减特性。激光是卫星通信系统的重要组成部分。全固态激光是空间微重力环境中通信的重要组成部分。

四、小结

全固态激光技术是利用激光脉冲产生的高功率脉冲的光源,它主要应用于航天航空领域、光电子学领域和光学领域。虽然现在很少有人用激光作为喷气推进系统的驱动设备。但是当激光脉冲的能量到达一定程度时,会产生光斑并使喷射出的激光聚焦于一个较小的区域而不影响整体的结构与性能。目前国内外对于用激光驱动喷气推进系统有很多尝试和设想。激光驱动喷气推进系统实现喷气推进的方式有很多,但是使用一种激光驱动喷气推进系统的缺点较为明显。利用脉冲宽度为 1000~1500 ns 的激光对气体喷射产生脉冲功率在 7200~7500 w 的超强脉冲。由于气体中存在气体晶体以及气体中的某些组分会产生热效应而使气体激光器发出的激光发生光变。例如在喷气推进系统中喷出激光会使该激光与气体中的组分发生反应从而使激光器发出更强的激光脉冲。此外还要注意激光脉冲速

度和脉冲间隔之间也存在着很大的差异,因此需要对这些问题进行深入研究才能使激光脉冲有更好的强度、波长和脉冲间隔等特性,从而使激光驱动喷气推进技术得以更好的发展到一个新的高度。

作为激光和光学组件应用最广泛、最成熟的激光器,全固态激光发展前景广阔。但作为激光武器的关键技术还没有被攻克,仍处于研究开发阶段。全固态激光具有与主流的传统光学组件相同的性能,如亮度、光斑方向、能量和光斑尺寸等。这些特点与传统光学组件有很大不同。例如,全固态激光具有无热损伤、高亮度、低功率等特点。因此更适合作为激光器使用。同时在成本、环境适应性、空间应用等方面也有很大优势。但是由于太空环境和航天任务环境有着严苛的要求,全固态激光难以满足苛刻需求。因此还需要其他方法进一步提高全固态激光制备技术和参数。

参考文献:

- [1] 夏媛.全固态钠层风温探测激光雷达关键技术研究[D].中国科学院大学(中国科学院武汉物理与数学研究所),2017.
- [2] 陈英.激光二极管端面抽运 Nd:YAG/Nd:YVO₄ 声光锁模激光器的研究[D].北京交通大学,2015.
- [3] 李政委.全固态径向偏振皮秒激光技术研究[D].北京工业大学,2014.
- [4] 卢铁林.基于全固态激光器的太赫兹波泵浦源的研究[D].北京交通大学,2012.
- [5] 赵伟芳.全固态单频激光技术研究[D].北京工业大学,2010.

作者简介:卢红星(1983年8月)男,汉族,广东南雄,本科,研究方向:固体激光器。