

文章编号: 1001-3806(2005)06-0599-02

Nd:CNGG 晶体的生长及其性能研究

张辉荣, 徐观峰, 李斌
(西南技术物理研究所, 成都 610041)

摘要: 报道了 Nd:CNGG 晶体的生长, 并对其结构、透过谱以及激光振荡性能进行了研究。利用 1W 的激光二极管为抽运源, 在吸收功率为 670mW 时获得 123.1mW 的 1.062 μ m 连续激光输出, 斜效率达到 22.3%。结果表明, Nd:CNGG 晶体是一种非常适合激光二极管抽运的固体激光材料。

关键词: 固体激光材料; Nd:CNGG 晶体; 晶体生长; 激光二极管抽运

中图分类号: O782 文献标识码: A

Growth of Nd:CNGG crystals and investigation of its properties

ZHANG Hui-rong, XU Guan-feng, LI Bin
(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract Growth of Nd:CNGG crystal is reported and its structure, transmission spectrum and laser oscillation properties are described. Employing a 1W laser diode as a pump source, when the pump power is 670mW, the output power of 123.1mW at 1.062 μ m is obtained with slope efficiency of 22.3%. Nd:CNGG crystal is expected to be a prospective LD-pumping solid-state laser material.

Key words solid state laser material; Nd:CNGG crystal; crystal growth; LD-pumping

引 言

众所周知, 激光二极管抽运固体激光器是激光器发展的一个重要方向, 因为激光二极管 (LD) 寿命长、可靠性高, 用它抽运固体激光器可以做到小型化、高效率, 而且可以产生高功率。通常固体激光器的光源是 Nd:YAG 的 1.06 μ m, 但 Nd:YAG 晶体的吸收带窄, 此外 LD 波长随温度的变化有漂移, 因此, 为了提高抽运功率, 就要求对 LD 的温度进行控制, 这样就使 LD 抽运的激光器变得复杂化。

近几年发现的 $C_{3x}(Nb, Ga)_{2-x}G_{2x}O_{12}$ (CNGG) 由于具有无序结构, 它吸收带宽使它有利于进行激光二极管抽运。因此, 它被认为是适合于 LD 抽运激光器中有前景的材料之一。1993 年, 日本材料研究所的 SHIMAMURA 等^[1] 用提拉法生长出了 $\varnothing 25\text{mm} \times 70\text{mm}$ 的 Nd:CNGG 和 Ho:Tm:CNGG。在 LD 的 808nm 附近, Nd:CNGG 的吸收带宽度为 35nm, 而 Nd:YAG 为 10nm。用 LD 抽运首次实现 Nd:CNGG 的激光运转, 用 LD 抽运 $\varnothing 6\text{mm} \times 3\text{mm}$ 的未增透 Nd:CNGG 片子, 得到光-光效率 7.3%, 斜效率 13.8%, 并认为 Nd:CNGG 的激光

性能可以与 Nd:YAG 媲美。特别值得一提的是, 印度学者 MALLIK 等^[2] 利用激光二极管阵列抽运 $\varnothing 3\text{mm} \times 10\text{mm}$ Nd:CNGG 激光棒, 在输入峰值功率 800W 时产生了平均约 30W 的输出。意大利学者 AGNESI 等^[3] 报到了室温下 Nd:CNGG 在 800nm 附近的吸收光谱。利用 800nm 的激光二极管抽运 Nd:CNGG 晶体, 第 1 次产生了 1054.3nm ~ 1074.5nm 的连续调谐激光输出, 在入射功率为 1.47W (吸收功率为 1.28W) 时, 产生 280mW 的激光输出, 斜效率为 32.6%, 光-光转换效率达到 19%, 并且利用主动锁模技术, 在波长为 1058.6nm, 1061.2nm, 1065.4nm 的激光处产生了脉冲周期为 9.6ps, 18ps, 19.7ps 的短脉冲。

此外, CNGG 晶体熔点低, 仅 1470 $^{\circ}$ C, 可以用铂金坩埚在空气中生长。本文中用提拉法成功生长出了 Nd:CNGG 新型激光晶体, 并对其结构、透过谱和激光振荡性能进行了研究。

1 晶体生长

用提拉法生长 Nd:CNGG 晶体, 气氛为空气, 装料用铂金坩埚, 发热体采用硅钼棒, 利用浮称自动控制晶体生长。按照质量分数为 36.47% : 27.24% : 36.28% 将 CaCO_3 , Nb_2O_5 , Ga_2O_3 这 3 种原料进行配料, 并在 1300 $^{\circ}$ C 左右烧结。掺入质量分数为 1% ~ 3.5% 的 Nd_2O_3 。

