

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0086-03

LD 抽运的全固态三倍频紫外激光器*

陈进 姚建铨 王鹏 于意仲 朱孟 张百钢 王涛 王杰

(天津大学精仪学院 激光与光电子研究所 教育部光电信息技术科学重点实验室, 天津 300072)

摘要 报道了一台 LD 抽运的内腔三次谐波转换的 Nd:YAG 全固态激光器, 采用内腔倍频技术, 当激光二极管注入抽运功率为 8 W 时, 产生约 3 mW 连续运转的 355 nm 紫外激光, 当采用声光调 Q 运转时, 产生的三倍频紫外激光输出平均功率超过 50 mW。

关键词 激光二极管固体激光器, 紫外激光, 内腔三倍频

中图分类号 TN248.1⁺3 **文献标识码** A

LD Pumped All-solid-state Frequency Tripled Ultraviolet Laser

CHEN Jin YAO Jian-quan WANG Peng YU Yi-zhong ZHU Meng
ZHANG Bai-gang WANG Tao WANG Jie

(*Optoelectronics Information Science and Technology Lab, Institute of Laser and Optoelectronics, College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072*)

Abstract A LD pumped intracavity frequency tripled all-solid-state Nd:YAG laser is reported in this paper. The CW laser output power of 3 mW at 355 nm is obtained with 8 W LD pumping power. Under the condition of AO Q-switch operation, the average output power at 355 nm is about > 50 mW.

Key words LD pumped solid-state laser, ultraviolet laser, intracavity frequency tripled

1 引言

紫外激光器在半导体工业、激光微加工、激光化学、激光清洗等领域具有重要意义, 尤其是近年来紫外激光在激光快速成型、医学中的诱导荧光诊断、光生物学、大气污染检测、高分辨率光谱学、紫外光刻等领域不断应用, 引起人们的高度重视。许多应用往往只需要不到几毫瓦的紫外激光功率, 但传统紫外激光主要采用准分子激光器、氮分子激光器、脉冲固体激光频率上转换得到, 这些激光器都存在体积大、效率低、成本高和维护不方便等缺点, 而且现在用于 LASIK(准分子激光原位角膜磨镶术)以及半导体微型印刷术等的激光系统都对光学技术和材料镀膜技术等提出了更高的要求^[1]。激光二极管(LD)抽运的全固态激光器具有效率高、体积小、价格低、使用维护方便等优点, LD 抽运固体激光通过频率变换产生紫外激光是当前的研究热点之一。目

前已有用 LD 抽运 Nd:YAG 激光器经四倍频在 266 nm 处输出 20.5 W 的报道^[2,3], 最近光谱物理公司的工程师们实现了在 355 nm 处输出 8 W 的新纪录^[4](基模运转, 光束质量因子 $M^2 < 1.3$, 重复频率 10 kHz~100 kHz, 在 30 kHz 时输出功率最大), 国际上广泛开展了全固态紫外激光的研究, 研究主要集中在 LD 抽运 Nd:YAG 调 Q 激光进行三倍频、四倍频, 以及采用外腔谐振技术的连续 Nd:YAG 激光的四倍频技术, 对于连续输出的全固化三倍频激光(355 nm)报道还比较少。我们采用内腔三倍频技术, 在半导体抽运 Nd:YAG 全固态激光器的基础上, 用球面共焦腔成功实现了毫瓦量级的连续紫外激光的稳定输出, 同时在声光调 Q 的基础上实现了超过 50 mW 的三倍频紫外激光准连续输出。

2 实验研究

图 1 为实验装置示意图。实验中使用由 OPC(OPTO POWER CORPORATION)公司生产的带光纤输出的 15W 半导体激光二极管(型号: OPC-

* 国家自然科学基金(69988003)、激光技术国家重点实验室部分资助课题。

A015-FCPS)作为整个全固态紫外激光器的抽运源。半导体激光由 21 根光纤集成一束输出,光纤束直径为 1.55 mm,激光发散锥角约为 12° ,发散角半角约为 6° 。在 25°C 时激光中心波长为 805.7 nm,谱线

宽度为 3 nm。随着温度的变化,输出波长也会漂移,漂移系数为 $0.27\sim 0.30\text{ nm}/^\circ\text{C}$ 。整个激光二极管带有自己的温控系统,可以根据需要调整温度,以便调整它的输出中心波长来满足不同的实验需要。

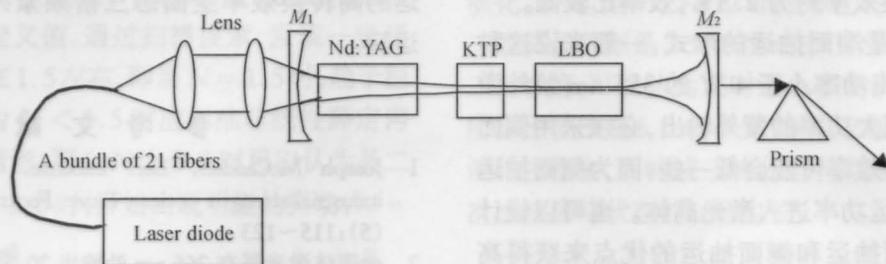


图 1 LD 抽运紫外激光器结构示意图

Fig.1 Schematic of the LD pumped ultraviolet laser

光纤输出的激光经过光学系统耦合到 Nd:YAG 晶体的内部,要求在一个较长的距离上光束直径比较小,以便更有效地实现模式匹配。采用光学透镜成像耦合方式,设计时将光纤芯的端面看作一个物面,设计放大倍率为 0.5 倍,半导体激光从光纤中输出的发散角为(半角) 4° ,计算可知晶体内的光束发散角(半角)为 6° 。设晶体长度为 10 mm,可得焦点处的光斑直径为 0.8 mm,晶体端面处的光斑直径为 0.6 mm,平均抽运光斑直径约 1.2 mm。根据几何成像原理,选择聚焦系统的焦距约为 5.5 cm,孔径约为 3 cm。

