

文章编号: 0258-7025(2003)09-0779-04

# 灯抽运单纵模种子源

秘国江<sup>1</sup>, 刘 朗<sup>1</sup>, 黄茂全<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 华北光电技术研究所激光技术部, 北京 100015; <sup>2</sup> 山西大学光电研究所, 山西 太原 030006)

**摘要** 在灯抽运 Nd:YAG 激光器的基础上, 提出一种新颖的在激光工作物质荧光辐射后沿控制 KD\*P 电光晶体调 Q 选单纵模的方法。在频率为 40 Hz 时获得单纵模几率为 100%, 输出能量为 mJ 量级, 脉宽约为 18 ns 的稳定单纵模激光脉冲。用作 MOPA 系统的种子源, 获得高效大能量输出的好结果。

**关键词** 激光技术; 单纵模; 荧光辐射; 后沿调 Q

**中图分类号** TN 248.1 **文献标识码** A

## A Single-longitudinal-mode Laser Source Pumped with Xenon Lamp

BI Guo-jiang<sup>1</sup>, LIU Lang<sup>1</sup>, HUANG Mao-quan<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China  
<sup>2</sup> Institute of Electro-optics, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi 030006, China)

**Abstract** In this paper, a new way is provided to select single-longitudinal mode pulse using Q-switched method on the decent shape of Nd:YAG fluorescent radiation pumped with xenon lamp. A steady laser pulses are achieved which the ratios of the single-longitudinal-mode are 100%, and the output energies reach mJ with the pulse width about 18 ns. Moreover, when it is used as the source of MOPA system, a satisfied result is obtained.

**Key words** laser technique; single-longitudinal-mode; fluorescent radiation; Q-switched

## 1 引 言

高效大能量主振荡的功率放大器(MOPA)系统的首要关键技术, 就是研制一个稳定的单纵模种子源<sup>[1~4]</sup>。二极管端面抽运 Nd:YAG 种子源, 选模几率高, 能量稳定, 但能量输出仅几十微焦耳, 用于 MOPA 系统输出能量小, 一味增加放大级抽运能量, 势必引起自激, 隔离极为困难, 而且放大级能量不能得到充分利用, 效率极低。为了提高系统的输出能量, 务必要提高种子源的能量。研制二极管抽运的大能量(mJ 量级)种子源技术难度大, 成本高。采用灯抽运 Nd:YAG 种子源, 能量输出大, 但传统的选模方法: 如扭转模、预脉冲选模、标准具选模、环形行波腔等, 选单纵模几率低, 能量稳定度差<sup>[5,6]</sup>; 用 Cr<sup>4+</sup> 晶体做被动调 Q 选模, 激光脉冲输出时间难于控制, 而且往往出现多脉冲<sup>[1,7]</sup>。

为了克服以上困难, 本文提出一种新颖的利用激光工作物质荧光辐射后沿控制 KD\*P 晶体调 Q

的选模方法, 选模几率高达 100%, 能量输出可调, 又较稳定。用于 MOPA 系统, 获得了高效大能量的好结果。

## 2 工作原理

一般灯抽运电光调 Q 激光器是在反转粒子数  $\Delta n$  达到极大值, 即荧光辐射达峰值附近时打开 Q 开关。由于驻波效应、氙灯等离子体波动、机械震动等阻碍了均匀加宽介质 Nd:YAG 自选模特性的发挥, 实际输出为多纵模的激光巨脉冲。我们提出一种新颖的在激光工作物质荧光辐射后沿控制 KD\*P 晶体调 Q 的选模方法, 实验装置如图 1 所示, 其工作原理简述如下。

图 2(a) 为激光工作物质荧光辐射增益曲线, 实际上反映了反转粒子数随时间的变化。荧光曲线的峰值  $b$  及沿后沿  $c, d$  点相应的增益曲线为  $G_b, G_c$ ,

收稿日期: 2002-04-22; 收到修改稿日期: 2002-07-22

作者简介: 秘国江(1973. 3—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事激光技术方面的研究。E-mail: bi\_gj@eyou.com

