

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0032-03

低温下运行的LD抽运Tm,Ho:YLF激光器

姚宝权, 王月珠, 董力强, 李玉峰

(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)

摘要 研究了在低温条件下,利用功率为2 W的激光二极管(LD)抽运液氮制冷Tm(6%),Ho(0.5%):YLF激光器,产生波长为2.05 μm 的线偏振连续激光输出,最大功率350 mW,光-光转换效率为20%。

关键词 激光技术; Tm,Ho:YLF激光器; LD抽运; 低温运行

中图分类号 TN248.1

文献标识码 A

Experimental Study of Tm,Ho:YLF Laser Cooled by Liquid N₂

YAO Bao-quan, WANG Yue-zhu, DONG Li-qiang, LI Yu-feng

(National key laboratory of tunable laser technology, Harbin Institute of Technology,
Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract Tm (6%), Ho (0.5%):YLF laser cooled by liquid nitrogen pumped by a laser diode with 792 nm wavelength was studied in theory and experiment. The maximum 350 mW output power was obtained, and optical-optical conversion efficiency is 20% corresponding to 28% slope efficiency. The threshold power and output power dependence on the temperature of Tm,Ho:YLF crystal and the wavelength of LD were also studied.

Key words laser technology; Tm,Ho:YLF laser; LD pumping; cryogenic operation

1 引言

由于常温下, Ho激光为准三能级系统, 重吸收损耗导致高阈值, 高激发态粒子数产生严重的上转换损耗, Tm, Ho之间的传递速率低等因素限制了其高效运行。所以本文采用了液氮制冷方式, 使激光晶体工作在100 K以下, 使激光器工作近似四能级系统; 另外LD的窄光谱特性使其能够精确对准晶体吸收峰; 加之纵向抽运光束与激光光束空间上重叠好, 因此激光器能够达到近量子极限的转换效率。

2 理论分析

2.1 晶体特性

氟化钇锂晶体(YLF)分子式为: LiYF_4 , 属于四方晶系。YLF晶体有两个等价的 a 轴和一个 c 轴。 a 轴晶体随着偏振的选择可获得两种波长的激光, 一种是电矢量平行于 c 轴的 π 偏振光; 另一种是电矢量垂直于 c 轴的 σ 偏振光。 a 轴晶体的热膨胀系数大于 c 轴晶体。这种晶体的特点是在紫外光谱区吸收

损耗小, 非线性折射系数小, 非常适合于三价稀土金属离子(例如 Tm^{3+} , Ho^{3+})的掺杂。

掺有三价稀土离子的YLF晶体有较高的光存储容量。在同样抽运条件下YLF的热透镜效应只有YAG的1/10。但是YLF晶体为各向异性的, 应力系数也不是各向同性, 热畸变是不规则的。YLF为自然双折射, 线偏振输出, 没有YAG基质的热致双折射损耗。

2.2 Tm^{3+} 能级的交叉弛豫特性

Tm, Ho激光介质中, 若 Tm^{3+} 浓度在典型的3%~12%之间, 被激发的相邻离子之间就可能发生交叉弛豫: 一种交叉弛豫形式是与 $^3\text{H}_4$ 多重态的Tm原子发生, 另一种是与 $^3\text{H}_6$ 基态的Tm原子发生; 当 $^3\text{H}_4$ 态发生量子弛豫时, $^3\text{H}_6$ 态的量子被激发到 $^3\text{F}_4$ 多重态上, 因而一个在 $^3\text{H}_4$ 多重态上被激发的量子在 $^3\text{F}_4$ 产生两个被激发的量子, 因此理论抽运量子效率为2。 Tm^{3+} 的 $^3\text{F}_4$ 能级粒子将能量传递给 Ho^{3+} 的 $^5\text{I}_7$ 能级, 2.05 μm 的激光发生在钬中的 $^5\text{I}_7$ 和 $^5\text{I}_8$ 能级之间。

