

文章编号 1004-924X(2000)02-0133-03

LD 泵浦的室温运转内腔倍频 473nm 全固态蓝激光器

刘伟仁, 陈颖新, 钱龙生, 檀慧明, 余 锦

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

摘要: 从理论上分析了准三能级系统固体激光器室温运转的条件以及实现方法, 同时给出了实现 473nm 蓝光发射的方案。报道了用波长 808.5nm, 功率为 2W 的半导体激光器泵浦 Nd:YAG, 采用内腔倍频的方法, 在室温下获得 946nm 波长准三能级连续红外激光输出 120 mW, 以及用 BBO 晶体倍频获得 473nm 波长 10mW 的连续蓝色激光输出。

关键词: 准三能级; LD 泵浦; 蓝光固体激光器

中图分类号: TN248.1 文献标识码: A

1 引言

目前 LD 泵浦的绿激光器在众多领域得到广泛的应用, 通过倍频得到的 532nm 波长的绿激光器以其技术成熟, 转换效率高的优势率先走向市场。而蓝色激光器由于技术上的难题和价格高的原因难以满足商品化要求, 但由于蓝色激光器在医学, 复印, 显示, 光量子学等方面有重要应用和潜在市场, 对蓝色激光器的研究也越来越广泛和深入。通过对 Nd:YAG 激光器 946nm 波长的腔内倍频得到 473nm 波长的激光是目前获得全固态蓝激光最有效的手段之一。这一波长的激光器国外已有一些报道^[1,3,4], 在国内, 用 Nd:YAG 做激光材料, 出蓝光尚属首例。本文通过对准三能级系统固体激光器室温运转条件的分析, 采用紧耦合方法, 实现了 Nd:YAG 激光器 946nm 波长的室温运转, 并通过 BBO 晶体的内腔倍频得到 473nm 的蓝色连续激光输出。此项研究对国内 LD 泵浦的小功率蓝激光器的产业化提供重要的理论和实验基础。

2 946nm、473nm 波长室温运转条件的理论分析和结构设计

Nd:YAG 作为激活介质在室温下输出 946nm 波长激光非常困难, 这是由于 946nm 谱线

属于准三能级系统之间的跃迁⁴ $F3/2 - {}^4I3/2$, 低能级存在再吸收的过程, 这将导致受激发射截面下降, 约为 4×10^{-20} , 是 1.06 μm 波长的 1/9, 结果 946nm 谱线的阈值也大大提高; 另外, 激活介质存在最佳长度, 介质过短, 泵浦光不能有效吸收, 介质过长又导致低能级再吸收严重, 资料与理论表明, 当 Nd 离子掺杂浓度为 1.1atm% 时, 端面泵浦最佳长度为 3mm^[5], 另外激光的阈值还 $(\omega^2 + \omega_s^2)$, 同时由于 1.06 μm 波长的发射系数是 946nm 谱线发射系数的 9 倍, 必须抑制 1.06 μm 谱线, 给镀膜带来困难。基于以上几个方面的原因, 必须采取相应的措施来获得 946nm 波长激光的室温运转。由于 LD 纵向端面泵浦耦合效率最高, 故采用这种方法。Nd:YAG 采用高掺杂浓度 1.1atm% 以获得高的吸收效率, 吸收系数为 3.5cm^{-1} 。Fig. 1 与 Fig. 2 分别给出 946nm 红外及 473nm 蓝光室温运转的连续激光器结构示意图。

