

文章编号: 0258-7025(2004)01-0016-03

激光二极管端面抽运的多晶 Nd:YAG 1.06 μm 连续激光器

杨 林^{1,2}, 黄维玲¹, 丘军林¹, Volker Gaebler², Hans J. Eichler²

¹ 华中科技大学激光技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430074

² Optical Institute, Technical University Berlin, D-10622.2 Berlin, Germany

摘要 报道了激光二极管端面抽运的多晶 Nd:YAG(polycrystalline Nd:YAG ceramic)1.06 μm 连续激光器的实验研究。在抽运功率为 0.3 W 时,激光达到阈值开始输出;在抽运功率为 9 W 时,输出功率达到 2 W,激光器光-光转换效率为 22.2%。

关键词 激光技术;固体激光器;激光二极管抽运;多晶 Nd:YAG

中图分类号 TN 248.1 文献标识码 A

Diode-end-pumped Nd:YAG 1.06 μm CW Ceramic Laser

YANG Lin^{1,2}, HUANG Wei-ling¹,

QIU Jun-lin¹, Volker Gaebler², Hans J. Eichler²

¹ State Key Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of
Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China

² Optical Institute, Technical University Berlin, D-10622.2 Berlin, Germany

Abstract In this work, a diode laser end pumped continues-wave polycrystalline 1% Nd:YAG ceramic laser at 1.06 μm is reported. The lasing threshold was 0.3 W. With an incident pump power of 9 W, an average output power of 2 W was achieved. The optical-to-optical conversion efficiency is 22.2%.

Key words laser technique; solid-state laser; diode pumped; Nd:YAG ceramic

1 引 言

随着半导体技术的日益发展和成熟,激光二极管在功率、转换效率、波长扩展和运行寿命等方面已经有很大的提高,这使得激光二极管抽运固体激光器得以迅速发展并逐渐成为一种趋势。激光二极管具有量子效率高、可靠性好、使用寿命长、发射波长与激光介质吸收峰很好对应以及激光输出光束质量好等特点。二极管端面抽运固体激光器的光-光转换效率可达 60%,总体效率在 20% 以上,侧面抽运的总体效率在 10% 以上^[1]。

通常使用的激光介质材料 Nd³⁺:YAG 晶体是各向同性的单晶结构。在过去 10 年中,晶体学家一

直希望生长出高质量、高透明度、能作为激光晶体的多晶 Nd:YAG。最早在 1995 年,文献[2]报道了高透明度的多晶 Nd:YAG 的许多物理特性如折射率、热传导率等,并和 Nd:YAG 作了比较。近来随着采用新的生产工艺和生产流程的控制,已生产出高质量透明的多晶 Nd:YAG 并使激光发射成为可能。日本电子通讯大学激光研究所做了大量的研究工作,1.06 μm 激光连续输出功率从几百毫瓦增加到千瓦以上,激光器的斜率效率和单晶体 Nd:YAG 相差很小^[2~4]。本文报道了激光二极管端面抽运的多晶 Nd:YAG 1.06 μm 连续激光器的实验研究。在抽运功率为 9 W 时,最大输出功率达到 2 W,光-光转

收稿日期:2002-08-19; 收到修改稿日期:2002-11-19

作者简介:杨林(1975—),男,华中科技大学激光研究院博士研究生,主要研究方向为激光二极管抽运的固体激光器。

E-mail:leoyang@hoo.com.cn

万方数据

换效率为 22.2%。

2 多晶体 Nd:YAG 的性质及理论分析

Nd:YAG 单晶体是用提拉法生长的,但是提拉生长法仍然还有不少缺点,如生长晶体需要昂贵的 Ir 坩埚并产生不可避免的残渣污染物。通常 Nd:YAG 激光晶体的掺杂浓度一般不超过 1% (原子百分比,下同)。和单晶体的 Nd:YAG 生长技术相比,透明多晶 Nd:YAG 的生长不需要 Ir 坩埚而且生长周期短得多。最近通过成形和烧结过程的最优设计,已获得了高质量的多晶 Nd:YAG。平均晶粒尺寸大约为 10 μm,晶粒界面宽度小于 1 nm,晶体的多孔性处于 1×10^{-6} 的水平,散射损耗非常低 (0.009 cm^{-1}),这些都使晶体激光发射成为可能。图 1 给出了在室温下掺杂浓度为 1% 的多晶 Nd:YAG 和掺杂浓度为 0.9% 单晶 Nd:YAG 的吸收光谱图,从图中不难看出 0.9% 单晶 Nd:YAG 的吸收系数比 1% 多晶 Nd:YAG 小 15%,最大吸收峰都是 808.6 nm^[4]。表 1 列举了单晶和多晶 Nd:YAG 的物理特性参数,多晶比单晶最高掺杂浓度高很多,高的掺杂浓度能提高晶体对抽运光的吸收,多晶最大吸收系数是单晶的 6 倍。它们的热导率相似,多晶略小于单晶。折射率相同, $^4F_{3/2}$ 能级的荧光寿命都是 255 μs,荧光 linewidth 相同,都是 6.5 cm^{-1} 。