基金项目: 哈尔滨工业大学校基金(HIT-2002-14)资助课题。

作者简介: 姚宝权(1970-), 男, 哈尔滨工业大学副教授, 博士, 主要从事固体激光器及非线性光学应用技术研究。

E-mail: bqyao@mail.hl.cn

2.3 激光阈值计算

根据准三能级的激光器理论, 计算端面抽运的 Tm, Ho:YLF 阈值公式如下^[1]

$$p_{th} = \frac{\pi h c (w_i^2 + w_p^2) \times (L + T_{out} + 2f_i N_{Ho} \sigma_l)}{4(f_u + f_i) \sigma_l \lambda_p \eta_p} \quad (1)$$

式中 h 为普朗克常数, c 为光速, w_i 为激光束腰半径, w_p 为抽运光半径, L 为腔内损耗, T_{out} 为输出镜透射率, f_i 为 Ho³⁺ 激光下能级某一斯塔克能级占 ⁵I₈ 整个能级的粒子数比值, f_u 是激光上能级某一斯塔克能级的粒子数占整个 ⁵I₇ 能级粒子数的比值, N_{Ho} 为 Ho³⁺ 粒子数密度, σ_l 为激光受激发射截面, τ 为激光上能级寿命, λ_p 为抽运光波长, η_p 为抽运量子效率。计算中, $T_{out}=0.23$, $\lambda_p=792$ nm, $\tau=15$ ms, $\eta_p=2$, $\sigma_l=1.5 \times 10^{-19}$ cm²。

图 1 为纵向抽运 Tm, Ho:YLF 激光器阈值与晶体温度关系。随着温度的降低, $1+f_i/f_u$ 的值不断减小, 低温状态下, 该系数接近于 1, 此时准三能级系统变为四能级系统。在反转到上能级的粒子数密度很小的条件下就能实现粒子数反转和较高的增益, 低上激发态密度能够有效减小上转换损耗。

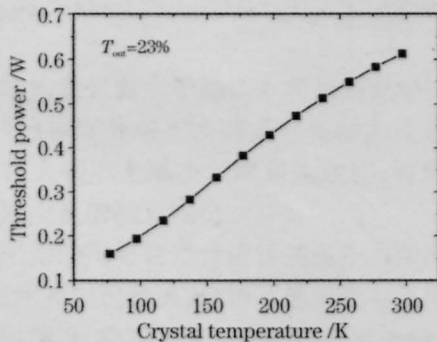


图 1 纵向抽运 Tm, Ho:YLF 激光器阈值与晶体温度关系

Fig.1 Threshold power of Tm, Ho:YLF versus the crystal temperature

3 实验

3.1 实验装置

激光二极管纵向抽运的 Tm, Ho:YLF 激光器的结构如图 2 所示。

在实验中采用美国相干公司的单管半导体激光器, 型号为 S-79-3000C-200-H/L, 最大连续输出功率 2.7W, 其发光面的尺寸为 200 μ m \times 1 μ m。经一快轴准直透镜压缩后, 平行于 P-N 结方向上的远场发散角 7°(FWHM), 而垂直于结方向上的发散角为 2°。在室温 25 $^{\circ}$ C 条件下, 测量的 LD 发射光谱中心波长为 792.8nm。通过控制其工作温度可以对输出波长进行调谐, 波长随温度的变化率为 0.28 nm/ $^{\circ}$ C。

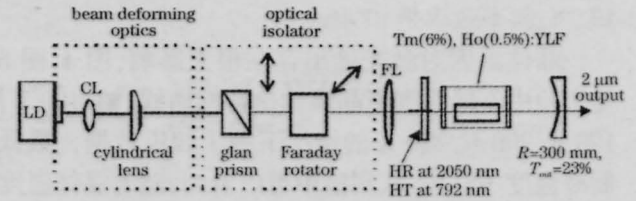


图 2 激光二极管纵向抽运的 Tm, Ho:YLF 实验装置图

Fig.2 Schematic of the experimental set-up of LD end-pumped Tm, Ho:YLF laser

激光二极管发出的激光首先由一焦距为 8 mm 的凸透镜(CL)收集并准直, 然后经一焦距为 100 mm 柱透镜整形。为了防止 792 nm 激光返回半导体激光器中, 影响激光器的正常工作, 采用格兰棱镜和法拉第磁光旋转器组成光学隔离器。LD 抽运光束经一块焦距为 100 mm 的透镜(FL)聚焦, 在晶体内会聚成一个椭圆形的光斑。由于各光学元件表面都镀有 792 nm 增透膜, 耦合系统总的光学传输效率约为 82%。