$G_d, G_r$  为阈值增益, 如图 3 所示,  $b-c$  都有多个纵模超过阈值并输出多个纵模。远离峰值  $b$  的  $d$  点却可以选出单纵模。尽管超过阈值的纵模数不只一个, 如图 3 中有三个纵模  $\nu_q, \nu_{q-1}, \nu_{q+1}$  超过阈值  $G_r$ 。其根本原因在于荧光后沿离峰值  $b$  越远反转粒子数越少, 增益越低, 起振的模式数越少, 模脉冲建立时间  $\Delta t_D$  越长, 特别是邻模脉冲建立时间比优模脉冲建立时

间更长。这样就可以调控远离峰值  $b$  来找到某一值  $d$ , 其增益曲线如图所示。  $d$  点打开 Q 开关, 优模  $\nu_q$  首先形成振荡, 消耗掉与邻模  $\nu_{q-1}, \nu_{q+1}$  共同的反转粒子数, 使其邻模增益降低, 又因为邻模形成振荡的时间  $\Delta t_{D_{q-1}}, \Delta t_{D_{q+1}}$  足够长, 以致自发辐射消耗反转粒子数  $\Delta n$  已不能忽略。这样邻模及其增益更小的模均被抑制, 输出光滑的单纵模。

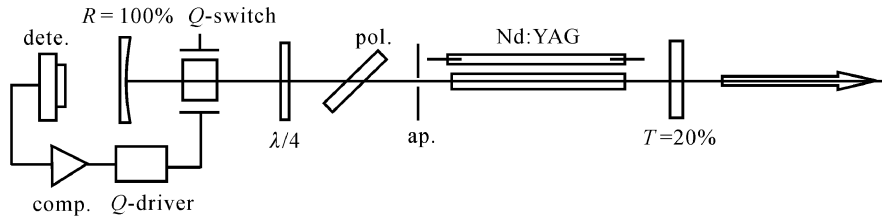


图 1 实验装置图

Fig. 1 Configuration of experiment

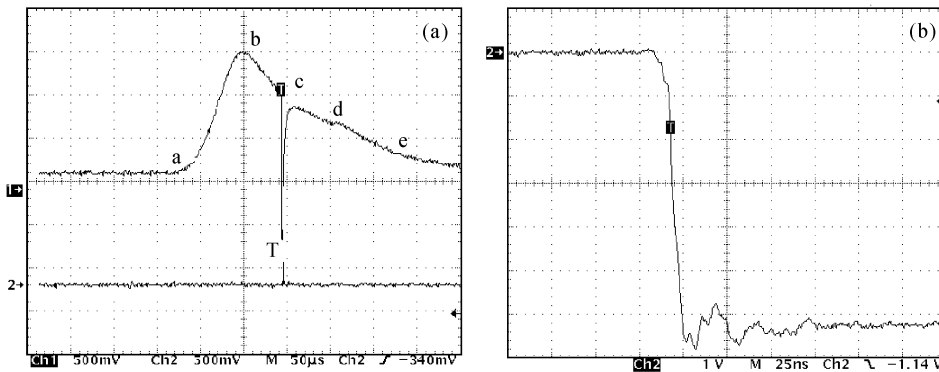


图 2 荧光辐射及后沿触发 Q 开关产生产生激光脉冲(a)和调 Q 波形电压 3500 V(b)

Fig. 2 Shape of Nd:YAG fluorescent radiation and the corresponding laser pulse (a) and Q-switched voltage about 3500 V (b)

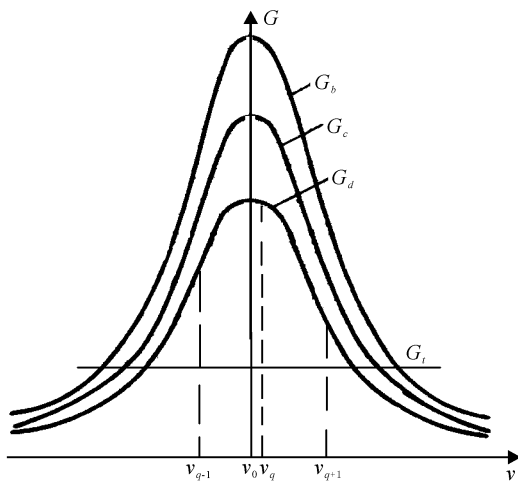


图 3 增益曲线图

Fig. 3 Plot of gain curve

为了更直观地理解荧光后沿控制调 Q 选单纵模的工作原理, 做如下估算。假设图中优模  $\nu_q$  增益与其增益最接近的邻模  $\nu_{q-1}$  增益差保持恒定, 且等于阈值增益  $G_r$ 。即

