

文章编号: 1001—4322(2000)01—05—03

二极管侧泵浦单横模 1kHz 电光 Q 开关激光器*

王卫民^{1,2}, 高清松¹, 庞 毓¹, 杨森林¹, 罗 斌¹, 吕百达²

(1 中国工程物理研究院流体物理研究所, 绵阳 919-109 信箱, 621900)

(2 四川大学激光物理与化学研究所, 610064)

摘 要: 介绍了二极管侧泵浦 Nd:YAG 板条 1kHz 重复频率 Q 开关激光器的研制, 实验获得最大单脉冲能量 0.712mJ, 脉宽小于 10ns 的输出。对 Nd:YAG 板条进行了三种冷却方式的比较实验, 实验证明 DPL 在高重复频率工作时, 激光介质的热效应是影响高重复频率工作的激光器效率的重要因素。

关键词: 二极管泵浦; 固体激光器; Q 开关

中图分类号: TN 248.4

文献标识码: A

在激光器的设计中, 系统的效率是人们关心的一个重要问题。影响高功率固体激光器工作效率和光束质量的因素有很多, 除腔型的设计外^[1], 激光增益介质的冷却方法也是一个重要因素^[2,3]。虽然二极管泵浦比闪光灯泵浦热效应要小, 但随着泵浦功率的增大和 DPL 在高重复频率下工作, 热效应仍然是一个重要的研究课题。使用薄 Nd:YAG 板条, 一方面可实现激光模体积和泵浦体积的匹配^[4], 另一方面也可减少增益介质内的温度梯度, 降低热效应对激光器效率和光束质量的影响^[5]。作者曾经用 DL 侧泵浦薄 Nd:YAG 板条, 获得 100Hz 单横模 Q 开关激光脉冲输出^[6]。我们用三种方式对板条进行冷却, 用 ANSYS 程序对 1.2mm 厚的板条进行温度场计算, 并用点式温度计测试了板条前后表面的温度, 计算的温差与实测值相符。在峰值功率为 50W 的泵浦功率下, 激光器在 1kHz 重复频率工作时, 获得 617mW 的平均功率单横模 Q 开关脉冲输出。

1 二极管侧泵浦 Nd:YAG 板条激光器实验方案

选用线阵结构准连续二极管侧泵浦 Nd:YAG 板条, 泵浦脉宽 200 μ s, 在 1kHz 重复频率工作时, 最大泵浦功率为 10W, 采用温控水冷循环系统, 控制二极管的发射波长, 使之与 Nd:YAG 的吸收峰相匹配。

二极管侧泵浦实验方案如图 1 所示, 吸收厚度为 1.2mm 的 Nd:YAG 板条。侧泵浦时, 约有 38% 的泵浦光透过晶体, 为提高泵浦效率, 有必要在晶体的背面镀 808nm 高反射膜, 使未被吸收的泵浦光又被

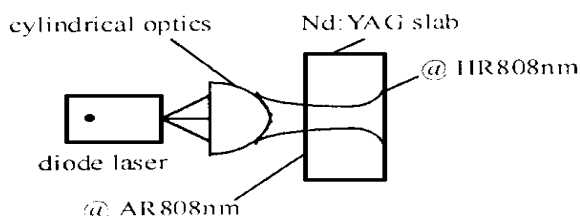


Fig 1 Cross section of the DL side pumped geometry

图 1 二极管侧泵浦几何结构

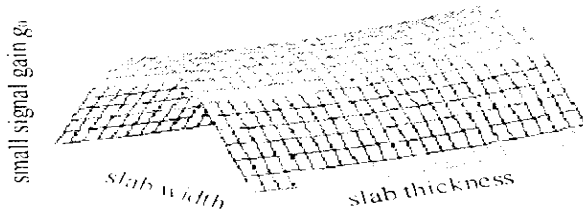


Fig 2 Calculated distribution of small signal gain coefficient

图 2 计算的板条内小信号增益分布

* 国家 863 激光技术领域资助课题

1999 年 7 月 8 日收到原稿, 1999 年 10 月 14 日收到修改稿。

王卫民, 男, 1965 年 3 月出生, 在职博士, 副研

反射到晶体中,在晶体的前表面镀 808nm 的增透膜,减少泵浦光的反射损耗。DL 发射的近似椭圆高斯光束经柱透镜耦合后,在 Nd:YAG 板条介质内形成束宽为 1.2mm 左右的椭圆高斯束,在介质内形成的增益区大小为 1.2mm × 1.2mm × 11mm,适当设计谐振腔,使本征基模与增益区相匹配,使 DPL 实现高效率的基模工作。根据泵浦光的非均匀性,可由下面公式计算板条内小信号增益分布

$$g_0(x, y_0) = \frac{\eta_k P_{abs}(x, y)}{I_{sat} V \gamma}, \quad P_{abs}(x, y) = P_{pump} e^{-\frac{x^2}{\omega^2}} (1 - R_{slab}) [e^{-\alpha x} + e^{-\alpha(2d-x)}] \eta_l, \quad I_{sat} = \frac{h\nu}{\sigma\tau}$$