激光工作物质采用较长的 Tm, Ho:YLF 激光晶体, 由 EKSPA 公司提供, 晶体尺寸是 5 mm \times 5 mm \times 10 mm, 掺杂浓度是 Tm:6%, Ho:0.5%。激光晶体的两个端面都经过严格的光学研磨, 并镀光学增透膜。晶体是沿 a 轴生长, [100] 方向切割, c 轴与端面平行并与一个侧面垂直。此晶体即可以一端抽运, 又适合两端面同时抽运。晶体用钢箔包裹安装在与液氮接触的紫铜冷凝管中。

3.2 实验结果与讨论

当温度在 100 K 时, 激光输入和输出功率的关系曲线如图 3 所示。抽运光经过光束传输系统后转换效率是 82%。当抽运光输出功率高出阈值后, 激光器输出比较稳定, 在抽运功率 1.4 W 时, 得到激光输出 275 mW, 抽运阈值 230 mW, 光-光转换效率达

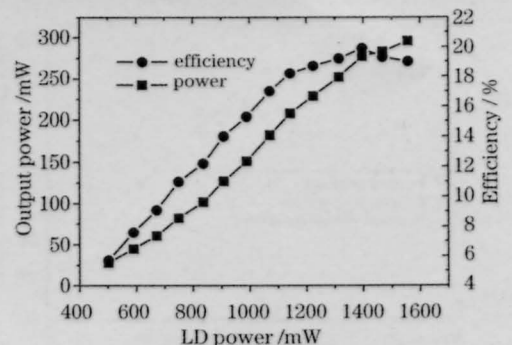


图 3 激光输出功率及光-光转换效率与输入 LD 抽运光功率关系

Fig.3 Tm, Ho:YLF Output power and conversion efficiency versus input LD power

19.9%,斜率效率是 27.4%。

晶体温度对激光输出存在很大影响,图 4,图 5 是实验中不同温度下晶体输出特性曲线。在 100 K, 170 K, 200 K, 220 K 的情况下测了四组数据, 最低制冷温度 100 K。从实验中可以看到,随着晶体温度的升高,激光的输出功率不断下降,阈值不断升高。

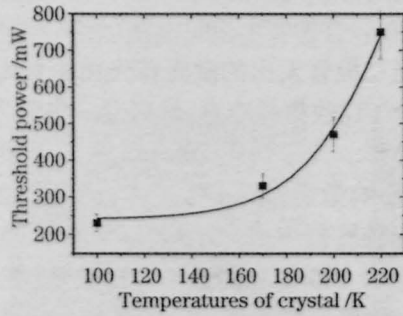


图 4 不同晶体温度对 Tm,Ho:YLF 激光器阈值的的影响

Fig.4 Threshold power of Tm,Ho:YLF dependence on crystal temperature

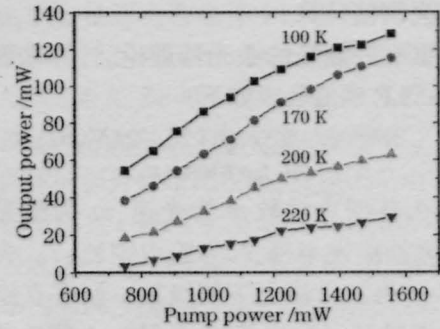


图 5 不同晶体温度对输出功率的影响

Fig.5 Output power of Tm,Ho:YLF dependence on output power

这和理论相符合,低温情况下变频效应不是很大,所以阈值降低,转换效率提高。

参 考 文 献

- 1 W. P. Risk. Modeling of longitudinally pumped solid-state lasers exhibiting reabsorption losses[J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1988, 5(7):1412~1423