

## 全主动锁模激光器——预激光锁模激光器

唐贵琛 裘佩霞 林伟平 陈有明 郑向东

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 描述一种全主动锁模激光器,它采用预激光锁模技术,脉冲宽度从 300 ps 到 1500 ps 连续可调,脉宽稳定性为  $\pm 5\%$ 。脉冲能量为 200  $\mu\text{J}$ ,脉冲幅度起伏小于  $\pm 3\%$ ,信噪比大于  $10^7$ 。

## An actively mode-locked laser——prelasing mode-locked laser

Tang Guishen, Qiu Peixia, Lin Weiping, Chen Youming, Zhen Xiangdong

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

**Abstract:** An actively mode-locked laser adopting prelasing technology is described. Its pulsewidth stability is  $\pm 5\%$  and can be adjusted from 300 ps to 1500 ps. The pulse energy is about 200  $\mu\text{J}$ , the amplitude fluctuation is less than  $\pm 3\%$ , and the signal to noise ratio is better than  $10^7$ .

## 一、序 言

利用某种染料溶液作为饱和吸收体的被动锁模激光器<sup>[1]</sup>,存在固有的不稳定性。主被动锁模激光器<sup>[2]</sup>稳定性有很大提高,但仍然不能令人满意。最令人讨厌的是不得不经常地更换染料。各批染料、各批溶剂也存在差异,配出的染料溶液差别就更大。因此,要保证被动或主被动锁模激光器长期稳定可靠运转是十分困难的。更主要的是锁模脉冲没有足够的时间发展到稳态,因此噪声大。

连续锁模激光器<sup>[3]</sup>能够稳定工作,但受光泵负载的限制,锁模脉冲的能量仅是 nJ 量级。

本文报告的全主动锁模激光器,正是克

服上述激光器的缺点,发扬它们的优点而设计的。既能克服被动锁模和主被动锁模不够稳定(根本不用染料,不存在更换染料问题)以及连续主动锁模脉冲能量小的缺点,又兼顾了前者脉冲能量大和后者锁模稳定的优点,是一种较为理想的方案。

## 二、激光器设计思想

全主动锁模激光器,采用了预激光主动锁模和主动调 Q 技术,因此也叫预激光锁模调 Q 激光器。关于预激光锁模调 Q 激光器的一些理论问题,已在文献[4]中阐明清楚了。

问题是,锁模脉冲在腔内往返多少次才能达到稳态,特别是能成为变换极限的脉冲。

收稿日期: 1985年11月29日。

按照文献[4]的分析,锁模脉冲在腔内往返到某一时刻,它所包含的纵模,仅是中心振荡频率连同它的边频带,这时的锁模脉冲就是变换极限了。到这一时刻,锁模脉冲在腔内往返的次数是:

$$M \geq \frac{\ln 2}{8g} \left( \frac{\Delta f}{f_m} \right)^2$$

式中  $g$  是饱和增益,  $\Delta f$  是荧光带宽,  $f_m$  是声光调制器的调制频率。对于  $g=0.4$ ,  $\Delta f=107.14 \sim 180$  GHz, 则  $M \geq 10 \times 10^5 \sim 28 \times 10^5$ 。因为腔的往返周期  $T=10$  ns, 所以预激光阶段的持续时间应是  $10 \sim 28$  ms。

为了满足上述要求,我们把光泵的波形设计为从 5 ms 到 20 ms 连续可调的方波。图 1 是光泵放电的电流波形。电流从 0 到 50 A 连续可调。其实,电流波形只要求没有起伏,电流波形向上翘一点<sup>[4]</sup>也是有好处的。我们认为,电流波形向下斜一点也可以,这有助于腔的有效长度的热平衡。我们利用这种波形,也得到了好的预激光锁模波形。

激光系统如图 2 所示。激光头由双椭圆聚光腔、两支高压氙灯和一根 Nd:YAG (YLF) 组成,棒两端磨成布鲁斯特角,尺寸是

$\phi 5 \times 82$  mm。

声光调制器和声光 Q 开关也切成布鲁斯特角。声光调制器的频率是 50 MHz, 声光 Q 开关的工作频率是 32 MHz。因为声光 Q 开关的射频负载比较大,所以它的侧面是恒温水冷却的。Q 开关何时打开,由控制线路及延迟系统决定。为了得到变换极限的锁模脉冲,我们通常是在预激光持续了 11~13 ms 之后打开 Q 开关。

