

激光二极管泵浦预激光调 Q Nd : YAG 单纵模激光器研究*

陈有明 周复正 胡文涛 沈丽青 王之江

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 用国产连续输出功率为 1.5 W 的半导体激光泵浦 Nd : YAG 激光器, 获得了预激光调 Q 单纵模激光输出, 调 Q 脉冲幅度起伏小于 $\pm 1\%$, 输出单纵模线宽小于 25 MHz。

关键词 调 Q 激光器, 单纵模。

1 引 言

调 Q 单纵模固体激光器是高功率激光系统重要的注入光源, 同时它在相干雷达、测量等领域也有着广泛的用途。在激光二极管(LD)泵浦固体激光器有突破性发展之前, 国内和国际的研究人员对闪光灯泵浦的单纵模固体激光器进行了大量的研究^[1~4]。在长期的研究中人们所面临的共同困难就是单纵模运转的可靠性问题。美国利弗莫尔国家实验室, 在八十年代初, 用共振反射器, 外加光电反馈腔长控制系统实现预激光调 Q 来达到单纵模稳定输出的目的^[2]。本文作者在八十年代中期, 研制成功这种激光器^[3]。这种单纵模激光器性能可靠, 但结构复杂, 调整难度大, 快速的电子反馈系统也相应减弱了激光器的抗干扰能力。在半导体激光器发展到在室温下可以应用于泵浦固体激光器以后, 鉴于半导体激光器输出稳定、长寿命, 单色性好, 用它作泵浦源, 激光器可以做得很小, 热效应低, 模式匹配好等特点, 人们自然将注意力转移到激光二极管泵浦单频固体激光器上。目前已发展了诸如激光二极管泵浦单块单频激光器^[4], 激光二极管泵浦单块单频增益开关注入调 Q 激光器^[5], 激光二极管泵浦环形声光调 Q 单频激光器^[6], 以及激光二极管泵浦薄片电光调 Q 单纵模激光器^[7]等多种类型。在综合考虑到已发展的激光二极管泵浦单纵模激光器和满足高功率激光系统注入种子光源的实际要求, 为此进行了激光二极管泵浦预激光调 Q Nd : YAG 单纵模激光器的研究, 获得了预激光调 Q 单纵模激光输出, 单一调 Q 脉冲宽度为 100 ns, 幅度起伏小于 $\pm 1\%$, 输出单纵模线宽小于 25 MHz 的实验结果。

2 基本原理

* 国家自然科学基金资助课题。

收稿日期: 1993年11月17日; 收到修改稿日期: 1994年5月6日

预激光单纵模调 Q 激光器,就是在加上声光调制的低 Q 值的条件下,增加激光器受激辐射时间,使得在打开调 Q 开关时,激光器已处于单纵模准稳态运转,在泵浦脉冲的后期打开 Q 开关,则可耦合输出稳定的单纵模调 Q 脉冲(见图 1 所示)。预激光单纵模调 Q 技术虽早在闪光灯泵浦的条件下已经实现。但由于受闪光灯几何尺寸和转换效率的限制,谐振腔的腔长不可能做得很短。另外几个大气压的准连续氙灯的热负载也相当的高。因此谐振腔内必需加些诸如共振反射器,法布里-珀罗标准具等选模元件和必要的腔长反馈控制系统。这些复杂的光学和电子光学系统给操作者带来了很大的麻烦。

半导体激光器的发射谱宽度很窄(一般为 3 nm),用它作固体激光器的泵浦源,其发射光谱可与固体激光工作物质的吸收光谱完全匹配,可以减少非泵浦跃迁性吸收,大大减少了固体激光器的热负载。这对于获得稳定的单纵模激光输出非常重要,因为激光器输出频率的稳定性受制于激光工作物质温度的起伏。其关系为^[8]:

$$\frac{d\nu}{dt} = -\nu \left[\frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial t} + \frac{1}{L} \frac{\partial L}{\partial t} \right] \quad (1)$$

ν 为激光振荡频率, $\partial n/\partial T$ 为激光介质的折射率温度系数, $\partial L/\partial t$ 为谐振腔的热膨胀系数, L 为腔长。对于 Nd:YAG 工作物质, $\partial n/\partial t = 7.3 \times 10^{-6}$ 。即使不考虑腔长的影响,其频率随温度的漂移也有 0.62 GHz/K。