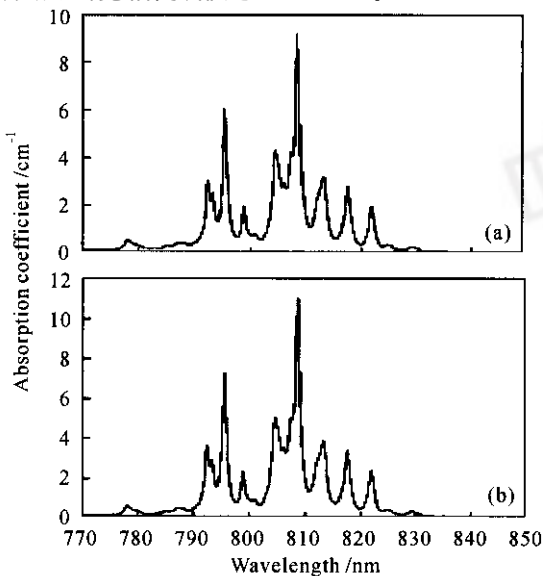


图 1 770~850 nm 的吸收光谱

(a) 掺杂 0.9% 的 Nd:YAG 单晶; (b) 掺 1% 的 Nd:YAG 多晶

Fig. 1 Absorption spectrum from 770 nm to 850 nm

(a) 0.9% Nd:YAG single crystal; (b) 1% Nd:YAG ceramic

表 1 Nd:YAG 单晶和多晶的性能比较

Table 1 Properties of Nd:YAG crystal and Nd:YAG ceramic

	Ceramics	Crystal
Doping [max.] / %	6.8	1.2
Absorption coefficient [max.] / cm^{-1}	60	10
Thermal conductivity / ($\text{W/m} \cdot \text{K}$)	10.5	11
Refractive index	1.8	1.8
Lifetime of $^4F_{3/2}$ / μs	255	255
Linewidth / cm^{-1}	6.5	6.5

3 实验结果

整个激光器主要包括 3 部分:光学耦合系统、温度控制系统和谐振腔。实验中所用的带光纤输出的激光二极管的最大输出功率为 16 W,光纤芯径为 600 μm,中心发射波长 808 nm,系统用恒温循环器进行温度控制。光纤输出经过两个透镜组成的耦合系统来聚焦抽运多晶 Nd:YAG,实验装置如图 2 所示。掺杂浓度为 1% 的多晶 Nd:YAG 通光方向长度为 5 mm,平平谐振腔由多晶体的一个端面 and 输出镜构成,晶体的抽运端面镀 1.06 μm 全反膜,输出耦合镜镀 1.06 μm 的部分反射膜,反射率为 97%,整个腔长为 60 mm。多晶体用铝箔包裹,放入水冷紫铜块中,保持较好的热接触,水温保持在 15℃。

