

脉冲声光主动锁模 Nd:YAG 激光器

谢梓铭 陈绍和 李仕英

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文描述一台脉冲泵浦、声光调制器锁模、电光 Q 开关放大的 Nd:YAG 激光器。该激光器输出的脉宽从 200 微微秒到 1 毫微秒,单脉冲能量约为 0.1 毫焦耳,脉冲序列峰值的稳定性优于 90%。

An active acousto-optic mode-locked pulse Nd:YAG laser

Xie Zhiming Chen Shaoh Li Shiyang

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: A pulse pumped Nd:YAG laser, mode-locked with an acousto-optic modulator and amplified with an electro-optic Q-switch is described. The pulse widths of the laser output range from 200 ps to 1 ns. About 0.1 mJ is obtained for a single pulse and the stability of the peak values of the pulse train is better than 90%.

一、引言

被动锁模激光器,由于本身固有的输出不稳定性,在某些应用中受到了限制。连续主动锁模 Nd:YAG 激光器,输出虽然稳定,但单脉冲能量只有几个毫微焦耳,实际应用较困难,虽可用再生放大的方法,提高单个脉冲的能量,但结构复杂,技术要求高。预激光方式工作的脉冲主动锁模激光器基本上可以使上述两种锁模激光器存在的不足得到改善。

二、脉冲主动锁模和 部分 Q 开关技术

对脉冲主动锁模,锁模脉冲宽度的近似

表示式*为^[1]

$$\bar{C}_p = \frac{(\ln 2/2)^{1/2}}{\pi} \frac{1}{\theta_m f_m} \frac{1}{M^{1/2}} \quad (1)$$

其中 f_m 为调制频率; θ_m 为调制器的调制度; M 表示在脉冲建立过程中通过调制器的振荡次数。当^[1]

$$M = M_0 \geq \frac{0.38}{\sqrt{g}} \frac{4f}{\theta_m f_m} \quad (2)$$

其中 g 为激光振荡一周的振幅增益; $4f$ 为激活介质线宽。则锁模脉冲宽度接近稳态锁模时脉冲宽度(误差在 5% 以内)。也就是说非常接近稳态锁模的脉冲宽度(在调制度 θ_m 相同情况下)。

对于 YAG:Nd 激光器, $4f = 180$ 千兆赫。适当提高调制度 θ_m , 如取 $\theta_m \approx 0.5$, 则当

收稿日期: 1980 年 6 月 16 日。

* 当脉冲宽度比稳态解大时,这个公式是正确的。

腔长 $L=150$ 厘米时, M_0 约为 10^3 次。从阈值点到接近带宽极限的超短脉冲形成只需 10 微秒左右, 这样的条件采用一般光泵时间 ~ 200 微秒的脉冲方式就可实现。

从公式(1)和(2)可看出, 在 $M > M_0$ 后, 压缩脉冲宽度主要依靠增大 f_m 和 θ_m 。但是, 增大 f_m 受到加工调制器工艺和腔长的限制, 因此, 对脉冲主动锁模, 压缩脉冲宽度主要通过增大 θ_m 来实现。

脉冲主动锁模激光器输出的单脉冲能量虽比连续主动锁模激光器输出的单脉冲能量大 10^3 , 但仍太小。如果腔内加一个部分 Q 开关, 首先允许在腔内有小的净增益, 在 $M > M_0$ 以后, 全 Q 开关都用上。用这种预激光的方法既可大大提高单脉冲的能量, 又能通过控制 M 的方法控制脉冲宽度。如果能够精确地控制部分 Q 开关打开的时刻, 还可以提高锁模激光器输出的稳定性。这种运转方式对 YAG 和钕玻璃都适用。

三、脉冲宽度的测量

主动锁模激光器输出的单脉冲能量较小, 因此, 如用双光子荧光技术测量它的脉冲宽度, 需将激光器的输出进行足够的放大, 或进行几十次的曝光, 使双光子荧光有明显的扫迹, 所以测量较为困难。下面我们介绍一种测量脉宽的近似方法。

被动锁模的理论和实验结果^[2]表明, 当腔内可饱和染料盒离全反射镜为 l 时, 如果距离最大强度值的尖峰脉冲 l 处, 有一个强度 $\geq 1/5$ 最大强度值的尖峰脉冲, 则必将出现一个较强卫星脉冲, 在双光子荧光扫迹上明显地显示出来, 它与主脉冲的距离 $\approx \frac{2l}{C}$ 。另外, 由于腔内辐射场建立以后, 反复通过声光损耗调制器, 将形成一个脉冲包络“窗口”, 如果 $\frac{2l}{C}$ 大于包络“窗口”宽度, 则小强度值的脉冲被包络“窗口”限制, 不能形成卫星脉冲。