式中 η_k 为斯托克斯效率(76%); γ 为准三能级系统因子; V 为泵浦体积; η_l 是材料的量子效率(96%); d 为板条的吸收厚度; α 为介质吸收系数; R_{slab} 是板条泵浦面的反射系数; P_{pump} 是二极管的泵浦功率; h 为普朗克常数; ν 是激光频率; σ 是受激辐射截面; τ 是 Nd:YAG 的荧光寿命; $P_{abs}(x, y)$ 是介质内某位置吸收的光功率。获得的小信号增益分布如图 2, g_0 在 1.2mm 吸收厚度方向的分布基本上是均匀的,在板条的宽度方向为高斯分布。用 CCD 相机拍摄了板条内的荧光分布,宽度为 1.3mm 左右,理论计算与实验测量的结果相符。根据测量的板条内荧光分布和计算的小信号分布情况,设计束腰为 1mm 的平凹腔结构,输出镜为平面镜。

2 实验与结果讨论

实验中, Nd:YAG 薄梯形板条采用三种冷却方式: (1) 梯形的大底面和两个毛面用热沉传导冷却; (2) 梯形的大底面和两个毛面用热沉传导冷却, 热沉用循环水冷却, 以保持恒温; (3) 梯形大底面用热沉传导冷却, 热沉用循环水冷却, 保持恒温, 但梯形的两毛面用非导热材料绝热。在腔长为 29cm 时, 选择几组不同透过率的输出镜, 对激光器的输出特性进行实验研究, 获得输出镜的最佳透过率为 19.4%。激光器在 1kHz 重复频率工作时, 自由振荡输出平均功率为 1.1W 的基模输出, M^2 因子为 1.1。在谐振腔内插入布儒斯特板和 KD*P 晶体, 仔细调节谐振腔, 激光器在 Q 开关情况下, 输出的平均功率与激光器工作的重复频率间关系如图 3 (激光输出的平均功率和单脉冲能量是用 EPM 1000 Power /energy 测量的)。从图 3 可以看出, 激光器输出的平均功率随着重复频率的提高而增大, 但采用第一种冷却方式激光器输出平均功率从 400Hz 开始, 比第二种和第三种冷却方式输出平均功率显然要低。图 4 为测量的激光器输出的单脉冲能量与重复频率之间关系。图中三种冷却方式都是重复频率在 600Hz 时, 输出的单脉冲能量最大, 其中以第三种方式冷却输出的单脉冲最大能量为 0.712mJ, 脉宽为 9.25ns。从 600Hz 开始, 随着脉冲重复频率的增加, 激光输出的单脉冲能量反而降低。主要原因是随着重复频率升高, 二极管

