

内泵浦的小型管状 Nd:YAG 激光器的初步实验研究

巩马理 万作文 金 锋 梁泽荣

宋定熙 吴有武 刘光华

(西南技术物理研究所新激光技术实验室, 成都 610041)

摘 要 介绍了小型化的内泵浦管状 Nd:YAG 激光器的设计及初步实验结果, 斜效率达 2.73%, 得到了近 3 J 的脉冲能量输出。

关键词 管状固体激光器, 内泵浦。

1 引 言

固体激光器的激活物质可以采用三种几何结构: 棒状、板条及管状结构, 由于泵浦方式及聚光腔的结构不一样, 其效率也不一样。采用管状结构是固体激光器研究的一项新进展, 在内泵浦方式下, Wittrock 等人^[1]获得了 9% 的斜效率, 迄今为止, 这一结果是闪光灯泵浦的固体激光器所能达到的最高效率。在管外进行闪光灯泵浦的管状固体激光器也被建议^[2~3], 在国内, 也报道了采用管状几何形状的转动圆筒玻璃激光器^[4], 但是其效率比内泵浦的管状激光器要低。小型固体激光器在军用上具有重要的实用价值, 尤其是近期内二极管泵浦的器件由于价格较高而不能大量推广的情况下, 小型管状激光器件可望使实验效率明显提高, 更具有研究和开发的价值。本文报道了内泵浦小型管状固体激光器的初步实验结果。

2 器件结构与实验结果

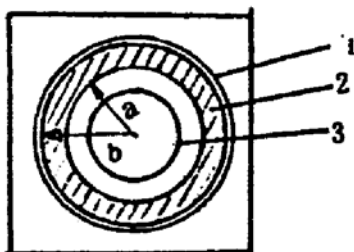


Fig. 1 Cut-away view of tube laser

1-pump cavity, 2-Nd:YAG tube, 3-flashlamp

管状固体激光器早在七十年代就有报道^[5], 但由于其加工的困难, 进展一直较缓慢。作者克服了加工的困难, 从同一根 Nd:YAG 毛坯晶体中取出了一根棒状及管状晶体, 以便作比较实验。棒状晶体为 $\phi 3.5 \times 51$ mm, 管状晶体的内外直径分别为 $\phi 6.5$ mm 和 $\phi 10$ mm, 长度为 51 mm, 棒状及管状激光器的泵浦灯分别为 $\phi 4 \times 51$ mm 和 $\phi 5 \times 50$ mm。实验中采用平-平腔, 腔长约为 190 mm。

管状固体激光器的结构剖面图如图 1 所示, 激活物质的

内外半径分别为 a 和 b 。在管状晶体的外面用聚四氟乙烯作聚光腔, 管轴线处为泵浦闪光灯, 可对管状晶体均匀泵浦。由于较大体积的管状工作物质可以通过其内外壁得到冷却, 其热效应较小。在相同的泵浦能量下, 比较管状介质与棒状介质的最大温度差, 在均匀发热模型中^[5], 两种激活介质的最大温度差之比为:

$$\frac{\Delta T_c}{\Delta T_r} = \frac{4Q_i}{d^2Q_r} \left[a^2 + \frac{1}{2} c^2 \left(\ln \frac{c^2}{2a^2} - 1 \right) \right]$$

由于管状晶体的体积是棒状晶体的 4.7 倍, 在均匀加热模型中, 其单位体积的发热量 Q 是棒状晶体的 $1/4.7$, 取 YAG 参数值 $H = 1 \text{ W/cm}^2 \text{ K}$, $k = 0.13 \text{ W/cm K}$, 将晶体的实际尺寸代入上面的公式, 发现管状介质的最大温度差是棒状介质的 0.1 倍, 也就是说, 在相同的泵浦能量下, 管状激光介质的热效应要小得多。在管状激光器中, 由温度分布引起的折射率变化近似为抛物线分布, 这种效应等效于一个正焦距的复曲率透镜, 从而改变了谐振腔的等效 g 参数, 因而平-平腔变成一个复曲率稳腔。

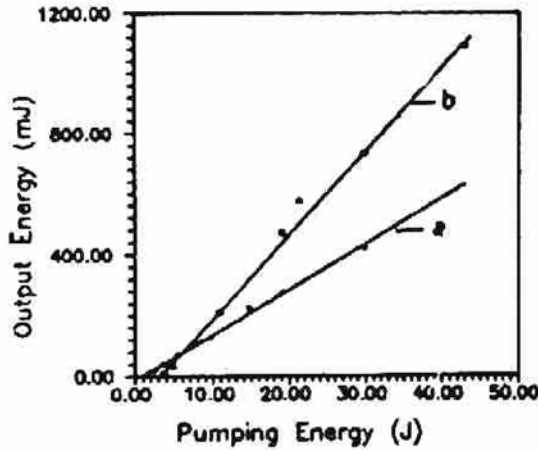


Fig. 2 Laser pulse efficiency versus pump pulse energy for the rod (curve a) and the tube laser (curve b)

