

文章编号:1001-5078(2008)11-1083-04

· 激光器技术 ·

LDA 端泵浦电光调 Q 脉冲输出特性研究

高润梅^{1,2}, 常胜江², 胡智勇², 方涛², 傅汝廉²

(1. 桂林工学院数理系, 广西 桂林 541004; 2. 南开大学光学所, 天津 300071)

摘要: 利用晶体的电光效应制成脉冲式 Q 开关 (PRM), 实现谐振腔中反射镜的部分反射而形成激光振荡。激光介质为 Nd:YAG, 采用 300W 准连续 LDA(激光二极管阵列)端面泵浦, 表面加微柱透镜和透镜导管进行光耦合, 传输效率 75%, 电光晶体为 KDP, 平 - 凹腔结构, 腔内放置介质膜起偏器, 腔长 11cm, 退压式调 Q , 设计了实用的退压调 Q 电路, Q 开关后沿触发, 改进了硅光电二极管弱光测量电路, 输出脉冲被调制, 输出脉宽 11ns, 光 - 光转换效率 10.8%, 输出单脉冲能量 4mJ, 对实验结果进行了分析讨论。

关键词: 激光技术; 电光调 Q 开关; 光耦合; LDA 泵浦

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A

Study of Output Peculiarity of LDA Pulse End-pumping Electro-optics Q -switch

GAO Run-mei^{1,2}, CHANG Sheng-jiang², HU Zhi-yong², FANG Tao², FU Ru-lian²

(1. Guilin University of Technology, Guilin 541004, China;

2. Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: Using crystal electro-optic effect Q -switched pulse (PRM) was made, the realization of resonator mirror reflection of the part of a laser oscillation. Laser medium for Nd:YAG, 300W LDA(laser diode array) end-pumped continuous surface and micro-lens and lens catheter optical coupling efficiency of 75% transmission, for the electro-optic crystal KDP, Ping-cavity structure, dielectric cavity placed polarizer, cavity length 11cm, the withdrawal pressure- Q -switched, a practical design of the retreat pressure Q -switched circuit, Q -switch along the trigger, improved low-light silicon photodiode measurement circuit, the output pulse modulation, the output pulse width 11ns, light-light conversion efficiency of 10.8%, the output-4 mJ pulse energy, the experimental results are analyzed and discussed.

Key words: laser technique; electrooptics Q -switch; light coupling; LDA pumping

1 引言

大功率激光二极管阵列泵浦固体激光器体积小、长寿、转换效率高且使用和维护方便, 得到广泛重视和应用^[1-2]。在激光打标、测距和激光雷达等重要场合, 电光调 Q 技术可以实现输出峰值功率大、脉冲宽度窄、响应速度快的目的^[3-4]。对于输出峰值功率 1MW 量级的调 Q 激光器, 输出水平已能满足多方面的应用需求, 具有较大的实用价值^[5-6]。

目前 LDA 泵浦的固体激光器多采用侧泵浦方式, 该方式安装精度要求高, 激光器阈值高, 结构复

杂适合大功率泵浦。在百瓦级泵浦条件下, 采用端泵浦结构, 泵浦源采用单个 LDA, 结构简单, 泵浦光照射区域位于激光棒轴线附近, 容易实现泵浦光与腔体基模匹配, 激光输出模式好。但 LDA 发光面尺寸较大, 需要设计特殊的耦合装置。在本实验中, 我们使用一准连续 (QCW) 峰值功率 300W 的 LDA 作

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 60772105); 桂林工学院科研启动基金 (No. 20060823) 资助。

作者简介: 高润梅 (1966-), 女, 副教授, 主要从事光学设计和激光器研制工作。E-mail: gaorm2002@yahoo.com.cn

收稿日期: 2008-04-27; **修订日期:** 2008-06-11

为 Nd:YAG 激光介质的泵浦源, 加装微柱透镜阵列^[7]和透镜导管^[8-9]端泵耦合器, 实现了端泵电光调 Q 激光输出, 研究了输出脉冲特性, 效果较好。