晶体生长方向 $\langle 111 \rangle$, 生长速度为 0.5mm/h ~

作者简介: 张辉荣 (1973), 男, 高级工程师, 主要从事 LNiO₃ 系列晶体材料的生长、研究和销售工作。

E-mail: zhuirong00@163.com

收稿日期: 2004-11-01; 收到修改稿日期: 2005-01-11

2.5mm/h, 转速为 20r/min~70r/min, 最后成功生长出了 $\varnothing(20\text{mm} \sim 30\text{mm}) \times (80\text{mm} \sim 100\text{mm})$ 的透明 Nd:CNGG 晶体, 所生产的晶体未见包裹体和散射, 具有良好的光学质量。图 1 为生长的晶体照片。



Fig 1 The photo of Nd:CNGG crystal

2 晶体的结构分析

利用日本理光 D/max-rA12kW 转靶 X-Y 射线衍射仪、Cu 靶/石墨单色器、X-Y 精绘仪作图, 计算机进行指标化, 得出了如下的结果, 图 2 为测得的 Nd:CNGG 晶体的 X 射线粉末衍射图。

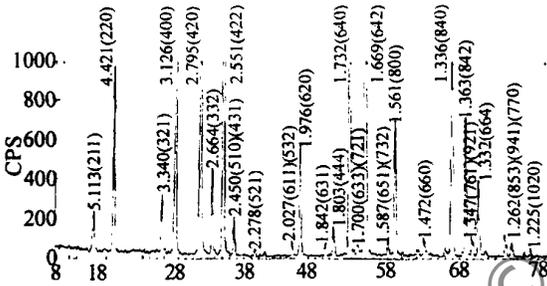


Fig 2 X-ray diffraction patterns of Nd:CNGG crystal

Nd:CNGG 晶体结构为体心立方, 晶格常数 $a_0 = 1.25054\text{nm}$, 晶胞体积为 1.94938nm^3 , 与俄罗斯学者报道的 Nd:CNGG 晶体 $a_0 = 1.25056\text{nm}$ 相一致^[4]。

3 晶体的透过谱

用分光光度计测试了的 Nd:CNGG 晶体的透过谱, 样品厚度为 3mm, 掺入质量分数为 2.5% 的 Nd_2O_3 , 样品表面未增透, 有正常反射存在。图 3 为

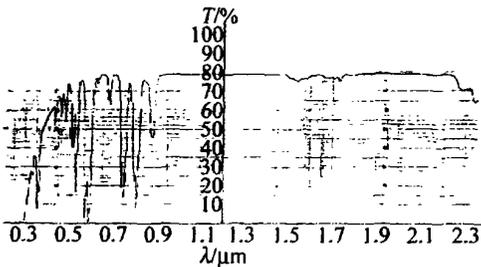


Fig 3 The transmission spectrum of Nd:CNGG crystal

Nd:CNGG 晶体的 $0.3\mu\text{m} \sim 2.5\mu\text{m}$ 波长区的透过率曲线, 从曲线可以看出, 在 Nd:CNGG 晶体的激光输出波长 $1.062\mu\text{m}$ 处没有吸收存在, 而在 LD 发射波长区 807nm 处有强吸收带。这表明 Nd:CNGG 晶体完全可

以用激光二极管作为抽运源进行抽运。

$$\alpha = -\ln(I/I_0)/L \quad (1)$$

式中, I 和 I_0 分别是出射光和入射光强度, L 为样品厚度, α 为吸收系数。

由透过图谱可以知道, 807nm 的透过率为 7.5%, 由上述公式计算出 Nd:CNGG 晶体的吸收系数为 8.63cm^{-1} 。

晶体吸收截面的计算公式为^[5]:

$$\sigma_a = \ln(I_0/I)/(N_0L) \quad (2)$$

式中, σ_a 为晶体吸收截面, N_0 为 Nd^{3+} 的粒子数, 其余符号意义同前。 Nd^{3+} 在 Nd:CNGG 晶体的粒子数为 $2.125 \times 10^{20}/\text{cm}^3$, 根据该公式计算出 Nd:CNGG 晶体的吸收截面为 $4.06 \times 10^{-20}\text{cm}^2$ 。

