

文章编号: 0258-7025(2003)Supplement-0004-03

# 毫秒级脉冲 Nd:YAG 激光高重复率电光调 Q 研究

宁国斌, 范薇, 金光勇, 闫晓媛, 梁柱

(长春理工大学科技开发中心, 吉林 长春 130022)

**摘要** 对毫秒级脉冲 Nd:YAG 激光调 Q 进行理论研究, 将电光调 Q 技术应用于毫秒级脉冲氙灯抽运的 Nd:YAG 激光器中, 并且在谐振腔内放置双  $\lambda/4$  波片, 通过实验研究, 获得稳定的基模, 实现了重复频率 1~5kHz 的窄脉冲激光输出。

**关键词** 激光技术; 毫秒级脉冲激光; 高重复率电光调 Q

中图分类号 TN241 文献标识码 A

## High Repetition Rate Electrooptical Q-Switching of MS Pulse Nd: YAG Laser

NING Guo-bin, FAN Wei, JIN Guang-yong, YAN Xiao-yuan, LIANG Zhu

(Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China)

**Abstract** Electrooptical Q switching technology is applied to the Nd:YAG laser pumped by a MS Xe lamp. To generate stable and single-mode output, a pair of  $\lambda/4$  plates are arranged in the oscillator. Electrooptical Q-switching at repetition of 1~5 kHz and narrow-pulse-duration laser output is experimentally obtained.

**Key words** laser technique; millisecond laser pulse; high repetition rate electrooptical Q-switching

### 1 引言

目前, 实际应用的固体 Nd:YAG 激光器基本上有两类, 一类是闪光氙灯或连续 LD 抽运的 Nd:YAG 连续激光器, 另一类是脉冲氙灯或 LD 抽运的 Nd:YAG 脉冲激光器, 其激光脉冲宽度由几十至上百微秒。要获得窄脉冲激光, 对连续激光多采用声光调 Q 技术, 输出激光脉冲宽度大约在 100~300 ns<sup>[1]</sup>, 具有装置比较复杂, 使用不方便等不利因素。对脉冲激光一般采用电光调 Q, 输出激光脉冲宽度在 10 ns 左右, 显示出结构简单、插入损耗小、调节方便、稳定可靠等优点。然而毫秒级脉冲 Nd:YAG 激光器, 输出激光脉冲宽度大约几个至十几个毫秒, 这种激光器抽运速率远大于连续激光器的抽运速率, 而小于脉冲激光器的抽运速率, 输出激光能量大, 功率高。毫秒级脉冲 Nd:YAG 激光器要获得窄脉冲输出, 本文采用电光调 Q 技术。因为电光晶体在理论上的开关时间达  $10^{-10}$  s<sup>[2]</sup>, 可以实现高重复率电光调 Q。

### 2 毫秒级脉冲抽运高重复率调制阈值

毫秒级脉冲抽运时间大约几个至十几个毫秒, Nd:YAG 激光增益介质上能级寿命约 230  $\mu$ s。与

230  $\mu$ s 相比, 毫秒级脉冲抽运 Nd:YAG 激光器, 可以用连续抽运 Nd:YAG 激光器理论来讨论。对于 Nd:YAG 激光器, 在连续抽运速率和自发衰减的影响下, 谐振腔低 Q 值的时间内, 反转粒子数由下述方程表示

$$\frac{dn}{dt} = W_p(n_{tot} - n_2) - \frac{n_2}{\tau_d}, \quad (1)$$

式中

$$n_{tot} = n_0 + n_2, \quad (2)$$

$\tau_d$  为自发衰减时间,  $n_0$  为工作物质基态粒子数。

在  $n_2 \ll n_{tot}$  时, 解方程(1)得

$$n_2(t) = n_\infty - (n_\infty - n_f) \exp\left(-\frac{t}{\tau_d}\right) \quad (3)$$

式中  $n_\infty = W_p \tau_d n_{tot}$  是当  $t$  大于自发衰减时间  $\tau_d$  时所接近的渐进值。 $n_f$  是调 Q 脉冲形成后的剩余反转粒子数。Q 开关重复频率为  $f$  时, 调 Q 脉冲之间建立反转粒子数的最大时间为  $t = 1/f$ , 所以反转粒子数为

$$n_2 = n_\infty - (n_\infty - n_f) \exp\left(-\frac{1}{\tau_d f}\right) \quad (4)$$

它是反转粒子数在每个 Q 开关周期以后返回到它初始时的数值。这个初始数值与调 Q 重复率  $f$  有关, 如图 1。当  $f < 1/\tau_d$  时,  $n_2$  周期性地由前一次剩余

作者简介: 宁国斌(1948.12-), 男, 长春人, 教授, 主要从事激光器与光子技术的基础和应用研究以及教学工作。

反转粒子数  $n_j$  升到  $n_\infty$ ,  $f > 1/\tau_d$  时,  $n_2$  周期性地由前一周期剩余反转粒子数  $n_j$  升到某一值  $n_{j0}$ .

