

高性能全固化微型绿光激光器的研究^①霍玉晶^② 何淑芳

(清华大学电子工程系 北京 100084)

TN248.4

摘要 研制成高性能微型全固态绿光激光器。用独特的整体控温技术提高器件效率,全部元件固化为一个整体以提高激光输出功率和光束指向稳定性;用 1W 的 LD 纵向泵浦 Nd:YVO₄/KTP 激光器,获得 195mW 的 TEM₀₀ 模 0.53μm 绿激光的连续输出,输出功率不稳定性 ≤ ±2%,光束方向稳定性优于 0.01mrad/hr 和 0.03mrad/24hr。该器件全部采用国产元件,体积小,效率高,使用方便,在输出功率-体积比、性能-价格比和光束方向稳定性等方面超过国际同类产品,取得了很好的社会效益和经济效益。

关键词 绿激光器,高性能,微型,激光二极管泵浦

绿光激光器, 488nm

0 引言

半导体激光(LD)泵浦的 0.53μm 绿光激光器由于其具有波长短、光子能量高、在水中传输距离远和人眼敏感等优点,在激光医学、信息存储、彩色打印、彩色投影电视、水下通信、光谱技术、激光技术、机场导航、探潜海底形貌探测和激光武器等科学研究、国防建设和国民经济的许多领域中有重要的应用,因而成为各国研究的重点。它们的功率高、光束质量好、能量转换效率高、体积小及寿命长及使用方便,因而是其它种类的绿光激光器的有力竞争者。国外已经有性能相当好的用 LD 泵浦的绿光激光器商品出售,但是,已有产品的光束质量及稳定性仍需提高,体积还需减小,价格还需降低。研制高性能的微型绿光激光器,进一步提高器件的性能并降低成本是当前努力的方向之一。本文报道的是,在多种应用中急需的高输出功率、高转换效率和高光束方向稳定性的用 LD 泵浦的高性能微型 0.53μm 绿光激光器的最新研究结果。

1 实验装置

本文使用半导体激光二极管泵浦 Nd:YVO₄ 晶体得到 1.064μm 近红外激光,再用 KTP 晶体进行腔内倍频得到 0.53μm 的绿激光。其中采用由中科院半导体所生产的连续输出功率为 1W 的波长为

808.5nm 的 LD 作为泵浦光源,采用中科院福建物构所生产的 Nd:YVO₄ 激光晶体工作介质、采用山东大学生产的 KTP 晶体作腔内倍频器,采用独特的聚焦系统和控温系统提高器件的整体性能。采用由清华大学固体激光与光电子技术研究所研制的 HH 型高稳定半导体激光器驱动器为 LD 提供稳定的电流,并对器件整体进行温度控制,该驱动器滤除了电网中的浪涌电压脉冲,保证了 LD 的安全运转。整个器件实现了国产化。

实验装置如图 1 所示。由于所用 LD 的输出功率还比较小,因此提高器件的光-光转换效率是提高器件性能关键。本文采取调整半导体激光器工作波长、提高泵浦光和所产生的基频光之间的空间耦合效率、降低腔内损耗和腔内倍频效率等方法提高器件的效率。为此,使用半导体制冷器作为温度控制元件、对 LD 的温度进行控制,以使其工作波长和 Nd:YVO₄ 激光晶体的吸收波长峰值准确重合,提高激光晶体对泵浦光的吸收效率。在本实验中,把 LD 的工作波长调整到 808.5nm,采用通光方向长度为 1mm 的掺杂浓度为 3at% 的 a 轴向切割的 Nd:YVO₄ 激光晶体作为工作介质,入射到此晶体内部的泵浦光约有 95% 被吸收。采用端面同轴泵浦方式,使 LD 的泵浦光束沿激光器光轴方向入射到激光晶体内部,与所产生的 1.06μm 激光光束在空间上能很好地匹配,提高它们的空间耦合效率。为得到高的泵浦效率,同时减小器件的体积,采用等效焦距为 3mm 的小焦距微型非球面透镜收

① 863 计划资助项目。

② 男,1946 年生,大学,教授、博导;研究方向:光电子;联系人。
(收稿日期:1999-02-09;修订日期:1999-03-22)