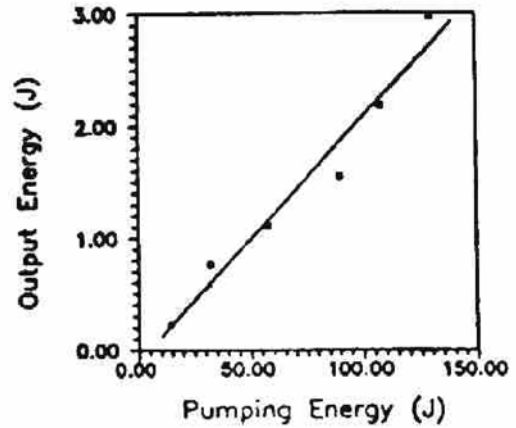


Fig. 3 Laser pulse energy versus pump pulse energy for flashlamp with 6-mm diameter

在不同透射率输出镜时, 测量棒状激光器的输出能量, 找出了其最佳输出曲线, 当输出镜透射率等于 51% 时, 其斜效率达到最大, 为 1.48%, 在 30 J 输入电能量时, 得到了 421 mJ 的输出激光能量, 如图 2 中曲线 a 所示。然后测量管状固体激光器的输出曲线, 如图 2 中曲线 b 所示, 在输出镜透射率为 51% 时得到的斜效率为 2.73%, 和从同一根毛坯晶体中取出的棒状激光器比较, 其斜效率明显提高, 斜效率提高了 85%, 在输入电能量为 43.2 J 时, 输出光能量超过 1 J, 在 15 J 的脉冲能量泵浦下, 总效率提高了 0.7 倍。为了提高管状激光器的输出光能量, 可以用 $\phi 6 \text{ mm}$ 的泵浦灯代替 $\phi 5 \text{ mm}$ 泵浦灯, 在 $\phi 6 \text{ mm}$ 的泵浦灯下, 其输出曲线如图 3 所示, 输入电能量为 130 J 时, 输出光能量为 3 J。在本实验中, 管状 Nd:YAG 晶体的体积是棒状 Nd:YAG 晶体的 4.7 倍, 其阈值能量要较棒状晶体大, 在图 2 中, 从直线与横轴的交点得到了棒状晶体和管状晶体的阈值能量, 分别为 0.73 J 和 3.12 J, 管状晶体阈值能量将是棒状晶体的近 4.3 倍, 也就是说, 在棒状晶体和管状晶体情况下, 单位体积的阈值能量 E_p/V 几乎是一样的, 如果采用优质晶体作为工作物质的话, 可得到更高的斜效率, 输出能量也更高。实验也得到了管状激光器的近、远



Fig. 4 Beam pattern of the tube laser
a) Near-field pattern,
b) Far-field pattern

场和远场的光束分布。实验也证明了管状激光器的近、远场光束分布与棒状激光器不同, 管状激光器的近场光束分布更集中, 远场光束分布更均匀。在相同的泵浦能量下, 管状激光器的输出能量比棒状激光器高, 这主要是由于管状晶体的体积大, 单位体积的发热量小, 热效应小, 折射率变化小, 从而使得管状激光器的谐振腔等效 g 参数更接近于 1, 使得管状激光器的输出能量更高。实验也证明了管状激光器的近、远场光束分布与棒状激光器不同, 管状激光器的近场光束分布更集中, 远场光束分布更均匀。在相同的泵浦能量下, 管状激光器的输出能量比棒状激光器高, 这主要是由于管状晶体的体积大, 单位体积的发热量小, 热效应小, 折射率变化小, 从而使得管状激光器的谐振腔等效 g 参数更接近于 1, 使得管状激光器的输出能量更高。

场光斑图,如图 4 所示,其近场光斑的对称性良好,缺口部分为闪光灯的电极引线挡光所造成的.其远场光斑图是通过焦距为 0.97 m 的透镜聚焦后在焦平面上得到的烧孔图案,输入电能量为 24.3 J,光斑大小约为 5 mm.上述结果是在工作物质未经冷却时所得到的初步实验结果.本文制作的这类小型化的固体激光器结构简单,效率高,在军用上具有实用价值,正在做进一步的研究工作.

参 考 文 献

- [1] U. Wittrock, H. Weber, B. Eppich, Inside-pumped Nd:YAG tube laser. *Opt. Lett.*, 1991, 16(14): 1092~1094
- [2] Y. Takada, H. Saite, T. Fujioka, New type of solid-state laser for several kilowatts. *Proc. SPIE*, 1987, 801: 62~66
- [3] Y. Takada, H. Saite, T. Fujioka, Eigenmode of an annular stable resonator. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1988, QE-24(1): 11~12
- [4] 张国轩,黄国松,顾绍庭等,转动玻璃圆筒激光器. *中国激光*, 1992, 19(4): 250~256
- [5] D. Milam, H. Schlossberg, Emission characteristics of a tube-shaped laser oscillator. *J. Appl. Phys.*, 1973, 44(5): 2297~2299
- [6] 周 烽,张国轩,黄国松等,圆筒激光器热应力分析. *物理学报*, 1989, 38(2): 247~254

Initial Experiments of An Inside-Pumped Miniature Nd:YAG Tube Laser

Gong Mali Wan Zuowen Jin Feng Liang Zerong
Song Dingxi Wu Youwu Liu Guanghua

(Advanced Laser Technology Laboratory, Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041)

(Received 12 April 1993)

Abstract The design and experimental results of an inside-pumped miniature Nd:YAG tube laser are presented in this paper. The slope efficiency reaches 2.73%. The pulsed laser energy of 3 J has been obtained.

Key words solid-state tube laser, inside-pumping.