

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0123-03

# LD 抽运多波长 Nd:YAG 激光器的研究\*

宁继平 倪文俊 杨天新 詹仰钦 鲁笑春 姚建铨

(天津大学精仪学院 国家教育部光电信息技术科学开放实验室, 天津 300072)

**摘要** 对高功率准连续激光二极管抽运高重复率电光调 Q 三波长 Nd:YAG 激光器进行了实验研究。在重复率为 100 Hz 时,得到 1064 nm 单脉冲能量为 8.5 mJ、脉宽 20 ns 的调 Q 激光脉冲输出,利用 KTP 晶体作为倍频晶体,获得单脉冲能量为 2.9 mJ 的绿光调 Q 激光脉冲输出,利用 BBO 晶体进行三倍频,获得 1.5 mJ 的 355 nm 调 Q 激光脉冲输出,并实现了最大重复率为 500 Hz 的电光调 Q 激光器。

**关键词:** 激光二极管抽运, 电光调 Q 多波长激光器, 倍频, 三倍频

中图分类号 TN248.1<sup>+</sup>3 文献标识码 A

## Study of Diode-pumped Multi-wavelength Nd:YAG Laser

NING Ji-ping NI Wen-jun YANG Tian-xin ZHAN Yang-qin  
LU Xiao-chun YAO Jian-quan

(College of Precision Instrument & Optoelectronics Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)  
Photoelectronic Information Science & Technology Laboratory, MOE

**Abstract** High power quasi-CW diode-pumped high repetition rate E-O Q-switched three wavelengths Nd:YAG laser is experimentally studied. The lasers with the pulse output of 8.5 mJ and the narrowest pulse duration of 20 ns for 1064 nm, 2.9 mJ for 532 nm using KTP double frequency crystal, 1.5 mJ for 355 nm using BBO triple frequency crystal at pulse repetition rate of 100 Hz are obtained. The highest repetition rate is 500 Hz.

**Key words** diode-pumped, E-O Q-switched multi-wavelength laser, double frequency, triple frequency

## 1 引言

高功率准连续半导体激光器(QCWLD)抽运的高重复率电光 Q 开关多波长 Nd:YAG 激光器<sup>[1-3]</sup>输出 1064 nm, 532 nm, 355 nm 三个波长纳秒量级的脉冲激光,可用于非线性光谱研究,光探测和测距,激光雷达,光参量振荡的抽运源,光刻及微加工,材料处理,医疗等方面,是非常理想的光源。这种激光器具有以下优点:转换效率高,重复率高,脉宽窄,整机小巧,稳定可靠,光学质量好以及全固态等,因此,它具有非常重要的使用价值和经济效益。本文主要报道了高功率 QCWLD 抽运的电光 Q 开关三波长 Nd:YAG 激光器的实验结果。

## 2 实验结果

图 1 为高功率准连续激光二极管端面抽运高重

复率电光调 Q 三波长 Nd:YAG 激光器的实验原理装置图。实验中采用准连续激光二极管面阵列端面抽运 Nd:YAG 晶体方式,LD 的峰值功率为 800 W、发光尺寸为 4.8 mm×40 mm,激光二极管输出的抽运光在垂直和平行于结面方向上的发散角分别为 40°和 10°,采用温度控制来冷却激光二极管,在 27℃保证 LD 发射中心波长 808 nm 与激光介质的吸收峰相匹配。谐振腔为平-平腔结构,腔长 26 cm, Nd:YAG 介质为  $\phi 4$  mm×10 mm,激光介质用铝箔包裹放在水冷却的铜块上。晶体的一端镀对 1064 nm 光高反,对 808 nm 抽运光高透的多层介质膜,另一端镀对 1064 nm 光增透膜,  $M_1$ 、 $M_4$ 、 $M_6$  分别为激光三波长 1064 nm、532 nm、355 nm 的输出镜, KD\*P 晶体作为电光 Q 开关介质,两通光面、均镀对 1064 nm 光增透膜。实验中研究了抽运光能量、Q 开关重复率、输出镜的透过率及腔长等参数对激光调 Q 输出脉冲特性的影响。

\* 国家 863 计划资助课题

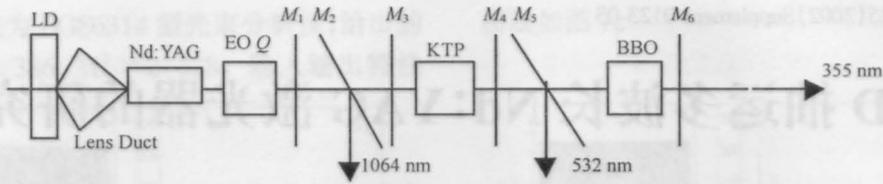


图1 LD抽运的调Q三波长激光器的实验装置结构图

Fig.1 Experimental setup for Q-switched laser with three wavelengths

实验中研究了抽运光的输入能量对 1064 nm 调 Q 单脉冲能量的影响。实验在 LD 的重复率分别为 50 Hz 和 200 Hz 情况下进行的,对 Nd:YAG 介质,LD 的脉宽为 280  $\mu$ s。改变抽运光的输入能量。实验结果证明了激光调 Q 脉冲能量随抽运光能量的增加基本上成正比增加,如图 2 所示。这说明了激光腔内热效应不明显,并且上能级离子数还未达到饱和。在 50 Hz 和抽运光能量为 60 mJ 时,得到单脉冲能量为 5.5 mJ、脉宽 18 ns 的调 Q 激光脉冲输出,并实现了最大重复率为 500Hz 的电光调 Q 激光器。