由速率方程可推出调 Q 脉冲最大输出的光子数密度 n_{max} 和初始光子数密度 n_i 的关系为^[8]: $n_{max} = n_i \exp(\alpha t_1)$, α 是由调 Q 开关决定的增益变化值。并可进一步推知, $\Delta n_{max} = \Delta n_i \exp(\alpha t_1)$ 。即初始光子数密度的起伏,在调 Q 过程中被指数性放大,初始光子数密度的起伏越小其调 Q 脉冲的幅度起伏也就越小。因此,在预激光准稳态条件下可以获得幅度起伏小、高质量的单纵模调 Q 激光脉冲。

3 实验与结果

为了使得泵浦光与固体激光的模式良好匹配,实验采用纵向泵浦方式。装置如图 2 所示。泵浦源是可连续输出 1.5 W 的国产量子阱激光二极管阵列。准连续方式工作,泵浦脉宽 200 μ s~2 ms 可调,重复频率 100 Hz,发射中心波长为 808 nm,与 Nd:YAG 的吸收峰匹配。耦合系统采用一对非球面透镜,耦合效率为 80%。激光工作物质为 $\Phi 4 \times 5$ mm Nd:YAG 晶体(Nd³⁺ 的浓度 1 at%),晶体后端面(即泵浦端面)镀 1.064 μ m 高反膜($R > 99.6\%$)和 808 nm 高透($T > 90\%$)的双色膜。晶体的另一端镀 1.064 μ m 增透膜。输出耦合腔镜对 1.064 μ m 的透过率为 6%,曲率半径是 100 mm。声光调制器的介质采用长度为 18 mm 的 SF₆ 熔融石

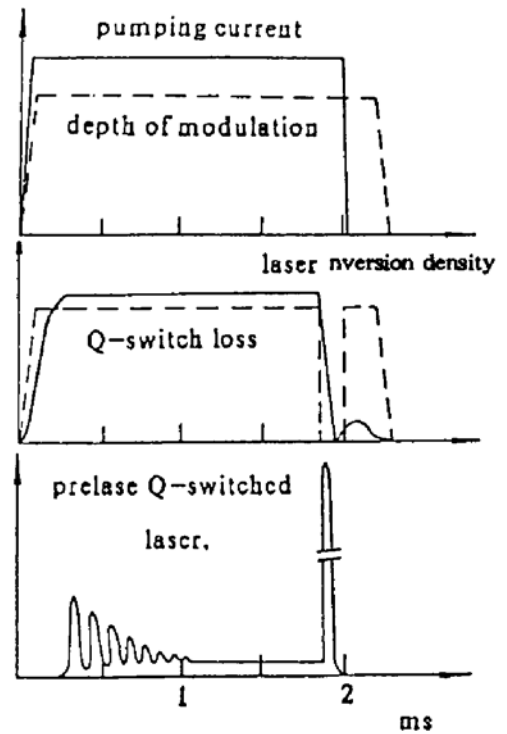


Fig. 1 Schematic waveforms of the pumping current, depth of modulation, and Q-switch loss obtain the proper prelase conditions in the laser

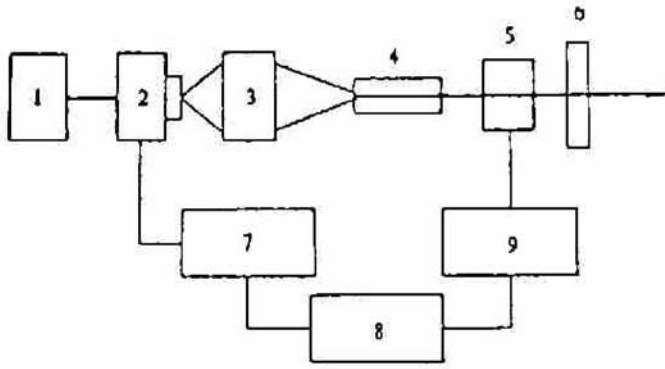


Fig. 2 Schematic of the pre-pulse single longitudinal mode Q-switched laser. 1; temperature controller; 2; LDA; 3; optical coupler; 4; Nd:YAG rod; 5; A-O Q-switch; 6; output mirror; 7; LDA driver; 8; synchronizer; 9; A-O Q-switch driver

英, 驱动频率为 80 MHz, 插入损耗为 0.5%, 最大驱动功率为 1 W, 最大单程衍射损耗为 17%。用多通道触发器实现声光调制器的延迟触发控制。用响应时间为 2 ns 的光电二极管和 400 MHz 示波器探测激光输出的时间波形, 用二维 CCD 图像处理系统和视频拷贝机测量激光输出横模的空间分布, 并配合厚度 3 mm, 反射率为 90% 的标准具监视纵模状态。用自由光谱范围为 1 GHz, 分辨率为 25 MHz 的共焦扫描干涉仪测量单纵模激光线宽。准连续预激光的时间设置为 2 ms, 在这段时间内, 各个纵模都几乎是连续不断地相互竞争, 最终将由损耗较小、接近中心频率的那个纵模占据主导地位。激光器输出呈指数衰减, 并趋于一个动态的平衡状态, 如图 3 所示。