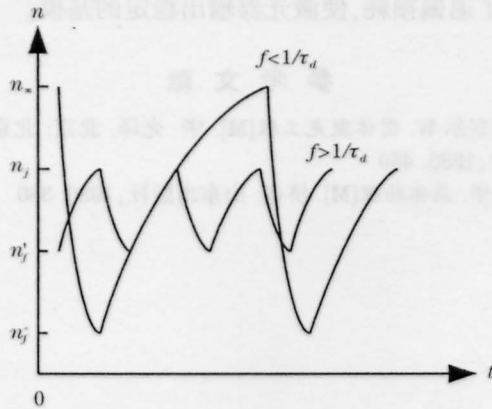


图 1 反转粒子数与  $f$  的周期性关系

Fig.1 Inverted population varies periodically with  $f$

Wagner 等关于单个 Q 开关脉冲的理论,也适用于连续抽运 Nd:YAG 调 Q 激光器系统。由(4)式描述的反转粒子数随时间周期性的变化,在每个变化周期内,满足调 Q 的速率方程为

$$\frac{d\phi}{dt} = \phi \left( \frac{c n_2 l}{l} - \frac{\epsilon}{t_R} \right) \quad (5)$$

$$\frac{dn_2}{dt} = -\phi n_2 \sigma c \quad (6)$$

式中  $t_R = 2l/c$ , 表示光子在谐振腔内的往返时间。 $l, l'$  分别为谐振腔长和 Nd:YAG 棒长。 $\epsilon = -[\ln R_1 + \alpha + \xi(t)]$ , 是激光在谐振腔内每次往返的损耗,其中第一项为耦合损耗,第二项包含散射、衍射、吸收等损耗, $\xi(t)$  表示 Q 开关引入的腔损耗。

当  $\frac{d\phi}{dt} = 0$  时,由(5)式可以解出阈值时反转粒子数

$$n_t = \epsilon / 2\sigma l, \quad (7)$$

解(5),(6)两式,可以得到腔内最大光子密度

$$\phi_{\max} = \frac{l}{l'} \left( n_t \ln \frac{n_i}{n_t} + n_i - n_t \right) \quad (8)$$

并且得到谐振腔输出的峰值功率为

$$P_{\max} = \frac{lvhv}{l'\tau_R} \left[ n_i - n_t \left( 1 + \ln \frac{n_i}{n_t} \right) \right] \ln \frac{1}{R_1} \quad (9)$$

由(8),(9)式可以看出,当激光器的阈值反转粒子数  $n_t$  与初始反转粒子数  $n_i$  相当时,谐振腔内没有光子积累,谐振腔没有激光输出。在  $n_i$  降到最低时,腔内积累光子最多,由谐振腔输出的激光功率最大。由(7)式和图 1 可知,应用电光效应引入一种谐振腔损耗机制,产生腔损耗  $\xi(t)$  高重复率周期变化,使  $n_i$  在  $n_j$  与  $n_\infty$  或  $n_j$  与  $n_i$  之间高频振荡,从而谐振腔以

高重复率输出最大功率的激光。

### 3 毫秒级脉冲激光高重复率电光调 Q 实验

用毫秒级脉冲氙灯抽运 Nd:YAG 激光器进行电光调 Q 实验。Nd:YAG 介质的直径为  $\phi 5$  mm,长  $l = 75$  mm。谐振腔选取平凹腔,平面输出耦合镜反射率  $R_1 = 75\%$ ,曲率半径为 2000 mm 的凹面全反射镜,反射率  $R_2 = 100\%$ ,谐振腔长  $l = 450$  mm。毫秒级脉冲抽运 Nd:YAG 高重复率电光调 Q 激光器装置如图 2 所示。

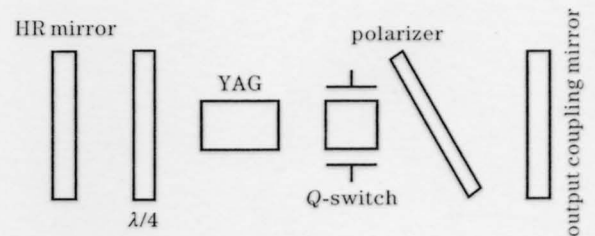


图 2 具有两个  $\lambda/4$  波片的高重复频率电光调 Q 激光器

Fig.2 High repetition rate electrooptic Q-switched laser with two  $\lambda/4$  plates

当调 Q 晶体 KD\*P 和偏振片放入谐振腔内进行调 Q 时,产生较大的损耗,并且多模输出,这种情况基本是热效应产生退偏现象造成的。经偏振片起偏的线偏振光,通过由热效应产生双折射特性的 Nd:YAG 棒传输时,线偏振光退偏为椭圆偏振光。激光在谐振腔内每往返一次,就损耗近一半左右的光能,从而大部分反转粒子数消耗在退偏损耗中,致使激光器一直工作在高阈值状态。实验发现,当抽运功率变化时,退偏损耗和输出模式随之变化,在抽运功率确定的条件下,通过旋转偏振片,可以获得最大激光输出,但仍是多模的。

实验中,在抽运功率确定的条件下,转动偏振片至激光输出达最大的位置。为获得稳定的窄脉冲基模激光输出,在谐振腔内 YAG 棒与全反射镜之间放入  $\lambda/4$  波片,此波片和 KD\*P 调 Q 晶体构成加压开门式开关,并且具有选模作用。图 2 所表示的是双  $\lambda/4$  波片加压开门式高重复率电光调 Q 激光器。在谐振腔内,全反射镜与  $\lambda/4$  波片之间和加电压的 KD\*P 调 Q 晶体与输出镜之间传输的是线偏振光,在  $\lambda/4$  波片与加电场的 KD\*P 调 Q 晶体之间,即 Nd:YAG 棒中振荡的是圆偏振光。这样有利于基模的选取,抑制退偏损耗。