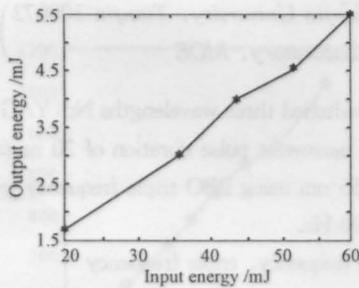


图2 激光器的调Q脉冲能量随抽运能量变化的曲线

Fig.2 Output pulse energy versus pump pulse energy

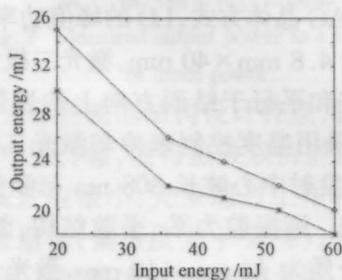


图3 电光Q开关重复率分别为50 Hz和200 Hz时,激光器的调Q脉冲宽度随抽运能量变化的曲线

Fig.3 Output pulse duration versus pump pulse energy at Q-switched repetition of 50 Hz and 200 Hz

为了提高激光器的输出功率,改变了激光器的腔结构如图4所示。即在腔内加一个放大的Nd:YAG板条,用一个200 W的LD<sub>2</sub>侧面抽运,原有的Nd:YAG棒仍然采用端面抽运方式,用600W LD<sub>1</sub>作抽运源,这样总的抽运功率是不变的。当电光Q

开关重复率为 50 Hz、脉宽 280  $\mu$ s, LD 的输入电流为 48 A(56 mJ)时,激光器的单脉冲能量已达到 8.5 mJ,其光-光效率比没有加放大介质时提高近一倍。如果将放大介质放在腔外进行放大,我们只观察到微弱的放大现象。可见这种单程放大比在激光腔内的多程放大效果差多了。将用作放大的 Nd:YAG 板条放在 Nd:YVO<sub>4</sub> 激光器中,还未来得及观察激光器的输出情况,就发现 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体的端面被损坏,这说明激光腔中加入放大介质后,腔内的激光功率已超过 Nd:YVO<sub>4</sub> 晶体的破坏阈值。当然,上述参数和结构并不是激光器的最佳选择,比如,应选功率大一点的 LD<sub>2</sub>,而 LD<sub>2</sub> 的功率比 LD<sub>1</sub> 大,或者两者功率相当时,是否效果更好? 由于条件所限,这些有待于今后做进一步的深入研究。

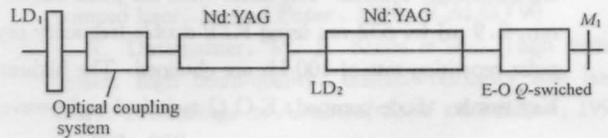


图4 LD抽运的带有放大结构的电光调Q

Nd:YAG激光器

Fig.4 Experimental setup for the E-O Q-switched

Nd:YAG laser with amplifier

实验中研究了电光Q开关重复率对激光器输出脉冲能量的影响,如图5所示。由图可见,在重复率低于100 Hz时,激光器输出脉冲能量基本不变。在重复率高于100 Hz时,随着电光Q开关重复率的增加,脉冲的能量在下降,当重复率达到300 Hz时,激光器输出脉冲能量由100 Hz的8.5 mJ降到5.5 mJ。当重复率达到500 Hz时,激光器输出脉冲能量只剩下3.1 mJ。显然,电光Q开关重复率越高,激光器的热效应越严重,造成激光器输出脉冲能量下降。实验中研究了激光器腔长对输出脉冲能量和脉冲宽度的影响。腔长的变化范围不大时,如腔长从18 cm变到30 cm,对输出脉冲能量影响不大,而对脉冲宽度有一定的影响,腔长增加,脉宽加宽,最大加宽量为2 ns~3 ns。因此,在一定的抽运功率下,减小腔长是缩短调Q脉冲宽度的一种有效方