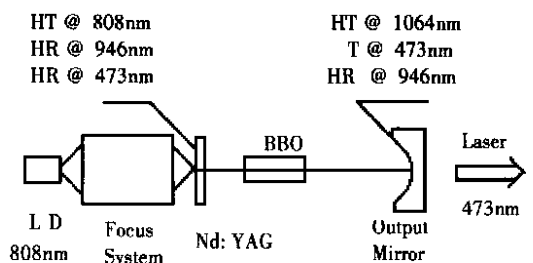


Fig. 1 Schematic diagram of 946nm infrared CW laser operated at room temperature

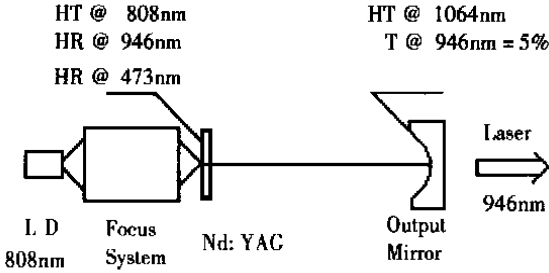


Fig. 2 Schematic diagram of 473nm blue CW laser operated at room temperature

调整LD 温度,使其发射谱处于 Nd:YAG 的吸收峰 808.5nm 处,从 LD 出射的激光经过准直、整形、聚焦后在 Nd:YAG 晶体上形成一个直径约为 70 μ m 的光斑,光强分布为高斯分布。Nd:YAG 的左端面为 808nm 增透,946nm 及 473nm 高反膜;为了输出 946nm 激光,采用 Fig. 1 结构和膜系,输出镜镀 1.06 μ m 增透,透过率大于 80%,依此抑制 1.06 μ m 激光起振,而对 946nm 镀透过率为 5%。对于 473nm 激光采用 Fig. 2 结构和膜系,BBO 晶体两端面对 946nm 及 473nm 镀双增透膜,透过率均大于 98%,激光器的输出镜镀 1.06 μ m 及 473nm 高透膜,946nm 高反膜,这样的膜系确保 946nm 波长起振,而抑制 1.06 μ m 波长,通过 BBO 晶体内腔倍频,最大限度的输出 473nm 波长蓝激光,为提高泵浦效率,我们采用紧耦合结构,既通过设计谐振腔结构参数,使泵浦光与激光的 TEM₀₀ 模达到最佳匹配,即泵浦光斑半径同激光束腰半径相等,由激光原理公式:

$$\omega = \left[\frac{\lambda^2}{\pi} RL - L^2 \right]^{1/4}$$

通过计算当谐振腔输出镜曲率半径 $R = 50$ mm 时,腔长 L 取 50mm。由于 Nd:YAG 晶体各向同性,故 946nm 激光为非偏振态,按最佳倍频的要求,在谐振腔内应插入一个偏振片,或在 YAG 晶体上施加压力,便可改变 946nm 光波的非偏振状态,但这些会增加损耗或给实验带来困难。为了使 BBO 晶体的倍频系数尽可能的大,我们采用室温时二类相位匹配,BBO 晶体四周用温控元件恒温,晶体的长度 7mm。倍频晶体应选择有效非线性系数大的材料,如铌酸钾 KNBO₃,遗憾的是该晶体的位相匹配温度很窄,只有 3.5 $^{\circ}$,对铌酸钾 KNO₃ 的温度必须做精确的控制,而 BBO 晶体的位相匹配温度允许范围很宽,约为 50 $^{\circ}$ 。因此,实

验中选用 BBO 晶体作倍频件。

3 实验与分析

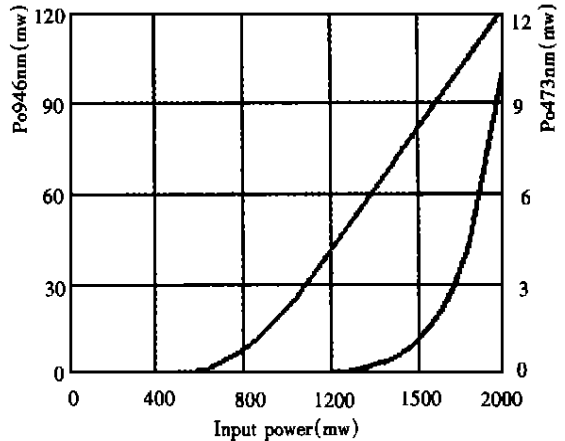


Fig. 3 Curves of 946nm and 473nm output power responding to input power at wavelength 808nm. The slope efficiencies of 946nm and 473nm laser are 10% and 2%, respectively