4 Nd:CNGG 晶体的激光性能

将 Nd:CNGG 晶体 (Nd_2O_3 质量分数为 2.5%) 抛光成 $4\text{mm} \times 4\text{mm} \times 2\text{mm}$ 的片子, 2mm 为片子厚度, 片子一面对 $1.062\mu\text{m}$ 高反, 反射率 $R \geq 99\%$, 对 806nm 高透, 透过率 $T \geq 90\%$; 另一面对 $1.062\mu\text{m}$ 增透, 反射率 $R \leq 0.2\%$ 。

用最大功率约 1W , 波长 806nm 的 LD 抽运 Nd:CNGG 晶体片子, LD 控温精度约 0.01°C , 采用面对面的抽运方式, Nd:CNGG 片子的一个面作为腔面, 采用平凹腔, 腔长 $L = 25\text{mm}$, 曲率半径 $R = 50\text{mm}$, 输出耦合 1% 左右, 在此条件下, 激光波长为 $1.062\mu\text{m}$ 的连续激光输出功率达 123mW , 晶体吸收的抽运功率为 670mW , 斜效率为 22.3%, 光-光转换效率为 18.4%, 输出功率的稳定度为 $\pm 1\%$ 。实验还表明, Nd:CNGG 晶体的最大工作温度范围 (输出功率下降到一半时) 超过 30°C , 因此, 用 LD 抽运 Nd:CNGG 时, 在冬夏两季可以不加温控。

5 结论

用熔体提拉法生长的 Nd:CNGG 晶体达到 $\varnothing(20\text{mm} \sim 30\text{mm}) \times (80\text{mm} \sim 100\text{mm})$, 测定了它的 X 射线衍射图谱, 其晶格常数 $a_0 = 1.25054\text{nm}$, 测量了 Nd:CNGG 晶体的透过率, 计算了该晶体在 807nm 的吸收系数为 8.63cm^{-1} , 吸收截面为 $4.06 \times 10^{-20}\text{cm}^2$, 并对其激光振荡性能进行了研究, 用单只 LD 抽运获得了 123mW 的单模连续激光输出, 斜效率为 22.3%, 最大工作温度范围大于 30°C , 认为它是一种适合于激光二极管抽运固体激光器的有前景的材料。

感谢山西大学李瑞宁教授在研究 Nd:CNGG 晶体激光性能方面所给予的热情帮助和支持。

射,再经全反镜 M_3 反射后通过一个 $\lambda/2$ 波片变成 p 偏振的光,此光即作为抽运光;而被 M 反射的光进入两个单池 SBS 系统,最后从偏振片 P_3 透射作为 Stokes 种子光,偏振态与抽运光相同。抽运光透过 $\lambda/4$ 波片经透镜 L 聚焦进入池子,Stokes 种子光也透过 $\lambda/4$ 波片与抽运光反向进入池子。产生的 SBS 与抽运光反向,从 P_2 出射。抽运光和 Stokes 种子光在 SBS 产生池中的对准非常重要,实验中要保证池中抽运光到达焦点时 Stokes 种子光也到达焦点处。入射的抽运光和产生的 Stokes 光能量分别用能量计 ED_1 (ED200) 和 ED_2 (ED200) 探测,入射的 Stokes 种子光用 ED_3 (ED200) 探测。强流管探测脉冲波形,并用数字示波器 TDS684A 记录。

同样研究了不同焦距时 SBS 脉冲波形随种子光强度的变化。透镜 L 焦距仍然分别取 5cm 和 10cm,实验时抽运光能量为 6.2mJ 种子光的能量从 2.6mJ 变化到 6×10^{-5} mJ 计算得其功率密度近似从 10^{-11} MW/cm² 增加到 10^{-6} MW/cm²。

与稳态抽运相似,图 5 是焦距为 5cm 时记录的噪声场生长的 SBS 脉冲波形以及种子场诱导的 SBS 随种子光的变化,从图中可以得到与稳态抽运相似的规律,脉冲宽度随种子光的增强而增宽。

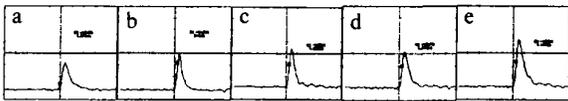


Fig 5 $f = 5$ cm dependence of pulse shapes on Stokes seed intensity a—pump b—SBS without seed c— 1.0×10^{-11} MW/cm² d— 1.0×10^{-9} MW/cm² e— 1.0×10^{-7} MW/cm²