2 Q开关的实验设计

2.1 实验装置

实验装置如图 1 所示。

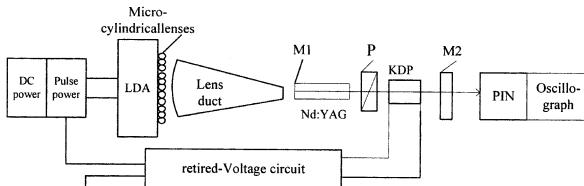


图 1 LDA 泵浦电光调 Q Nd:YAG 激光器试验装置图

激光二极管阵列(LDA)驱动电源为脉冲电源输出脉宽和重复周期可调, 输出电流 I 为 $1 \sim 100\text{A}$, 脉宽 τ 为 $50 \sim 1000\mu\text{m}$, 重复频率 f 为 $15 \sim 1000\text{Hz}$, 最大时间占空比 $T = 5\%$ 。LDA 为北京半导体所生产的准连续 300W 激光二极管, 有六个发光条构成, 每条大小为 $10\text{mm} \times 0.1\text{mm}$, 条与条间距 $500\mu\text{m}$, 发光尺寸 $10\text{mm} \times 2.6\text{mm}$ 。固定与金属热沉上, 水冷方式散热。准连续工作时最大时间占空比 1% , 发散角为 $40^\circ \times 10^\circ$ 。为了减小快轴方向的发散角, 在 LDA 表面加装微柱透镜^[7]对输出脉冲进行预压缩, 微柱透镜传输效率 83% , 再通过透镜导管^[8-9]对光斑进一步压缩, 整个耦合系统传输效率达到 75% 。激活介质选择 Nd:YAG 晶体, 加工成棒状, 尺寸为 $\phi 6 \times 25\text{mm}$, 左端镀双色膜, 对 808nm 波长高透, 对 1064nm 波长高反, 作为谐振腔的耦合镜, 右端镀对 1064nm 波长高透的单色膜, 用钢纸包裹置入紫铜块内, 水冷散热。电光调 Q 系统由多层介质膜偏振片和 KDP(磷酸二氯钾)组成, 采用退压式调 Q, 自行设计了退压式调 Q 电路, 将 LD 脉冲电源输出一路同步监视信号接入一反向放大器经延迟接退压变压器然后将该信号接真空触发管, 当脉冲前沿到来时触发管的触发极和阴极产生电离, 电路导通, 将加在 KDP 晶体上的电压短路, 起到退压作用, 如图 2 所示。输出镜为对 1064nm 波长部分投射的凹面镜, 曲率半径 $r = 1\text{m}$, 反射率 $R = 85\%$ 。整个实验装置固定在自行设计的固定支架上, 经过一系列的优化, 腔长缩短至 11cm , 从而有效缩短了脉冲宽度。输出脉冲采用快速响应硅光电二极管探测, 偏置电压为 20V , 脉宽 10ns 的脉冲能量密度最大值 500mJ/cm^2 。为了测量超短脉冲, 提高响应时间, 选用低阻抗通道, 改进了原测量电路, 改进后的电路如图 3 所示。探测器接示波器, 输出脉冲通过示波器显示其脉冲

轨迹, 示波器是美国泰克公司的 Tek-Tds520C 型数字示波器, 带宽 500MHz , 取样速率 1GS/s 。

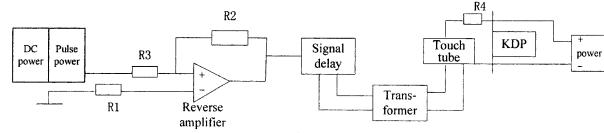


图 2 退压式调 Q 电路

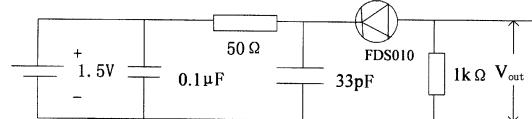


图 3 FDS010 光电探测器测量电路

3 实验原理分析

电光调 Q 属于主动调 Q 范畴, 根据主动调 Q 激光的速率方程^[10]:

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{2\sigma nl\phi}{t_r} - \frac{\phi}{t_c} \quad (1)$$

$$\frac{dn}{dt} = -\gamma\sigma c\phi n \quad (2)$$

其中, ϕ 是谐振腔内光子数; n 为反转粒子数密度; σ 为激发态的发射截面; l 是激活介质的长度; c 是光速; $t_r = 2l/c$ 是腔内的双程度越时间; γ 是退化系数; t_c 为光子寿命, 定义为 $t_c = \frac{t_r}{|\ln(1/R) + L|}$; R 是输出镜的反射率; L 是无用的双程光损耗。

输出单脉冲能量为:

$$E = \frac{h\nu A}{2\sigma\gamma} \ln\left(\frac{1}{R}\right) \ln\left(\frac{n_i}{n_f}\right) \quad (3)$$

其中, $h\nu$ 为激光的光子能量; A 为有效光束截面面积; n_i 和 n_f 分别表示反转粒子数密度的初始值和末态值; n_t 是阈值反转粒子数密度。

定义 $z = \frac{2g_0 l}{L}$, 其中 g_0 为不饱和小信号增益,

z 表示双程小信号增益和无用光损耗之比, 输出镜最佳反射率:

$$R = \exp(-L \frac{z - 1 - \ln z}{\ln z}) \quad (4)$$

将式(4)代入式(3), 得最佳输出能量的表达式:

$$E_{\max} = \frac{Ah\nu L}{2\sigma\gamma} (z - 1 - \ln z) \quad (5)$$

输出最大能量为介质中储存的总的的有效能量:

$$E_u = \lim_{z \rightarrow \infty} E_{\max} = \frac{Ah\nu L}{2\sigma\gamma} z \quad (6)$$