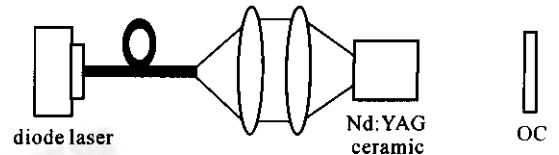


图 2 端面抽运 1.06 μm 多晶激光器示意图

Fig. 2 Schematic diagram of end pumped 1.06 μm Nd:YAG ceramic laser

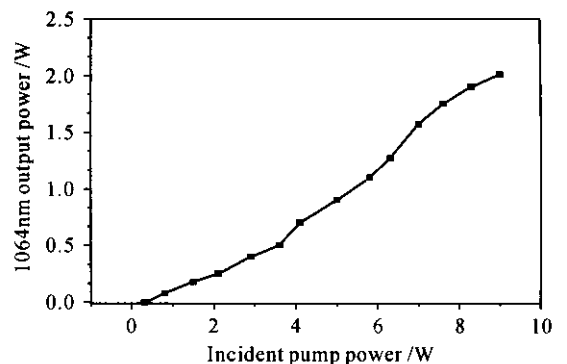


图 3 1.06 μm 输出功率与抽运功率的关系

Fig. 3 1.06 μm output power as a function of the incident pump power

调整 LD 温度,使其发射谱处于 Nd:YAG 的吸收峰 808.6 nm 处,提高多晶体对抽运光的吸收。在抽运功率为 0.3 W 时,激光达到阈值开始输出,随着抽运功率的增加,激光输出功率随之增大。当抽运功率增加到 9 W 时,输出功率为 2 W,激光器斜率效率为 22.2%。在整个抽运过程中,激光器基横模运转。测量了激光器的输入-输出曲线,如图 3 所示。

4 结 论

多晶 Nd:YAG 因具有生产周期短、吸收系数高、可高掺杂等优点而具有广泛的应用前景。吸收系数高使它非常适合于激光二极管抽运,而高掺杂使它适合制成紧凑的微片激光器和单频激光器。除此之外,和 Nd:YVO₄ 相比它的热导率也高得多。

实验表明多晶 Nd:YAG 激光发射在 1.06 μm 波段表现出和单晶相似的特性,结合自身的优点而具有广泛的应用前景。谐振腔和输出镜的优化设计将会进一步提高激光器的整体效率。

参 考 文 献

- 1 D. Golla, S. Knoke, W. Schöne *et al.*. 300-W cw diode-laser side-pumped Nd:YAG rod laser [J]. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(10): 1148~1150
- 2 J. Lu, T. Murai, K. Takaichi *et al.*. 72 W Nd:Y₃Al₅O₁₂ ceramic laser [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2001, **78**(23): 3586~3588
- 3 J. Lu, M. Prabhu, J. Xu *et al.*. High efficient 2% Nd:yttrium aluminum garnet ceramic laser [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2000, **77**(23): 3707~3709
- 4 J. Lu, M. Prabhu, J. Song *et al.*. Optical properties and highly efficient laser oscillation of Nd:YAG ceramics [J]. *Appl. Phys. B*, 2000, **71**(4): 469~473

3~5 μm 中红外 ZnGeP₂ 光参量振荡器输出功率达到 0.7 W

用光纤耦合激光二极管抽运的 Tm, Ho:YLF 激光器作抽运源, ZnGeP₂ 作非线性晶体, 研制成功了中红外光参量振荡器(OPO), 在 4.1 μm 波长处输出功率达到 0.7 W。

ZnGeP₂ 晶体具有良好的机械特性, 1~12 μm 宽的透明范围, 较大的非线性系数 ($d_{36} = 75 \pm 8$ pm/V), 最高损伤阈能量密度为 10 J/cm², 较高的热导率(0.35 W/cm·K), 因而非常适合作高功率中红外 OPO 晶体。该晶体在 2.05 μm 处的吸收系数约 0.1 cm⁻¹, 测得的抽运光被 15 mm 长晶体吸收约 15%。ZnGeP₂ 晶体折射率随温度变化相对较大而双折射随温度变化则小得多, 因而晶体在高平均功率条件下工作时仍能保持最优相位匹配条件。

研制的 Tm, Ho:YLF 激光器连续输出功率大于 5 W, 在谐振腔内 10 kHz 的声光 Q 开关调制下,

激光脉冲宽度达 36 ns。为降低起振阈值, OPO 采用双谐振运行方式。抽运光由 CaF₂ 模式匹配透镜耦合到 OPO 谐振腔中, 在抽运功率 3.6 W 条件下, OPO 输出功率为 0.7 W, 光-光转换效率达 20%, 抽运光阈功率为 0.65 W(65 μJ/脉冲)。用 WDG50 型光栅单色仪测得的输出波长为 4.1 μm(光栅 150 条/mm, 闪耀波长 4 μm), 快响应 HgCdTe 探测器测得的脉冲宽度小于 20 ns。ZnGeP₂ OPO 可在 3.5~4.8 μm 范围内连续调谐。

哈尔滨工业大学可调谐激光国家级重点实验室,

黑龙江 哈尔滨 150001

姚宝权, 王月珠, 李玉峰, 贺万俊,

王 骐, 鞠有伦, 于 欣

收稿日期: 2003-12-08