图 6 是实验测得的不同焦距下 SBS 脉冲宽度随 Stokes 种子光功率密度的变化。其中三角点和方点分

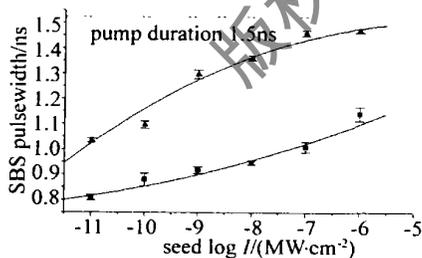


Fig 6 Dependence of SBS pulse width on seed intensity with different focal length

别对应着 $f = 5$ cm 和 $f = 10$ cm 所测得的实验点,而曲线是拟合的变化规律。实验中,抽运脉冲宽度的平均值大约为 1.5 ns。从图中可以看出:随着种子光功率密度的增加,短焦距和长焦距的 SBS 脉冲宽度都增宽;但是短焦距的脉宽比长焦距时宽,并且趋近于抽运脉宽。实验中也发现,随着种子光功率密度的增加,SBS 阈值降低,SBS 起始点提前,这又导致了脉冲波形的不稳定。这里计算曲线中最佳的脉冲波形保真度,焦距为 5cm 时约为 92%,焦距为 10cm 时约为 73%。与稳态抽运相比较,瞬态抽运的 SBS 脉冲波形受焦距的影响要大一些,短焦距能得到更高的脉冲波形保真度。

2 结 论

对提出的“种子场诱导的 SBS”实现脉冲波形保真进行了实验研究,主要研究了稳态抽运和瞬态抽运的种子场诱导 SBS 脉冲波形在不同聚焦透镜下随种子光强的变化,得出了如下规律:透镜对稳态抽运 SBS 脉冲波形影响较小,而对瞬态抽运影响显著,瞬态抽运下,短焦距更能实现脉冲波形保真;随着种子光的增强,Stokes 脉冲能量提高,脉冲波形的保真度增加,实验中脉冲波形保真度最高可达 90% 以上,但是太强的种子光会增加波形的不稳定性。

参 考 文 献

- [1] 张 华, 范滇元. 受激布里渊散射在 ICF 激光驱动器中的应用 [J]. 激光杂志, 2000, 21(2): 7~9.
- [2] 丁迎春, 吕志伟, 何伟明. 布里渊放大研究的进展 [J]. 激光技术, 2002, 26(4): 314~317.
- [3] FAN D Y, WEN G J, LU J X. Four-pass laser amplifier with active SBS mirror for application to ICF driver [J]. Proc SPIE, 1995, 2633: 29~35.
- [4] WEN G J, LU J X, FAN D Y. Active SBS mirror applied to ICF driver [J]. Proc SPIE, 1995, 2633: 554~564.
- [5] PALASHOV O V, KHAZANOV E A, ANDREEV N F. Nd:YAG laser with a stimulated Brillouin scattering mirror and variable pulse duration [J]. Opt Engng, 2000, 39(6): 1536~1542.
- [6] SCHMANN S, UBACHS W, HOGERVORST W. Efficient temporal compression of coherent nanosecond pulses in a compact SBS generator amplifier setup [J]. IEEE J Q E, 1997, 33(3): 358~366.
- [7] 哈斯乌力吉, 吕志伟, 何伟明. 受激布里渊散射中的液体介质 [J]. 激光技术, 2003, 27(3): 216~219.
- [8] SPE, 1999, 3898: 132~138.
- [9] AGNESIA, DELL'ACQUA S, GUANDALINI A *et al*. Optical spectroscopy and diode-pumped laser performance of Nd³⁺ in the CNGG crystal [J]. IEEE J Q E, 2001, 37(2): 304~313.
- [10] VOROM'KO Y K, GESSON S B, ESKOV N A *et al*. Spectroscopic and lasing properties of calcium niobium gallium garnet activated with Cr³⁺ and Nd³⁺ [J]. Soviet J Q E, 1988, 18(2): 198~201.
- [11] 兰建明, 陈建中, 郭云飞 *et al*. Yb:YVO₄ 晶体的生长及光谱性能研究 [J]. 人工晶体学报, 2003, 32(1): 44~49.

(上接第 600 页)

参 考 文 献

- [1] SHIMAMURA K, TMOSECHKIN M, SASAKI T *et al*. Growth and characterization of calcium niobium gallium garnet (CNGG) single crystals for laser applications [J]. Crystal Growth, 1993, 128(1~4): 1021~1024.
- [2] MALLIK A, AGRAWAL L. Compact high-power diode array pumped Nd:CNGG laser employing cusp geometry optical coupling [J]. Proc