如果激光器状态设置不合适, 如泵浦源的超阈值度过高, 声光调制器的调制度过低或器件调整状态不佳, 就会在预激光阶段观测到混乱的多模输出波形。若想得到单一纵模的调 Q 脉冲, 首先必需将激光器调整到准平衡态。在此状态下在泵浦脉冲即将结束时, 打开调 Q 开关, 即可实现单纵模调 Q 输出。图 4(a) 是用法布里-珀罗标准具测量的干涉环, 图 4(b) 是经二维 CCD 图像处理系统描绘法布里-珀罗干涉环的强度分布图。标准具的分辨率为 $d\nu = C(1-R)/2nd\sqrt{R} = 3 \times 10^9$ Hz, 而纵模间隔 $d\nu_m = C/2nL = 6 \times 10^9$ Hz。因此, 由图 4 可以判定激光器输出的是单一纵模。为了获得输出激光的线宽, 用自由光谱范围为 1 GHz 和分辨率为 25 MHz 的共焦腔扫描干涉仪进行测量, 其结果见图 5, 测得的单纵模线宽小于扫描干涉仪的分辨率, 即小于 25 MHz。同时还进行了预激光调 Q 和纯调 Q 的比较实验, 图 6(a), 图 6(b) 分别表示预激光调 Q 和纯调 Q 脉冲波形 100 次的累计结果。其它测量参数见表 1。

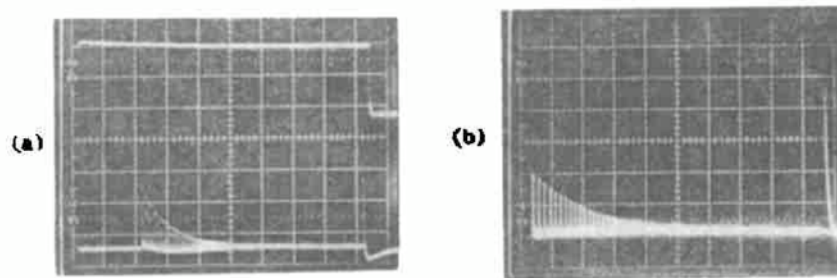


Fig. 3 The waveforms of LDA pumped pre-pulse Q-switched Nd:YAG laser. (a) the pumping current (up curve) and pre-pulse Q-switched waveforms with pre-pulse time of 1.8 ms. (b) the waveforms with the time of 900 μ s

Table 1 Measured parameters of the Q-switched lasers

operation mode	pulse width ns	pulse energy μ J	peak power W	fluctuation
pre-pulse Q switching	100	3.7	37	$< \pm 1\%$
normal Q switching	50	8.8	176	$\pm 2\%$

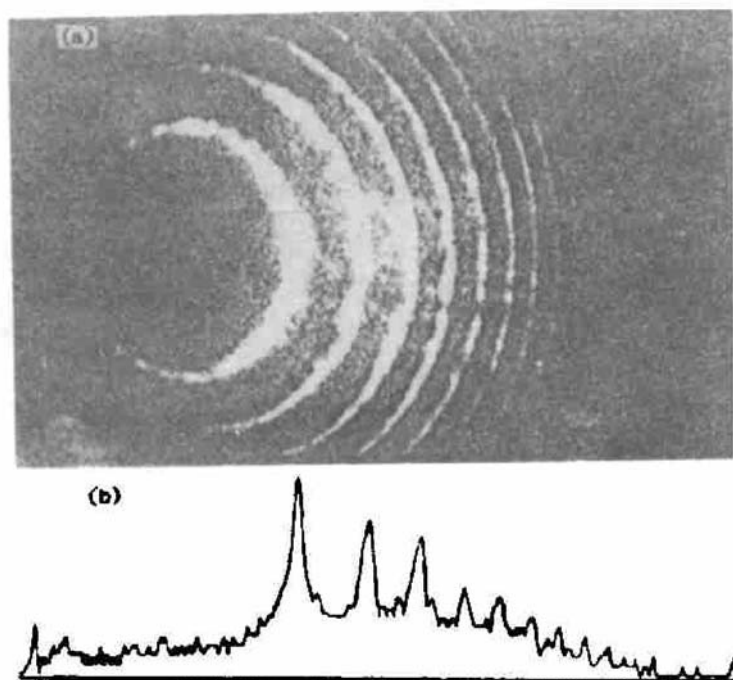


Fig. 4 (a) Fabry-perot interferometer fringes, (b) intensity distributions of the Fabry-Perot interferometer fringes