集 LD 的激光, 把它聚焦成为光腰直径为 $120\mu\text{m}$ 的细光束, 并使其光腰处于 Nd:YVO_4 晶体的内部, 因为减小泵浦光的光腰直径对提高器件的效率是十分重要的。采用平凹型谐振腔, 使用球面镜作为泵浦端的谐振腔反射镜, 并把激光晶体放在此端, 增大激光谐振腔在泵浦端处的振荡激光光束截面; 使用平面反射镜作为谐振腔输出端反射镜, 并把倍频晶体放在此平面镜附近, 即放在振荡激光光束的光腰处, 从而充分利用泵浦光, 并提高器件的腔内倍频效率。此球面是直接镀制在 Nd:YVO_4 晶体的一个端面上的介质膜反射镜, 球面的曲率半径为 50mm , 它对泵浦光都是高透射 ($T > 93\%$),

对 $1.06\mu\text{m}$ 振荡激光是全反射 ($R > 99.8\%$), 同时对 $0.53\mu\text{m}$ 倍频光是高反射 ($R > 98\%$) 的。 Nd:YVO_4 晶体的另一个通光表面上镀有同时对 $1.06\mu\text{m}$ 基频光和 $0.53\mu\text{m}$ 倍频光都是高透射 (剩余反射率 $R < 0.5\%$) 的介质膜。谐振腔的输出端反射镜对振荡基频光都是全反射的, 对倍频光是高透射的。输出端反射镜是对 $1.06\mu\text{m}$ 基频光的反射率高于 99.9% 、对 $0.53\mu\text{m}$ 倍频光是高透射 (透射率 $> 93\%$) 的介质膜反射镜。KTP 晶体的两个通光面镀有对 $1.06\mu\text{m}$ 基频光和 $0.53\mu\text{m}$ 倍频光同时高透射的增透膜, 每个面的剩余反射率 $R < 0.25\%$ 。

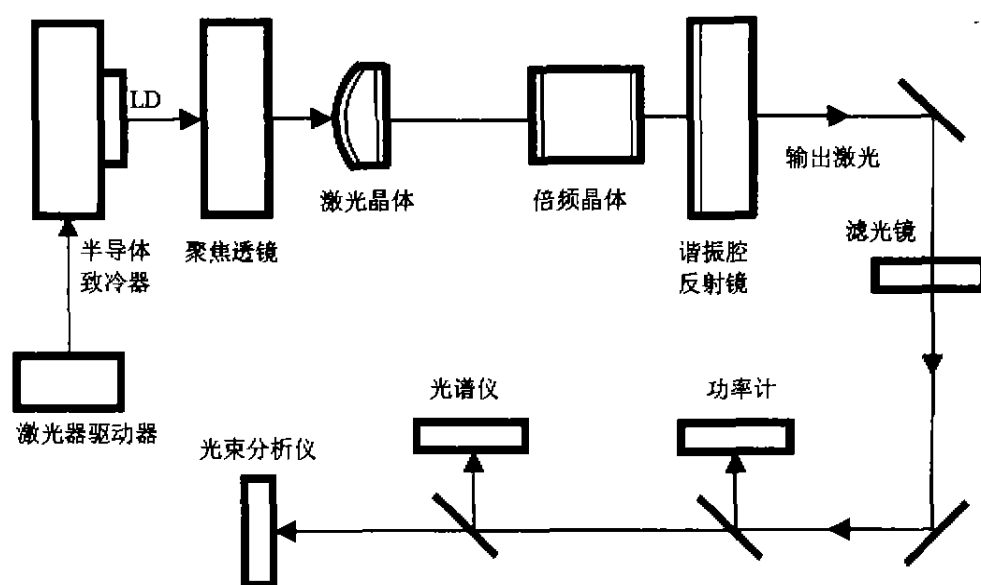


图1 LD泵浦 $\text{Nd:YVO}_4/\text{KTP}$ 腔内倍频绿光激光器示意图

使整个器件, 尤其是使 LD 和倍频晶体处于稳定的特定温度, 对提高输出功率并保持其稳定是十分重要的。为此, 本文选择工作温度相互匹配的 LD 和 KTP 晶体, 并用胶粘剂把器件的全部元件固化为一个整体, 同时采用半导体致冷器对器件进行整体控温。这样, 在保证了器件的最佳工作状态 (即保证 LD 辐射光波长和 Nd:YVO_4 激光晶体的吸收峰值波长重合) 的同时, 也并保证了 KTP 倍频时所需的相位匹配条件, 还保证了激光谐振腔的稳定。采用整体控温的另一个显著优点是减化了控制温装置, 减小了器件体积, 便于使用。图 2 是研制成的全固化微型器件的结构示意图。器件的直径为 25mm , 长 25mm , 体积只有半个彩色胶卷大。

