

二极管激光侧泵浦单横模 100 Hz 电光调 Q 激光器*

王卫民 杨成龙 唐 淳 杨森林 陈津燕 廖银燕 邵英斌

(中国工程物理研究院流体物理研究所, 成都 610003)

吕百达 蔡邦维

(四川联合大学激光物理与化学研究所, 成都 610064)

摘 要 介绍了二极管激光侧泵浦单横模 100 Hz 电光调 Q 激光器的实验结果。泵浦源为一个线阵准连续 100 W 二极管激光器, 激光工作介质为 Nd·YAG 薄梯形板条, 板条与泵浦源间用柱透镜耦合, KD*P 电光晶体调 Q 。在 100 Hz 重复频率下, 获得单脉冲能量 2.37 mJ, 脉宽小于 7 ns, 光束质量因子 $M^2 = 1.1$ 的 1.06 μm 激光, 光-光效率为 8.5%, 斜效率为 18.7%。

关键词 二极管激光, 侧泵浦, Q 开关固体激光器, 单横模。

1 引 言

二极管激光侧泵浦 Nd·YAG 实验是 80 年代初由 Allev^[1] 和 Smith^[2] 完成的。最近十年来, 由于二极管激光泵浦固体激光技术的迅速发展, 已经实现二极管激光侧泵浦 Nd·YAG 激光器单横模运转^[3, 4]。Afzal 等人^[5] 用一只线阵 QCW-100 W 的二极管激光泵浦 Nd·YAG 板条, 获得单脉冲能量 2.25 mJ、脉宽 4 ns、重复频率 90 Hz、光束质量因子 $M^2 = 1.1$ 的 TEM₀₀ 模 1.06 μm 激光输出。

二极管激光侧泵浦调 Q 单横模固体激光器在空间通讯、相干雷达、测距和跟踪等领域有着广泛的应用前景。本文作者开展了二极管激光侧泵浦电光调 Q 单横模固体激光技术的研究, 获得了单脉冲能量为 2.37 mJ、脉宽小于 7 ns、重复频率为 100 Hz、光束质量因子 $M^2 = 1.1$ 的单横模调 Q 激光。

2 激光器的组成

二极管激光侧泵浦单横模 100 Hz 电光调 Q 激光器组成如图 1 所示。谐振腔全反镜的曲率半径为 3 m, 输出镜是平面镜, 其反射率根据实验选择, 腔长约 30 cm。激光介质是梯形 Nd·YAG 板条, Nd 离子浓度 1.1 at%, 板条厚度 1.2 mm、高度 5 mm、上底长约 11 mm。两

* 该课题获得国家科委 863 高技术项目资助。

收稿日期: 1996 年 9 月 6 日

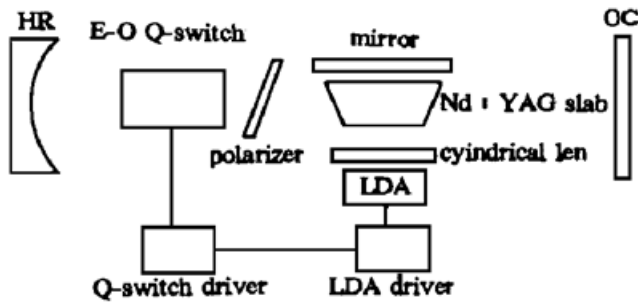


Fig. 1 Schematic E-O Q-switch Nd:YAG slab TEM₀₀ mode laser side-pumped by LDA

端面与光轴成布儒斯特角, 激光束在梯形板条内全反射七次。板条薄、全反射次数多、腔模体积与板条泵浦体积交叠程度高, 有利于提高激光器效率。 Q 开关为 KD^*P 普克尔盒, 加 $\lambda/4$ 波电压封锁, 退电压时 Q 开关打开。为提高 Q 开关的封锁能力, 腔内还插入偏振膜片。由于板条厚度只有 1.2 mm, 只能吸收约 30% 的泵浦光能量, 因此

在板条另一表面前置一反射镜, 将出射的泵浦光反射回来, 以提高泵浦光的利用率。泵浦源是一个准连续峰值功率 100 W 的线阵激光器, 发光区面积 $1 \mu\text{m} \times 1 \text{cm}$ 。泵浦光发散角在垂直结平面方向为 30° , 在平行结平面方向为 10° 。二极管激光器通过循环水冷却能以 4% 占空比工作。二极管激光通过一个柱透镜耦合到梯形板条上。当开启二极管电源, 输出一个个宽度几百微秒的脉冲电流, 使二极管发光的同时, 二极管电源还输出一个触发脉冲, 经延迟后触发 Q 开关电源。延迟时间正是二极管泵浦 YAG 板条使激光介质达到最高反转粒子数所需时间, 一般调节到稍短于泵浦脉冲宽度。