Fig. 5 Optical spectrum of single-mode operation at 1,064 μm measured by using a scanning confocal interferometer with 25 MHz resolution and a 1 GHz free spectral range

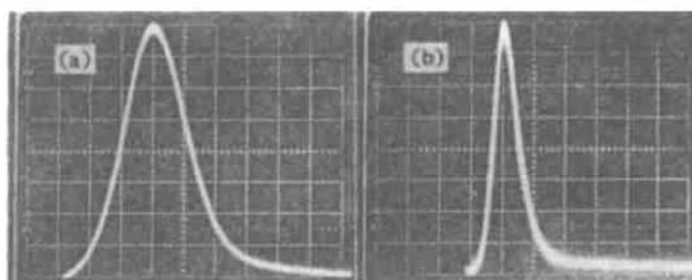


Fig. 6 Superpositions of 100 pre-lase Q-switched pulses (a), and normal A-O Q-switched pulses (b)

4 结果分析

由上述实验结果可以看出,激光二极管泵浦预激光单纵模调 Q 输出的幅度稳定性远好于常规的调 Q 方式,这点与理论分析的结果十分吻合。在单纵模监测中,发现除了强的外界扰动(如敲击实验台面等),预激光调 Q 方式基本是保持单纵模运转。而常规方式则不行,有时偶尔(几率不大)还可观测到多模拍频的时间波形。实验结果还表明,预激光调 Q 的脉冲宽度是常规调 Q 的两倍,而峰值功率却比常规的小约 4.7 倍。其主要原因是预激光调 Q 工作方式的初始光场,已不是自发辐射场。尽管实验在很低的超阈值度条件下运转,预激光阶段的受激辐射也消耗掉相当数量的反转粒子数。实验测得的预激光阶段激光的积分能量与调 Q 脉冲的能量之比是 3:5。

参加本项研究工作的还有沈小华, 马建伟等人, 朱三又提供了声光调制器, 范瑞瑛提供了多层介质膜腔片, 在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] Y. K. Park, R. L. Byer, Electronic linewidth narrowing method for single axial mode operation of Q-switched Nd : YAG laser. *Opt. Commun.*, 1981, **37**(6) : 411~416
- [2] D. J. Kuizenga, Short-pulse oscillator development for the Nd : Glass laser-fusion system. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1981, **QE-17**(9) : 1694~1709
- [3] 曹涓楼, 陈庆浩, 朱智敏等, 用于激光核聚变的可长时间单纵模稳定运转的 Nd : YAG 和 Nd : YLF 激光振荡器的研究. *光学学报*, 1986, **6**(9) : 769~775
- [4] Binkun Zhou, T. J. Kane, G. J. Dixon, Efficient, frequency-stable laser-diode-oumped Nd : YAG laser. *Opt. Lett.*, 1985, **10**(2) : 62~64
- [5] J. M. Auerbach, R. L. Schmitt, Diode-pumped monolithic Nd : YLF 1.053 μm mini-laser and its application to injection seeding. *Proc. SPIE*, 1990, **1223** : 133~141
- [6] R. Scheps, J. Myers, A single frequency Nd : YAG ring laser pumped by laser-diode. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1990, **QE-26**(3) : 413~416
- [7] J. J. Zayhowski, C. Dill III, Diode-pumped microchip laser electro-optically Q switched at high pulse repetition rates. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(17) : 1201~1203
- [8] H. Hake, *Light*, 2, The Netherland, North-Holland Physics Publishing, 1985

Prelase Single Longitudinal Mode Q-Switched Nd : YAG Laser Pumped by a Diode-Laser-Array

Chen Youming Zhou Fuzheng Hu Wentao Shen Liqing Wang Zhijiang
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received 17 November 1993; revised 6 May 1994)

Abstract This paper describes the performance of a prebase Q-switched single longitudinal mode Nd : YAG laser which was end pumped by a diode laser array with output of CW 1.5 W. This oscillator provides single longitudinal mode Q-switched pulse with instability less than $\pm 1\%$ at 100 nsec duration and the linewidth less than 25 MHz.

Key words Q-switching, Nd : YAG laser.