准三能级系统的激光输出功率的斜效率由以下公式^[2]给出:

$$\frac{dp_{out}}{dp_{abs}} = \frac{T}{L + T} \frac{v_l}{v_p} \frac{dS}{dF}$$

由此公式可以看出 946nm 波长的输出功率与各个因素之间的关系,式中 T 代表输出镜的透过率, L 代表光线往返一周的能量损耗(包括再吸收的损耗), dS/dF 代表受激光子转换成激光光子的量子效率 0.85~0.90, v_l/v_p 代表频率比值(前者代表激光频率,后者代表泵浦光频率),比值为 85%。在我们的实验中(首先采用红外输出镜,即 HT1064nm, T946nm= 0.05, $T = 0.05, L = 0.3$ (室温时再吸收严重,故 L 值较大),总的斜效率在理论上为 10%左右。实验中我们用最大功率为 2W 的半导体激光器泵浦,当功率由零增大到 400mW 时,开始有激光输出,即该系统阈值为 400mW,随着泵浦功率的增加,激光输出随之增大,当泵浦增大到 2W 时,946nm 激光输出为 120mW。我们改用 473nm 蓝激光器的输出镜,即取:(R946nm= 100%, T1060nm= 80%, T473nm= 100%)时,插入 BBO 晶体后得到了 10mW 的 473nm 蓝光输出,测得蓝激光的发散角为 2mrad 左右,蓝光的束腰半径约 80 μ m。图 3 是 946nm 及

473nm 激光输出功率随泵浦功率变化的曲线图,从图中看出实验曲线与理论基本符合。在最大泵浦功率下,946nm 光光转化效率为 6%,斜效率为 10%,473nm 蓝光的光光转化效率为 0.5%,斜效率为 2%。

4 结 论

本文讨论了在室温条件下采用纵向端面泵浦以及紧耦合匹配方式来实现 Nd:YAG 的

946nm 波长的准三能级系统激光运转,并通过 BBO 晶体内腔倍频获得了 10mW 的 473nm 的蓝光输出。由于实验条件的限制,本人所采用的 Nd:YAG 晶体并不是最佳长度 3mm,而是 2mm,并且 Nd:YAG 内侧未镀增透膜,因此腔内损耗比较大,导致 L 值比较大,同时由于泵浦光耦合效率不是很高,为 70%,因此转换效率较低,进一步优化设计工作正在进行中,相信高转换效率,超过 40mW 的蓝光输出的全固体激光器很快会研制出来。

参考文献:

- [1] Freitag I, Henking R, Tunnermann A, Welling H. Quasi-three-level room-temperature Nd:YAG ring laser with high single-frequency output power at 946nm[J]. Optics Letters, 1995, 20(24): 2499- 2501.
- [2] Clarkson W A, Koch R, Hanna D C. Room-temperature diode-bar-pumped Nd:YAG laser at 946nm[J]. Optics Letters, 1996, 21(10): 737- 739.
- [3] Matthews David G, Conroy Richard S, Sinclair Bruce D. Blue microchip laser fabricated from Nd:YAG and KNbO₃ [J]. Optics Letters, 1996, 21(3): 198- 200.
- [4] Pruneri V, Koch R, Kazansky P G, Clarkson W A, Russel P St J, Hanna D C. 49 mW of CW blue light generated by first-order quasi-phase-matched frequency doubling of a diode-pumped 946nm Nd:YAG[J]. Optics Letters, 1995, 20(23): 2375- 2377
- [5] Hanson F. Efficient operation of a room-temperature Nd:YAG 946nm laser pumped with multiple diode arrays[J]. Optics Letters, 1995, 20(2) : 148- 150

LD-pumped room-temperature intracavity doubling solid-state 473nm blue laser

LIU Wei-ren, CHEN Ying-xin, QIAN Long-sheng, TAN Hui-ming, YU Jin

(The State Lab. of Applied Optics, Changchun Institute of Optics,
Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China)

Abstract: Nd YAG 946nm quasi-three-level laser system was studied theoretically. The way to realize the operation of 946nm all-solid-state infrared CW laser at room-temperature was presented. Through the optical-system specially designed by computer CAD system which can satisfy the requirement of focus, the maximum output power 120mW of 946nm infrared laser is obtained when pumped by a 2W 808.5nm diode (made in China). At the same time, 10mW 473nm CW blue laser is obtained by intra-cavity doubling of BBO crystal. The slope efficiencies for 946nm infrared laser and 473nm blue laser are 10% and 2%, respectively.

Key words: LD-pumped; quasi-three-level; solid-stated blue laser

作者简介: 刘伟仁(1971-), 男, 黑龙江省哈尔滨市人。1997 年获长春光机学院硕士学位, 现为中科院长春光机所博士生。长期从事光电子、激光专业。发表论文数篇, 在 LD 泵浦的全固体蓝绿激光器技术方面有深入研究。