因此, 测出开始出现卫星脉冲的 l 值, 就能得出脉冲包络“窗口”的宽度, 也就近似地测出了脉冲主动锁模脉冲的宽度。

当输出脉宽大于毫微秒时, 可直接用雪崩二极管配 7904 示波器或 519 示波器测量。

四、激光器系统

脉冲主动锁模激光器的框图如图 1 所示。

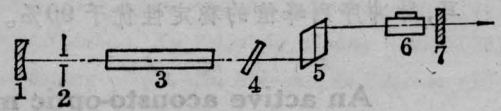


图 1 YAG 主动锁模激光器

- 1—全反射镜; 2—小孔; 3—Nd:YAG 棒;
4—偏振膜板; 5—电光 Q 开关; 6—声光调制器; 7—输出反射镜

谐振腔是腔长为 1.5 米的半共焦腔。工作物质是 $\phi 5 \times 60$ 毫米的 Nd:YAG 棒, 两端面为 2° 角, 由超级恒温器循环冷却、恒温。单支管状脉冲氙灯在单椭圆聚光器中泵浦, 氙灯的充电精度为 1 伏, 输入能量 ~ 80 焦耳。图 2 是典型的氙灯发光波形。输出反射镜为夹角 3° 的楔形板, 反射率为 50% 。腔内在靠近全反射镜处置一直径 2.5 毫米的小孔选横模。声光调制器采用熔石英作声介质, $36^\circ Y$ 切割铌酸锂晶体作换能器, 声激励源频率为 50 兆赫, 稳定性 10^{-5} , 输出功率 $3 \sim 4$ 瓦。调制器的有效通光孔径 3 毫米, 声光作

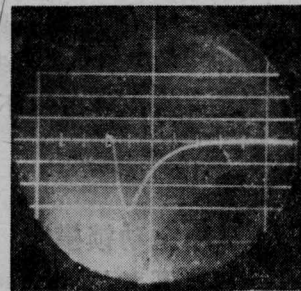


图 2 氙灯发光波形
扫速 100 微秒/厘米

用距离 40 毫米, 尽量靠近输出反射镜放置。调制器用水冷却, 克服热效应。电光 Q 开关采用双 45° 铌酸锂晶体, 尺寸是 $9 \times 9 \times 11$ 毫米。用电触发球隙瞬时退去电光 Q 开关上的电压。

五、实验结果

当激光器的腔长失调度为厘米量级时, 在示波器上就能观察到规则的序列波形。要获得好的主动锁模脉冲输出, 腔长的失调度要降低, 即要提高声光调制器工作频率与腔长的同步精度。

采用预激光锁模和电光 Q 开关后, 使单个脉冲的能量从 10 微微耳提高到 100 微微耳左右, 但锁模脉冲序列的个数减少。

图 3、4、5 是激光器在声光调制器的调制度 $\theta_m = 0.84$ 弧度时, 输出的脉冲序列波形、光谱图和双光子荧光扫迹。脉冲序列波形是雪崩二极管配 7904 示波器 (工作在 350 兆赫) 拍摄的。光谱图是用间距为 3.13 毫米的 F-P 标准具拍摄的 (成象透镜焦距 8.4 毫米)。双光子荧光扫迹是输出增大了 10 倍, 连续曝光 20 次后得到的。在这样的 θ_m 下, 该激光器输出的时间宽度为 200 微微秒, 光

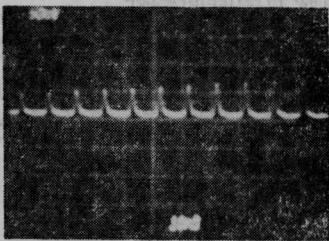


图 3 脉冲序列波形



图 4 光谱

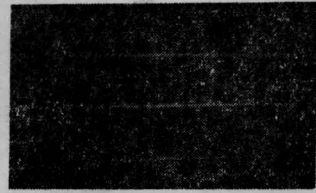


图 5 双光子荧光

谱宽度为 ~ 0.15 埃。由此得出 $\Delta\nu \cdot \Delta t \approx 0.8$, 接近带宽极限。

当声光调制器的调制度 $\theta_m = 0.41$ 弧度时, 锁模波形如图 6, 这时脉冲的时间宽度约为 1 毫微秒。



图 6 $\theta_m = 0.41$ 弧度时, 主动锁模序列波形

当声光调制器的调制度 $\theta_m = 0.84$ 弧度时, 我们采用双光子荧光测调制器包络“窗口”的方法, 也测得了主动锁模脉冲的时间宽度 ~ 200 微微秒。当染料盒离全反射镜的距离 $l = 3$ 厘米时, 基本上能观察到如图 7 所示的卫星脉冲。当 $l = 3$ 厘米时, 就基本上观察到如图 7 所示的双光子荧光扫迹。这种方法所得结果, 和上述将输出增大, 曝光 20 次所得的测量结果很符合。这说明采用这种测量调制器包络“窗口”来近似得到主动锁模脉冲的时间宽度是一种可行的办法。

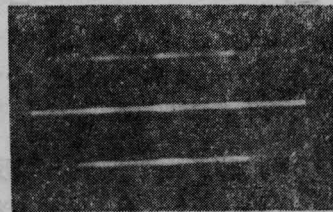


图 7 $l = 3$ 厘米时, 典型双光子荧光扫迹

参 考 文 献

- [1] D. J. Kuizenga; *Opt. Commun.*, 1973, 9, 221.
- [2] V. S. Letokhov; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1972, QE-8, 766-782