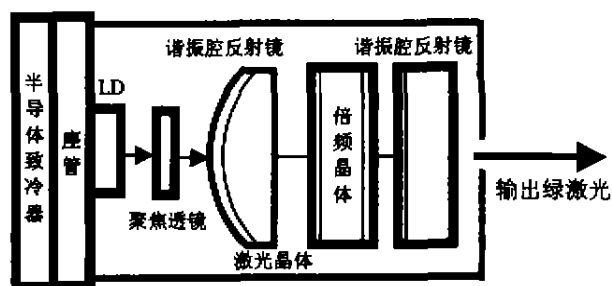


图2 LD泵浦的高性能微型绿光激光器结构图

0.03mrad/24h。

2 实验结果

如图 1 所示,激光器输出的激光束经过滤波器滤除 $0.808\mu\text{m}$ 的泵浦光和 $1.06\mu\text{m}$ 的基频光后,用 LP-1A 型激光功率能量计(中国科学院物理所产,分辨率为 0.001mW)测量输出绿激光的功率,用 AQ-1417B 型光谱仪(日本,分辨率为 0.03nm)测量输出激光的波长,用光束分析仪(Photon Inc. 公司)测量绿光激光横模和光束方向稳定性。输出光束光强分布测试记录见图 3 和图 4,光束方向稳定性测试记录见图 5 和图 6。

测试结果数据如下:

激光波长: $0.532\mu\text{m}$; 激光横模: TEM_{00} ; 连续输出功率: 195mW ; 输出功率稳定度: $< \pm 2\%$; 光束方向稳定性: $< 0.01\text{mrad/h}$ 和

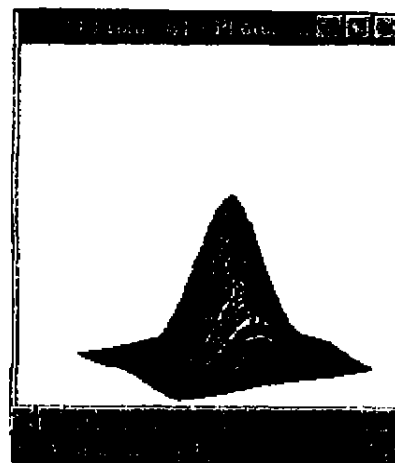


图 3 输出光束光强的三维分布图

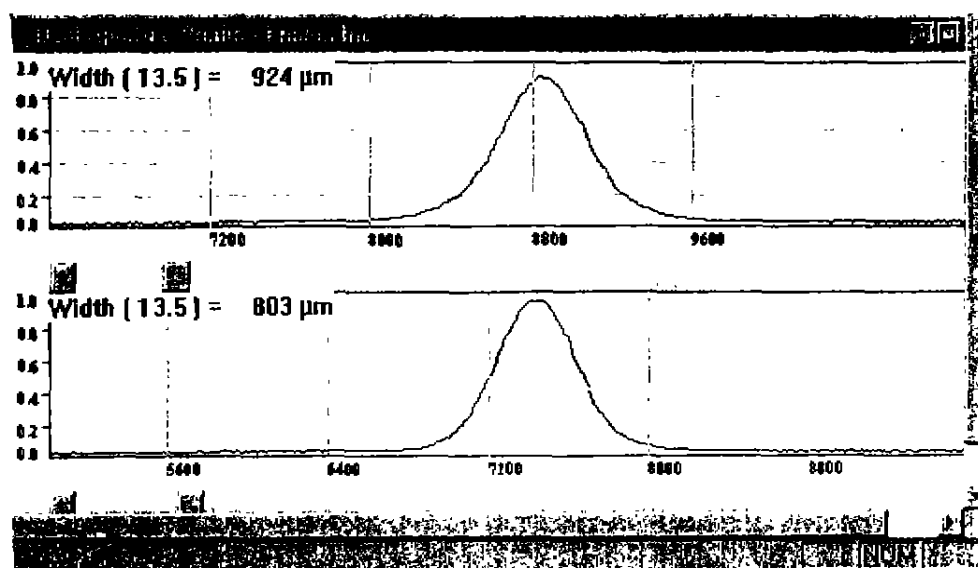


图 4 输出光束光强在两个相互垂直方向上的分布图

3 讨论

本文发展了微型高效的聚焦方法、简单实用的整体控温技术和全固化方法,使用吸收谱线宽和吸收系数大的 Nd:YVO_4 晶体和适当晶向切割的 KTP 晶体,研制出高性能的微型绿光激光器。用 1W 的国产 LD, 得到 195mW 的基横模 $0.532\mu\text{m}$ 绿激光连续输出,输出功率稳定度优于 $\pm 2\%$, 光