3 激光器参数测量结果

当激光器处在 Q 开关工作状态时, 激光二极管在 100 Hz 重复频率、120 A 峰值电流驱动下, 改变输出镜的透过率, 对 Q 开关激光器平均输出功率进行实验测量。泵浦电流脉冲名义宽度 $300 \mu\text{s}$ 、 Q 开关触发延迟时间 $290 \mu\text{s}$ 。表 1 列出了实验数据。数据表明: 输出镜透过率为 60% 时, 可获得最大输出, 单脉冲能量达 2.37 mJ。此时 Q 开关波形前后沿基本对称, 可判断已接近最佳透过率。图 2 是激光二极管在 $300 \mu\text{s}$ 脉宽、120 A 峰值电流驱动下, 输出镜透过率 60% 时, Q 开关激光平均输出功率与重复频率之间的关系。

Table 1. The transmission of output coupler versus average output power

transmission %	output power mW	threshold W	slop efficiency %
26.0	168	1.00	9.45
35.0	180	1.24	11.7
46.5	198	1.383	14.2
60.0	237	1.527	18.7

图 2 表明: 在 10 Hz 重复频率时, Q 开关激光器单脉冲输出能量 2.73 mJ, 而在 100 Hz 重复频率时, 单脉冲输出能量 2.37 mJ。图 3 表示了重复频率 100 Hz、输出镜透过率 60% 条件下, Q 开关激光器在不同泵浦功率水平时的平均输出功率。由图 3 可知, 阈值平均泵浦功率为 1.53 W、最大平均泵浦功率为 2.8 W 和最大平均输出功率为 237 mW, Q 开关激光器的光-光效率为 8.5%, 斜率效率为 18.7%。充分利用激光二极管 4% 占空因子, 在 200 Hz 重复频率下, 实验获得单脉冲能量大于 1.5 mJ 的巨脉冲激光输出。

图 4 是 Q 开关激光脉冲波形, 脉冲宽度 (FWHM) 6.25 ns。泵浦功率和谐振腔长度均影响 Q 开关激光脉冲宽度, 一般情况均可小于 10 ns。按 100 Hz 重复频率时单脉冲输出能量 2.37

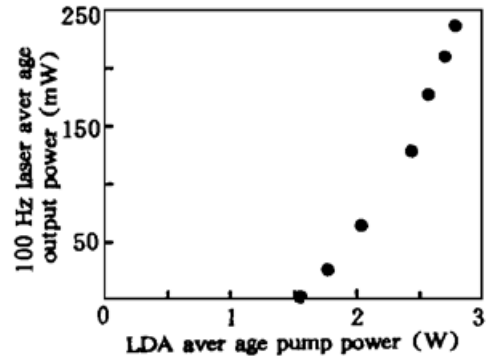
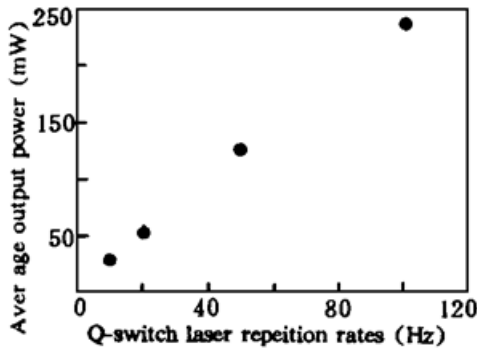


Fig. 2 Average output power of the Q-switch laser versus repetition rates

Fig. 3 Average output power of the Q-switch laser versus average pumped power (100 Hz) of LDA

mJ、脉冲宽度 6.25 ns 计算, 激光脉冲的峰值输出功率可达 3.8×10^5 W。在 10 Hz 重复频率时, 可超过 4×10^5 W。还测试了激光器输出功率稳定度。每十分钟测试一组数据, 每分钟测量一次功率, 测得功率稳定度小于 1.4%。

图 5 是用 CCD 相机拍摄的 Q 开关激光光斑。图 6 是该光斑立体图。图 7 是该光斑的等强度曲线。由光斑任一直径上光强的剖面曲线和等强度曲线可以判断是单横模激光器。

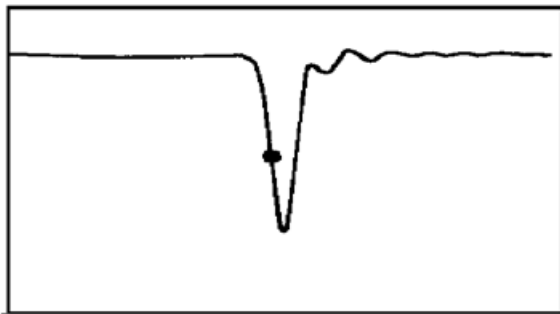


Fig. 4 Oscilloscope trace of output pulse of the Q-switch laser

Fig. 5 Laser beam spot recorded by CCD

用 CCD 相机记录了 10 个位置上的光斑, 求得光束束径, 用传输方程拟合法求得光束质量因子 $M_x^2 = 1.09$ 、 $M_y^2 = 1.01$ 。图 8 为移动刀口法测试激光束宽的示意图。将刀口分别沿 x 方向、y 方向、x45°方向和 y45°方向的束宽分别为 0.83 mm、0.77 mm、0.83 mm 和 0.83 mm, 经焦距为 1189 mm 透镜聚焦, 焦斑半径分别为 2.14 mm、2.25 mm、2.12 mm 和 2.10 mm, 光束质量因子分别为 1.11、1.08、1.10 和 1.09。多次测量表明: M^2 为 1.1 ± 0.1 。光束质量的两种测量方法给出一致结果。这个结果与上述单横模光斑图也很一致, 说明被测激光器是单横模激光器。