能量输出效率为:

$$\eta_E(z) = \frac{E_{\max}}{E_u} = 1 - \frac{(1 + \ln z)}{z} \quad (7)$$

阈值反转密度为:

$$n_t = \frac{L}{2\sigma l} \left(\frac{z-1}{\ln z} \right) \quad (8)$$

由此可得到输出激光的峰值功率:

$$P_{\max} = \frac{A h \nu L^2}{2 \sigma l t_r} \left| \frac{z-1 - \ln z}{\ln z} \right| \times \left\{ z - \left| \frac{z-1}{\ln z} \right| \times \left| 1 + \ln \left(\frac{z \ln z}{z-1} \right) \right| \right\} \quad (9)$$

输出脉宽为:

$$t_p = \frac{t_r}{L} \left\{ \left(\frac{\ln z}{z} \right) \left[\frac{1}{1 - \left(\frac{z-1}{\ln z} \right) \left(1 + \ln \left(\frac{z \ln z}{z-1} \right) \right)} \right] \right\} \quad (10)$$

根据以上结果,可以计算输出反射镜的最佳反射率为 $R = 85\%$ 。

4 实验结果与分析

4.1 泵浦能量与输出脉冲宽度及输出能量的关系
泵浦脉宽 300μs,重复频率 20Hz,改变泵浦能量测量调 Q 输出脉冲能量和脉宽,得到变化曲线如图 4 和图 5 所示,随泵浦能量的增加,输出脉冲能量增大,脉冲宽度变窄。

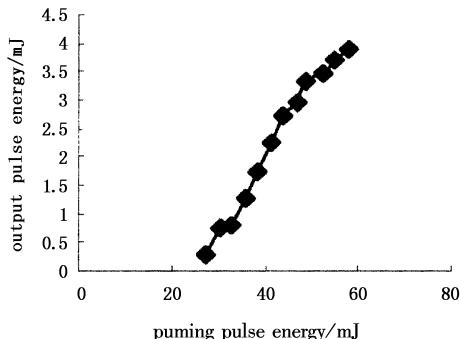


图 4 输出脉冲能量与泵浦能量的关系

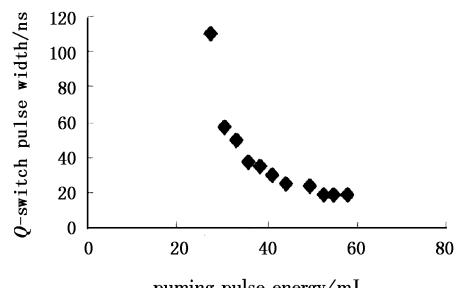


图 5 调 Q 脉宽与泵浦能量的关系

4.2 输出脉冲最佳脉宽

固定泵浦重复频率,改变泵浦宽度,在高泵浦和低泵浦两种能量下,测量输出脉冲的宽度,在泵浦能量 63.84mJ,泵浦脉宽 270μs 附近获得了最佳脉冲宽度 11ns,转换效率 10.8%,输出脉冲随能量的变化曲线如图 6 所示。

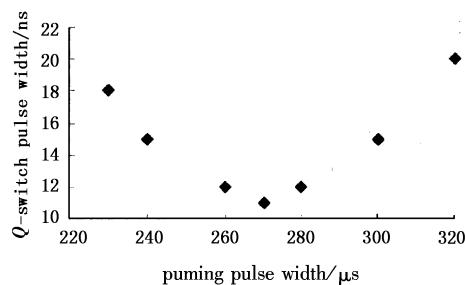


图 6 调 Q 脉宽与泵浦脉宽的关系(泵浦能量 63.48mJ)

4.3 空间电磁辐射对输出脉冲调制现象

将示波器的横轴分辨率提高,测量调 Q 脉冲输出,测得的波形如图 7 所示。

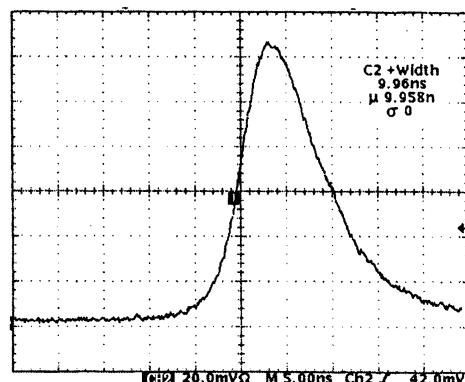


图 7 输出脉冲调制波形

图形显示输出波是被调制的,一般认为这是由于两个或多个纵模同时起振而产生的纵模差频或自锁模,根据这种理论,如果两个相邻纵模同时起振,输出的调制频率应为两纵模的间隔,相长干涉的区间反比于振荡模的数目,其振模数目越多,调制频率会越高,根据这种理论,腔长 10 ~ 20cm 时,经计算频率应为 1000Hz 左右,然而实验中得到的脉冲调制频率与上述结论不符,如表 1 所示。