束方向稳定性优于 0.01mrad/h 和 0.03mrad/24h 。据调查,此器件在输出功率-体积比、性能-价格比、光束方向稳定性等多方面超过国际同类产品。此技术已经用于研制成功 HSH 系列用 LD 泵浦的微型全固态绿光激光器。该系列器件性能可靠,体积小 ($\Phi 25\text{mm} \times 25\text{mm}$),重量轻,安装在标准 TO3 管座上使用方便,具有很强的市场竞争力和广阔有光明的市场前景。采用更大功率的 LD,可

以研制出更高性能的器件。该项技术已经成功地进行两次技术转让,取得了良好的社会效益和经济

效益。

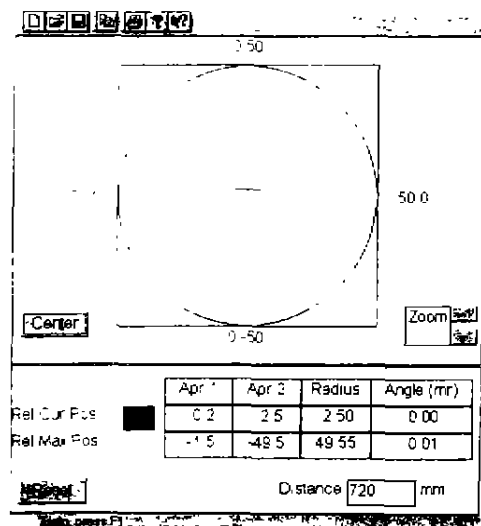


图 5 输出光束 1h 的方向稳定性测试图

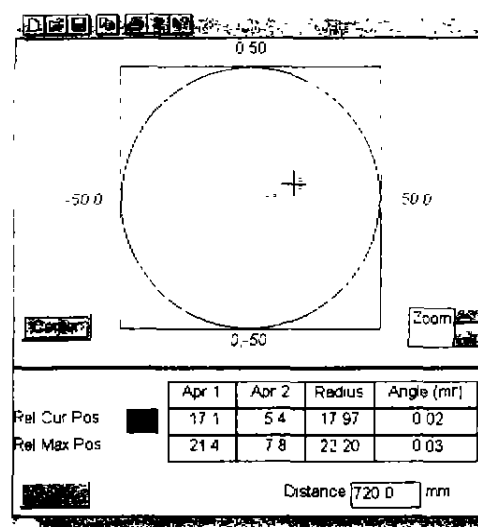


图 6 输出光束 24h 的方向稳定性测试图

参考文献:

- [1] Fan T Y. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1991, QE-27 (9):2091
- [2] Huo Y, Dekker P, Dawes J, et al. Laser diode pumped Q-switched self-frequency doubling laser. Paper

CTuL33, CLEO 96, Anaheim

- [3] Izawa T, Uchimura R, Matsui S, et al. Efficient diode bar-pumped intracavity-doubled Nd: YVO₄ laser using stacked-glass plate beam shaper. Paper CthA1, CLEO 98, San Francisco, California

Research on Solidified Miniature Green Laser with High Performance

Huo Yujing, He Shufang

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, CHINA)

Abstract

The miniature solid state YVO₄/KTP green laser with high performance has been developed. A special temperature control technique is realized and all elements in the laser are fixed into a whole with epoxy. They elevate the laser efficiency, output power and laser beam direction stability. A output power of 195 mW of CW 0.53μm green laser in the TEM₀₀ mode has been measured from the miniature green laser pumped by 1W LD. The beam direction stability is smaller than 0.01mrad per hour and 0.03mrad for 24 hours. The lasers is high efficient, smaller in volume and convenient to use. For reducing the cost all the elements used in the lasers are made in our country. The high technology to fabricate the laser has been transported successfully two times, and has made considerable social benefit and economic benefit.

Key words: Green laser, High performance, Miniature, LD pumped