结束语 由于合理地选择了水冷式准连续二极管激光作泵浦源和 KD^*P 普克尔盒作 Q 开关, 设计和加工成大相对孔径的柱面镜、梯形 Nd:YAG 薄板条, 配套了水冷循环系统, 研制了高电压输出、长寿命、高重复频率电光 Q 开关电源, 使二极管激光侧泵浦单横模 100 Hz 电光调 Q 激光器得以实现。

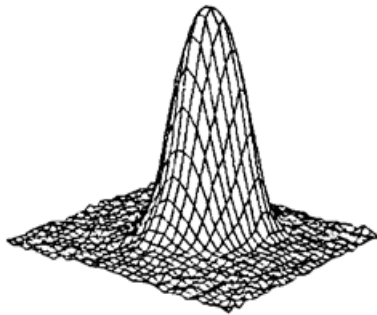


Fig. 6 Spatial distribution of beam intensity of the Q -switch laser

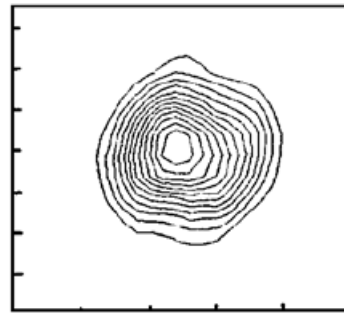


Fig. 7 Curve of beam spot equal value

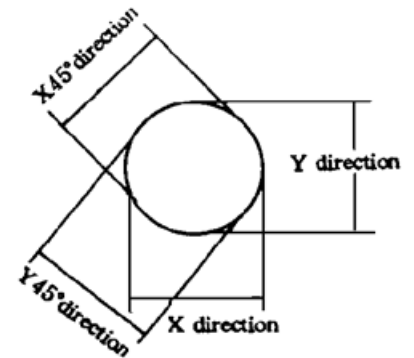


Fig. 8 Schematic of the moving knife-edge method

参 考 文 献

- [1] L. B. Allen, Jr., R. R. Rice, H. G. Koenig *et al.*, Linear array configurations and applications of the double-sided heat sink diode, in *Advances in Laser Engineering and Applications. Proc. SPIE*, 1980, **247**: 100~ 105
- [2] R. J. Smith, R. R. Rice, L. B. Allen, Jr., 100 mw laser diode pumped Nd:YAG laser, in *Advances in Laser Engineering and Applications. Proc. SPIE*, 1980, **247**: 144~ 148
- [3] D. Welford, D. M. Rines, B. J. Dinerman, Efficient-mode operation of a laser-diode side-pumped Nd:YAG laser. *Opt. Lett.*, 1991, **16**(23): 18~ 20
- [4] H. Azer, S. Landre, Efficient diode-laser side-pumped-mode Nd:YAG laser. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(24): 1785~ 1787
- [5] R. S. Afzal, M. D. Selker, Simple high-efficiency-diode-laser-pumped Q -switch laser. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(5): 465~ 467

Diode-Laser Side-Pumped 100 Hz E-O Q -Switch TEM₀₀ Laser

Wang Weimin Yang Chenglong Tang Chun Yang Senlin

Chen Jinyan Liao Yinyan Shao Yingbin

(Institute of Fluid Physics, CAEP, Chengdu 610003)

Lü Baida Cai Bangwei

(Institute of Laser Physics and Chemistry, Sichuan Union University, Chengdu 610064)

(Received 6 September 1996)

Abstract The diode-laser side-pumped 100 Hz E-O Q -switch TEM₀₀-mode laser is studied. The pump source was a quasi-CW 100W diode laser array. A cylindrical lens was used as a coupler between the diode laser and the Nd:YAG thin slab with the trapezoidal section. The laser resonator is a plane-concave cavity with a curvature radius of 3 m. Using KD*P Pockels cell, the laser produced 2.37-mJ/pulse, 7-ns pulse width, $M^2 = 1.1$ beam quality and 100 Hz pulse repetition rates. Optics-optics efficiency and slope efficiency of the Q -switch laser were 8.5% and 18.9%, respectively.

Key words diode laser, side-pumped, Q -switch solid-state laser, single transverse mode.