表 1 腔长和响应调制频率的数据

实验条件	双程时间/纵模间隔	调制周期/调整频率
$L = 17\text{cm}$	1.13ns/882.4MHz	3.4ns/294.1MHz
$L = 19\text{cm}$	1.27ns/789.5MHz	2.67ns/374.5MHz
$L = 21\text{cm}$	1.40ns/714.3MHz	7.27ns/137.5MHz

从表中可以看出,脉冲调制频率普遍小于纵模间隔,,经过多次观察和实验测量,并将调制波形和电磁辐射波形相比较,我们认为这种现象是由于空间电磁辐射(100MHz ~ 400MHz)调制引起的。

5 结 论

通过实验得到了 LDA 泵浦 Nd:YAG 电光调 Q 激光输出最佳脉宽为 11ns,输出单脉冲能量 4mJ,与理论符合较好,对实验中脉冲调制现象做了新的解释,实验中腔体内无用损耗较大,是由晶体的易溶性

和偏振片的吸收带来的,如果进一步改变晶体的工作环境和偏振片的厚度,输出脉冲能量有望进一步提高。输出脉冲被空间电磁辐射所调制,影响测量精度,因此实验应尽量避免电磁辐射的影响。

参考文献:

- [1] Du K, Biesenbach J, Ehrlichmann D, et al. Lasers form materials processing: Specifications and trends [J]. Opt. Quantum Electron., 1995, 27 (12): 1089 - 1102.
- [2] Rutherford T S, Tulloch W M, Gustafson E K, et al. Edge pumped quasi three level slab laser: design and power scaling [J]. IEEE J. Quantum Electron., 2000, 36 (2): 205 - 219.
- [3] 宁国斌,梁伟.连续抽运 Nd:YAG 激光高重频电光调 Q 研究[J].长春理工大学学报,2005,28(4):10 - 15.
- [4] 温午麒,傅汝廉,孙建堂. LDA 端泵电光调 Q Nd:YAG 激光器[J].光电子·激光,2002,13(10):994 - 996.
- [5] Fu Ru-lian, Wang Guang-jun, Wang Zhao-qi, et al. Q-switched Nd:YAG laser pumped by laser diode array [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 1998, 9 (Sup): 3462348. (in Chinese)
- [6] 赵鸿,姜东升,周寿桓,等.二极管抽运 200Hz TEM₀₀模 Q 开关 Nd: YAG 激光器 [J]. 中国激光, 2000, A27 (11): 965 - 968.
- [7] Chen Yi hong, Zhao Bing, Zhao De zheng. Research on high power diode pumped solid state lasers [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2001, 12 (12): 1234 - 1235. (in Chinese)
- [8] Fu Ru lian, Lu Zheng, Hu Zhi yong, et al. Nd: YAG laser end pumped by Q-CW laser array with micro-cylindrical lens attached [A]. Proc. SPIE, 1999, 3862: 270 - 272.
- [9] R L Fu, Wang Guang-jun, Wang Zhao-qi, et al. Design of efficient lens duct [J]. Appl. Opt., 1998.
- [10] 周炳琨,高以智,陈家骅.激光原理 [M].北京:国防工业出版社,1995:112 - 115.

中国光电产业发展论坛(预告)

时间:2008年11月25日下午13:00~17:00

地点:北京 中国国际展览中心4号馆

报告人	单位名称	报告题目(暂定)
许祖彦(院士)	中科院理化研究所	深紫外技术新进展
陈良惠(院士)	中科院半导体研究所	光电产业发展概况
高鸿锦(教授)	清华大学	2007年中国液晶行业发展状况
张建(副所长)	中国航天科工集团第8358研究所	红外技术产业化思路与对策
吴继平(董事长)	广州飒特电力红外技术有限公司	红外热像仪产业发展概况
关积珍(总经理)	北京四通智能交通系统集成有限公司	2007全国LED显示屏行业发展状况
苏小平(总经理)	北京国晶辉红外光学科技有限公司	红外材料产业发展概况
史衍丽(教授)	昆明物理研究所(211所)	焦平面探测器的进展及其在我国的发展
钟敏霖(教授)	清华大学	激光加工技术发展
万博全(教授)	北京维信诺科技有限公司	OLED产业发展概况
彭万华(秘书长)	厦门华联电子有限公司	2007年中国LED产业与市场发展状况
夏兆华(高工)	河南中光学集团	光学冷加工产业概况
林颖毅(经理)	财团法人光电科技工业协进会	台湾光电业发展概况