$$G_{\nu_q} - G_{\nu_{q-1}} = G_r \quad (1)$$

并令

$$G_{\nu_q} = \alpha G_r \quad (2)$$

优模脉冲建立时间  $\Delta t_{D_q}$ <sup>[8]</sup> 与邻模脉冲建立时间  $\Delta t_{D_{q-1}}$  的比值  $\beta = \Delta t_{D_{q-1}} / \Delta t_{D_q}$ 。

由激光原理<sup>[9]</sup> 可求出  $G_{(\omega)}^0$  与  $\Delta t_D$  的关系。在  $\Phi_D = \Phi_i e^{[G_{(\omega)}^0 - G_r] 2nl}$  式中,  $l$  为腔长,  $n$  为光子数  $\Phi$  由初始自发噪声  $\Phi_i$  增长到  $\Phi_D$  所需要的在腔内往返的次数。因此,  $n$  次往返所需的时间就是脉冲形成需要的延迟时间  $\Delta t_D = 2nl/c$ , 则  $\Phi_D = \Phi_i e^{[G_{(\omega)}^0 - G_r] \Delta t_{D_q} c}$ 。

对于  $\nu_{q-1}, \nu_q$  模分别有  $\Phi_D = \Phi_i e^{(G_{\nu_q}^0 - G_r) \Delta t_{D_q} c}, \Phi_D$

$= \Phi_i e^{(G_{v_q}^0 - G_t) \Delta t_{D_{q-1}}}$ 。两式比较得  $(G_{v_{q-1}}^0 - G_t) \Delta t_{v_{q-1}} = (G_{v_q}^0 - G_t) \Delta t_{D_{v_q}}$ 。则

$$\beta = \frac{\Delta t_{D_{q-1}}}{\Delta t_{D_{v_q}}} = \frac{G_{v_q}^0 - G_t}{G_{v_{q-1}}^0 - G_t} \frac{\text{代入(1)} \quad G_{v_q}^0 - G_t}{G_{v_q}^0 - 2G_t}$$

$$\frac{\text{代入(2)} \quad (\alpha - 1)G_t}{(\alpha - 2)G_t} = \frac{\alpha - 1}{\alpha - 2} \quad (3)$$

由荧光曲线极值  $b$  沿后沿远离极值  $b$  时,  $\alpha$  逐渐减小, 其脉冲建立时间也逐渐增大, 邻模脉冲建立时间  $\Delta t_{D_{q-1}}$  比优模脉冲建立时间  $\Delta t_{D_{v_q}}$  增大得更多。

当  $\alpha = 10, \beta_{10} = \frac{9}{8}$ , 即  $\Delta t_{D_{q-1}} = \frac{9}{8} \Delta t_{D_{v_q}}$

当  $\alpha = 5, \beta_5 = \frac{4}{3}$ , 即  $\Delta t_{D_{q-1}} = \frac{4}{3} \Delta t_{D_{v_q}}$

当  $\alpha = 3, \beta_3 = 2$ , 即  $\Delta t_{D_{q-1}} = 2 \Delta t_{D_{v_q}}$

当  $\alpha = 2.1, \beta_{2.1} = \frac{1.1}{0.1} = 11$ , 即  $\Delta t_{D_{q-1}} =$

$11 \Delta t_{D_{v_q}}$

当  $\alpha = 2.01, \beta_{2.01} = 101$ , 即  $\Delta t_{D_{q-1}} = 101 \Delta t_{D_{v_q}}$