法。

对应一定的抽运功率,存在一最佳输出镜透过率,使输出脉冲能量最大,脉冲宽度最窄。在我们所实验的抽运范围内,最佳输出镜透过率为 30%。

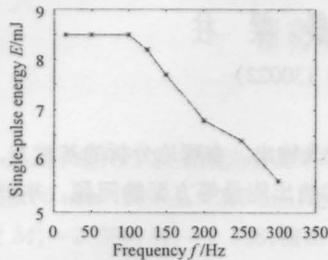


图 5 激光器的调 Q 脉冲能量随电光 Q 开关重复率变化的曲线

Fig. 5 Output pulse energy versus E-O switching repetition rate

利用 KTP 晶体 II 类非临界相位匹配进行了电光调 Q 内腔倍频激光器的实验研究,其 KTP 晶体尺寸为  $5\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 8\text{ mm}$ 。在图 1 中,将反射镜  $M_1$ 、 $M_2$  取走, $M_4$  为对 1064 nm 光全反、对 532 nm 高透的绿光输出镜, $M_3$  为对 1064 nm 光高透、对 532 nm 高反的谐波镜,当抽运光脉冲能量为 60 mJ、激光重复率为 100 Hz 时,激光器输出的最大绿光光脉冲能量为 2.9 mJ,倍频转换效率为 34%。

对于 Nd:YAG 激光器的基频光波 1064 nm 的三倍频光来说,采用 1064 nm 及其倍频光 532 nm 在晶体中进行混频,可得到三倍频光 355 nm 的紫外光。偏硼酸钡 ( $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ , BBO) 晶体的透光波段为 189 nm~3500 nm,它是迄今为止可用于紫外波段的最优良的非线性晶体之一。它已广泛用于 Nd:YAG 激光的二次、三次、四次及五次谐波产生(分别可得 532 nm, 355 nm, 266 nm 及 213 nm 的相干辐射),通过理论分析和计算,BBO 晶体 I 类非临界相位匹配相对于 II 类非临界相位匹配来说,具有大的有效非线性系数: I 类相位匹配的有效非线性系数为 2.2 pm/V, II 类相位匹配为 1.6 pm/V。BBO 晶体具有小的走离角,对于 I 类匹配而言,只有三倍频光存在走离角为  $4.13^\circ$ ,而对于 II 类相位匹配,基频光(或倍频光)及三倍频光均存在走离角,355 nm 光

的走离角为  $4.43^\circ$ 。且 I 类匹配 355 nm 光的走离角小,所以我们选取了 BBO I 类非临界相位匹配方式。其三倍频 I 类匹配角为  $31.3^\circ$ ,  $\phi = 0$ 。其 BBO 晶体的尺寸为  $8\text{ mm} \times 8\text{ mm} \times 8\text{ mm}$ 。在图 1 中,将反射镜  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_4$ 、 $M_5$  取走, $M_6$  为对 1064 nm、532 nm 光全反、355 nm 高透的输出镜。BBO 晶体三倍频的产生实际上是一个和频过程,BBO 三倍频晶体的放置应符合三光波的偏振匹配。由于我们采用 I 类和频,因此,光在晶体中的偏振匹配如图 5 所示。为了提高三倍频的效率,在实验中,除了尽可能的改善 1064 nm 和 532 nm 的光束质量外,还需严格控制两光束的能量比例,当它们的比例大约在 1:1(1064 nm 稍微比 532 nm 大一点时),三倍频的效率最高。在与倍频抽运条件相同的情况下,355 nm 光脉冲输出能量为 1.5 mJ。

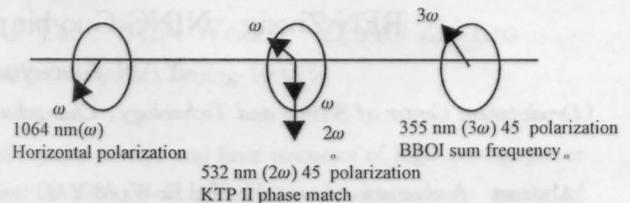


图 6 BBO 晶体中三倍频光束的偏振匹配情况

Fig. 6 Light polarizing match in BBO

总之,我们利用 Nd:YAG 激光介质,研究了高功率准连续激光二极管抽运高重复率电光调 Q 三波长激光器的输出特性,实现了 1064 nm 光单脉冲能量为 8.5 mJ,最窄脉冲宽度 20 ns,最高重复频率 500 Hz 的调 Q 脉冲输出,532 nm 光脉冲能量达到 2.9 mJ,355 nm 的脉冲能量达到 1.5 mJ。

### 参 考 文 献

- 1 G. Feugnet, J. Pocholle. 8-nJ TEM<sub>00</sub> diode-end-pumped frequency-quadrupled Nd:YAG laser. *Opt. Lett.*, 1998, 23(1):55~57
- 2 H. Kouta, Y. Kuwano. Attaining 186 nm light generation in cooled  $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$  crystal. *Opt. Lett.*, 1999, 24(17): 1230~1232
- 3 G. Feugnet *et al.*. High efficiency intracavity doubled diode-end-pumped Nd:YVO<sub>4</sub> laser. *Proc. SPIE*, 1996, 2538:190