激光介质 Nd:YAG 的尺寸为 $\phi 4\text{ mm}\times 10\text{ mm}$,两端镀 1064 nm 及 808 nm 高增透膜,以减少腔内损耗。采用球面镜作为腔镜, M_1 为 $R=100\text{ mm}$ 的平凹镜,对 1064 nm 及 532 nm 激光高反射同时对 808 nm 激光高透过, M_2 为 $R=30\text{ mm}$ 的平凹镜,对 1064 nm 及 532 nm 激光高反射同时对 355 nm 激光的紫外光高透过。二倍频晶体为 II 类相位匹配的 KTP 晶体,晶体尺寸为 $5\text{ mm}\times 5\text{ mm}\times 7\text{ mm}$,三倍频晶体采用 II 类相位匹配的 LBO 晶体,晶体尺寸为 $4\text{ mm}\times 4\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 。三倍频晶体放在光学谐振腔内的束腰处,腔长约 120 mm,接近共焦腔,如图 1 所示。

实验中采用微型声光 Q 开关,通光波长为 $1.06\ \mu\text{m}$,衍射效率 20%,工作频率为 80 MHz,工作温度低于 30°C ,通光孔径为 4 mm。

利用上述装置,我们在研制激光二极管抽运的 Nd:YAG 全固态激光器的基础上,采用内腔倍频及和频技术,当半导体注入抽运功率为 8 W 时,产生约 3 mW 连续运转的 355 nm 的紫外激光,当采用声光调 Q 运转时,产生的三倍频紫外激光平均输出功

率超过 50 mW。

3 分 析

整个腔内 355 nm 激光的产生过程如下,激光腔内的 1064 nm 激光经过 II 类相位匹配的 KTP 晶体倍频后产生 532 nm 的倍频激光,然后 1064 nm 和 532 nm 的激光经过 II 类相位匹配的 LBO 晶体进行和频产生 355 nm 的紫外激光经输出镜输出。可见,为了提高三倍频激光的转换效率,应当使进入和频晶体的倍频光和基频光的能量之比接近 2:1,这就要求我们选择最佳的晶体长度。另外转换效率还与光束发散角、入射光功率密度、晶体的长度、激光的偏振态等因素有关,由于倍频晶体采用 II 类相位匹配的 KTP 晶体,所以偏振损耗不可避免。实验中将三倍频晶体 LBO 放在腔内激光的束腰处,也就是为了增加进入晶体的光功率密度,以便提高转换效率。

倍频光的输出可以看成是对基频光的损耗,这个损耗一般来说是非线性的,这个损耗也相当于激光器运转在基频情况下的输出镜透过损耗。在稳态情况下,也就是抽运功率不变时,基频运转的激光器存在一个最佳透过率,也就是倍频激光器稳态运转时存在一个最佳倍频光的输出,这可等效为存在一个最佳的单程转换效率。因此,在理想情况下如果不计腔内晶体的插入损耗,基频运转的激光器和倍频运转的激光器将获得相同的输出功率,也就是说降低晶体的插入损耗对提高转换效率的影响很大。实验中,腔内共有 KTP 和 LBO 两块非线性晶体,所以插入损耗应该是很大的,而且还有偏振损耗,这都在一定程度上降低了所能获得的有效输出功率。

作为对比,在不加倍频晶体的情况下,当声光 Q 开关的重复频率为 10 kHz 时,输入 8 W 的抽运功率得到了约 2 W 的 1064 nm 激光输出。这样,从总的效果来看,在同样的抽运功率下,从 1064 nm 到 355 nm 的转换效率约为 2.5%,效率比较低。

我们采用的是端面抽运的形式,一般来说这种方式只适用于输出功率小于 4 W 的 355 nm 紫外激光器,如果要实现大功率的紫外输出,必须采用侧面抽运的形式,虽然效率可能会低一些,因为侧面抽运能够使更多的抽运功率进入激光晶体。也可以设计折叠腔,结合端面抽运和侧面抽运的优点来获得高功率的紫外激光输出^[4]。

4 结 论

为今后的高效三次谐波转换的研究奠定了一定的基础。通过初步的实验工作和分析,证明激光二

极管抽运的全固态紫外激光器的可靠运转是可行的,在不久的将来它将有可能代替传统的体积庞大的准分子激光器而得到广泛应用。今后我们将进一步完善这方面的理论与实验研究,以便实现 LD 抽运的高转换效率全固态三倍频紫外激光器的可靠运转。

参 考 文 献

- 1 Joseph McCadden, Lori Labonte. UV lasers require industrial-strength optics. *Laser Focus World*, 2001, 37(5):115~123
- 2 全固体激光器在 266 nm 处输出 20.5 W. 光电子技术与信息, 2000, 13(3):45
- 3 Tetsuo Kojima, Susumu Konno, Shuichi Fujikawa *et al.*. 20 W ultraviolet-beam generation by fourth-harmonic generation of an all-solid-state laser. *Opt. Lett.*, 2000, 25(1):58~60
- 4 Stephen G. Anderson. Diode-pumped UV delivers 10 W at 355 nm. *Laser Focus World*, 2001, 37(5):19