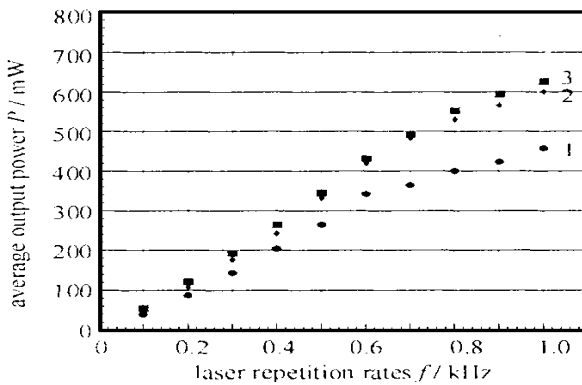


Fig 3 Average output power of Q-switched laser vs repetition rates

1 the first cooling means; 2 the second cooling means;
3 the third cooling means

图 3 激光器输出的平均功率与重复频率关系

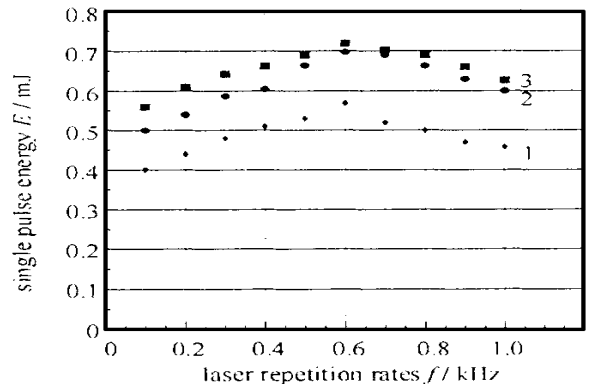


Fig 4 Single pulse energy of Q-switched laser vs repetition rates

1 the first cooling means; 2 the second cooling means;
3 the third cooling means

图 4 激光器输出的单脉冲能量与重复频率的关系

的发光效率下降和增益介质的热效应增大, 因此影响激光器的效率。为了使增益介质充分冷却, 用 ANSYS 计算程序, 对单侧面泵浦的 Nd:YAG 板条进行温度场分布的有限元分析, 发现 1.2mm 厚的板

条泵浦面的温度最高。在第三种冷却方式下, 计算获得前后表面的温差在 1kHz 重复频率时相差 8.5, 这与用点式数字温度计测量的温度 9.1 相符。图 5(a) 为用 ANSYS 程序计算的板条内温度场分布(第三种冷却方式); 图 5(b) 是在第二种冷却方式下, 计算的板条内的温度分布, 前后表面的温差为 7.2。从图 5 可以看出, 由于泵浦光宽度(1.3mm)远小于板条的宽度(6mm), 温度梯度主要集中在板条的泵浦区间内; 理论和实验证实, 板条的两个毛面隔热与否, 对温度梯度的影响不大。但随着泵浦功率的增加和重复频率的提高, 板条介质采用热沉传导冷却是无法满足冷却要求的。根据计算的介质内温度场分布, 采用循环水冷却板条上泵浦区间就可以较好解决介质的冷却问题。如果泵浦光宽度增加, 板条的毛面必须进行绝热处理, 否则热透镜效应将影响光束质量和效率。



Fig 5 Calculated temperature distribution in slab

图 5 计算所获得的板条内温度场分布

3 结 论

根据线阵二极管激光器的特点, 计算了板条内小信号增益分布, 用 CCD 相机测量了板条内荧光分布, 设计谐振腔的参数, 使激光模体积与泵浦体积相匹配, 实现了高效率的单横模工作。增益介质在三种不同的冷却方式下, 激光器输出的平均功率是不一样的。用 ANSYS 程序计算了板条内温度场分布, 计算的温度梯度与实测的温差一致。激光器在高重复频率工作时, 增益介质冷却效果的好坏, 对激光器的效率影响较大, 进一步提高泵浦功率, 增益介质必须采用循环水冷却, 否则激光器的效率和光束质量将受到严重影响。

致谢 ANSYS 程序的调试得到严地勇的大力支持, 在此表示感谢。

参考文献

- 1 Koechner W. Solid-state laser engineering the fourth edition. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996
- 2 Kane T J. The slab geometry laser-part 11: Thermal effects in a finite slab. *IEEE J Quant Elect*, 1985, **QE21**(8): 1195
- 3 翟 群. 二极管侧泵浦板条固体激光器的热效应研究. *强激光与粒子束*, 1997, **9**(4): 611
- 4 王卫民等. 二极管激光侧泵浦单横模电光调 Q 激光器. *光学学报*, 1997, **17**(10): 1403
- 5 Kugler N, et al. Water-cooled Yb: YAG disk laser pumped by a stacked diode array. *Laser Physics*, 1999, **9**(1): 307
- 6 Wang Weimin, et al. Diode laser side pumped combined Nd: YAG laser resonator. *光子学报*, 1998, **27**(z1): 178

D IODE LASER SIDE-PUMPED 1kHz E-O Q-SWITCHED TEM₀₀ LASER

WANG Weimin^{1,2}, GAO Qing-song¹, PANG Yu¹, YANG Sen-lin¹, LUO Bin¹, LÜ Bairda²

¹ Institute of Fluid Physics, CAEP, P. O. Box 919-109, Mianyang 621900

² Institute of Laser Physics and Chemistry, Sichuan University, Chengdu 610064

ABSTRACT: The diode laser side pumped 1kHz E-O Q-switched TEM₀₀ mode laser was studied in this paper. The single pulse energy of laser is 0.712mJ and 10ns pulse width. Using three type cooling Nd: YAG slab in the experiment, thermal effect in diode pumped Nd: YAG slab affect laser efficiency in high repetition rates operation of laser. The results obtained in this paper are applicable to the design of high-power diode laser pumped laser system.

KEY WORDS: diode laser pumping; solid-state laser; Q-switched