当  $\alpha = 2.001, \beta_{2.01} = \beta_{2.001} = 1001$ , 即  $\Delta t_{D_{q-1}} =$

$1001 \Delta t_{D_{v_q}}$

当  $\alpha = 2, \beta_{10} = \infty$ , 即  $\Delta t_{D_{q-1}} = \infty \Delta t_{D_{v_q}}$

这就是说, 由极值  $b$  沿后沿远离  $b$  到某一值  $d$ , 较快速形成振荡的优模, 消耗掉与邻模的共同的反转粒子数, 使邻模增益降低。再加上邻模脉冲延迟时间增长, 自发辐射消耗  $\Delta n$  已不能忽略。这样邻模及其增益更小的模均被抑制, 输出光滑的单纵模。

另外, 调  $Q$  工作点处于后沿远离峰值  $b$  的  $d$  及其  $d-e$  段, 氙灯放电已经结束, 避开了氙灯放电的不稳定性对激光输出的影响, 而且消除了多脉冲的产生。特别是利用比较器控制调  $Q$ , 可使每一次都在确定的反转粒子数  $\Delta n$  状态下工作, 提高了输出的稳定性。

在实验装置中, 将带有圆筒套的灵敏荧光探测器紧靠激光器后全反镜放置, 避开氙灯光的直接照射。实验表明, 探测器接受到漏过后全反镜的激光棒自发辐射荧光远大于漏过的氙灯散射光, 可满足实验要求。如果用  $1.06 \mu\text{m}$  带通滤光片就能更好地隔离氙灯光的干扰。通过光电探测器将工作物质的荧光曲线转换成电信号, 再用比较器来调控调  $Q$  工作点来实现荧光后沿控制选出单纵模。图 2(a) 荧光曲线对应的电信号示意图为图 4(a)。荧光曲线上  $b, c, d, e$  对应的电信号为  $V_b, V_c, V_d, V_e$ 。忽略比较器的回差, 可粗略认为比较器的触发电平  $V_d' = V_d$ 。调节比较器的触发电平在  $V_d'$  翻转输出高电平, 而到  $V_d$  返回低电平, 形成如图 4(b) 的矩形波,

而矩形波下沿给出信号图 4(c) 去触发  $Q$  开关。根据需要在  $V_e - V_d'$  间调控比较器触发电平, 便可获得所需的单纵模激光。

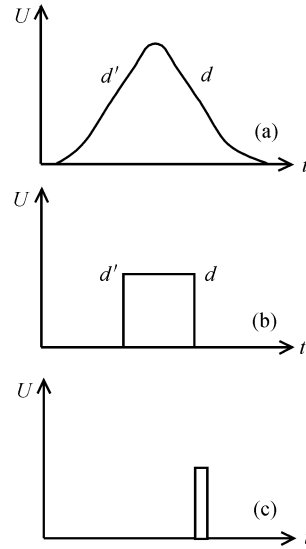


图 4 触发信号示意图

Fig. 4 Schematic diagram of trigger signal

### 3 试验结果

首先使激光器工作在基横模状态, 然后进行荧光后沿控制调  $Q$ 。荧光辐射与  $Q$  触发信号如图 2(a) 所示, 下面的一条窄线为  $Q$  触发时相应的激光脉冲, 图 2(b) 为调  $Q$  高压波形, 约 3500 V。 $Q$  信号越接近荧光辐射峰值  $b$ , 反转粒子数  $\Delta n$  越高, 增益越大, 输出纵模数越多。随着触发信号远离荧光辐射峰值  $b$ , 输出纵模数减少, 波形如图 5(a) 所示, 波形中有明显的拍频。当  $Q$  信号远离峰值到某一值  $d$  及其以后  $d-e$  段, 反转粒子数降低, 增益减小, 脉冲建立时间长, 邻模脉冲建立时间更长, 有利于充分发挥均匀增益介质的自选模特性, 使其输出为一个光滑的单纵模波形, 如图 5(b) 所示, 脉冲前的小毛刺为雪崩  $Q$  盒触发时的电干扰。

此外, Nd:YAG 激光工作物质为  $\phi 3 \text{ mm} \times 45 \text{ mm}$ , 并加一个  $\phi 2 \text{ mm}$  的光阑, 以减小横模数。腔长应尽可能短, 考虑到光学元件布局, 选取腔长为 400 mm。后腔镜为平凹 3 m 的全反镜, 输出镜为中心反射率为 20% 的平平超高斯镜。

在 40 Hz 工作测得单纵模几率 100%, 输出脉宽 18 ns, 能量输出可调。在 1 mJ 时测得能量稳定性  $< 8\%$ 。

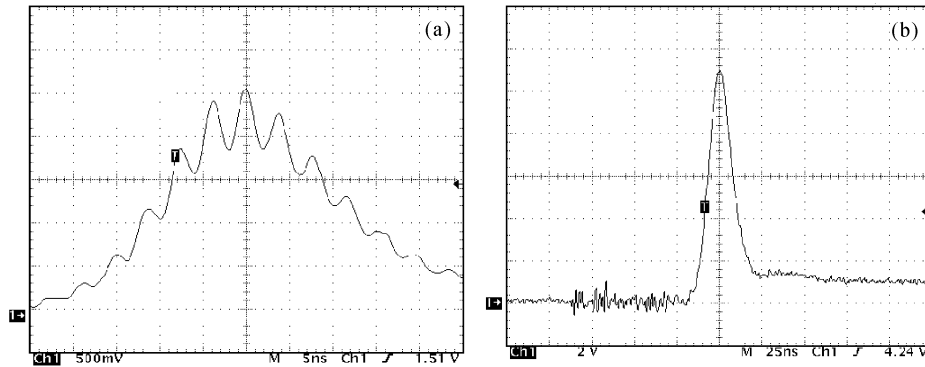


图 5 激光脉冲的时间波形

(a) 多纵模脉冲时间波形; (b) 单纵模脉冲时间波形

Fig. 5 Laser pulse temporal shape of (a) multi- and (b) single-longitudinal-mode

## 4 结 论

灯抽运 Nd:YAG 种子源中采用荧光后沿控制调 Q 的选模方法, 获得了单纵模几率 100%, 能量较大(与半导体种子源相比)且较稳定的单纵模种子源。此外, 把它作为灯抽运 MOPA 系统的种子源, 在 40 Hz 获得了能量输出大于 400 mJ 的单纵模脉冲, 能量稳定性 < 5% 的好结果。

### 参 考 文 献

- 1 Chen Jun. Optics Phase Configuration and Application [M]. Beijing: Science Press, 1999. 153 ~ 192 (in Chinese)
- 2 C. B. Dane, L. E. Zapata, W. A. Neuman *et al.*. Design and operation of a 150 W near diffraction-limited laser amplifier with SBS wavefront correction [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1995, **31**(1):148~163
- 3 S. Scidel, G. Mann. High average power frequency conversion with phase conjugated laser system [C]. *SPIE*, 1996, **2788**:183~191
- 4 Hans J. Eichler, Andreas Haase, Ralf Menzel. 100-Watt average output power 1.2 diffraction limited beam from pulsed neodymium single-rod amplifier with SBS phase conjugation [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1995, **31**(8):1265~1269
- 5 David A. Draegert. Efficiency single-longitudinal-mode Nd:YAG laser [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1972, **QE-8**(2):235~239
- 6 A. R. Clobes, M. J. Brienza. Single-frequency traveling-wave Nd:YAG laser [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1972, **21**(6):265~267
- 7 H. J. Eichler, A. Haase, M. R. Kokta *et al.*. Cr<sup>4+</sup>:YAG as passive Q-switch for a Nd:YALO oscillator with an average repetition rate of 2.7 kHz, TEM<sub>00</sub> mode and 13 W output [J]. *Appl. Phys. B*, 1994, **58**:409~411
- 8 Lan Xinju. Laser Technology [M]. Beijing: Science Press, 2000. 70 (in Chinese)
- 9 Zhou Bingkun. Laser Theory [M]. Beijing: National Defence Publishing House, 1995. 141 (in Chinese)