谐振腔的参数是:后腔凹面全反射镜,曲率半径  $R=5$  m(或 3 m),前腔楔形板,透过率  $T=29\%$ 。这种腔模体积虽然不大,但是工作相当稳定。

腔内标准具系列的厚度分别是 2、3、5、7、10 mm,插入不同厚度的标准具,可得到不同的脉冲宽度。

### 三、锁模激光脉冲输出特性

图 3 是连续 100 次发射的锁模调 Q 包络峰值处的单脉冲照片,这是靠控制示波器触发电平来完成的。从照片上可以看出,有 94 次基本重叠在一起,因曝光过度,照相底

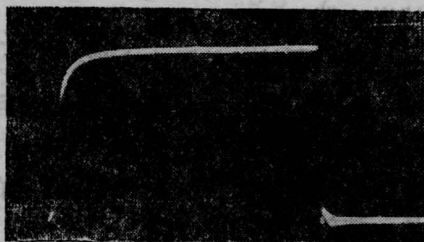


图 1 光泵的电流波形(2ms/div)

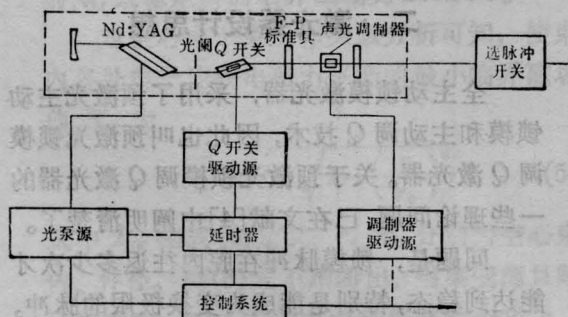


图 2 实验排布



图 3 锁模脉冲幅度的稳定性(100次发射)  
(500 ps/div)

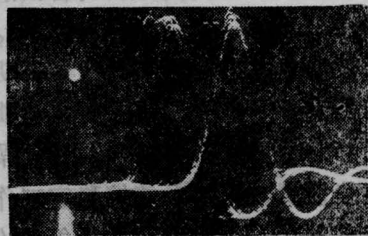


图 4 单次发射(任意时间间隔)情况下的  
脉冲峰值稳定性  
(500 ps/div)

片有弥散现象,即使把弥散也算在内,起伏也只有 $\pm 3\%$ ,显示出峰值脉冲十分稳定,充分体现了预激光锁模调Q的优点。

反复实验证明,如果没有预激光或预激光锁模波形不好,例如腔失配或失调,则锁模调Q包络起伏大,稳定性不好。

对比实验表明,为获得稳定输出而采用的预激光锁模技术,不仅要求在Q开关打开之前有预激光,而且要求预激光锁模波形要好,这样才能在Q开关打开之前,锁模达到稳定,从而使调Q输出稳定,这是符合预激光锁模原理的。

另外,我们还注意到这样一些现象,①当腔长失配 $5\mu\text{m}$ 时,虽然预激光波形已经略有变坏,但一直到失配 $100\mu\text{m}$ 才完全失锁。这一点与文献[4]不同,可能的原因是,不同的调制深度和脉冲宽度,对腔长失配的要求不一样。②在我们的系统中,如果用慢扫描示波器观察预激光波形,其波形跟文献[4]的一样,但用快扫描示波器观察时,发现这些宏观上看来十分漂亮的预激光波形,包含一些细小的起伏,这似乎说明,反转粒子数跃迁时,有一些小的波动。

还应该指出,工作物质的热效应对预激光锁模调Q的稳定性也有一定的影响。我们发现,当激光器处于单次发射状态时,峰值脉冲的稳定性有所下降,图4是任意发射时间间隔的峰值脉冲照片,照相时分成两组,每组都是10次发射。从照片上看,起伏大约是 $\pm 4\%$ ,其中后一组有一个脉冲凸起,起伏超过 $5\%$ 。可见,让激光器处于重复率热平衡状态,对预激光锁模脉冲的稳定性是有好处的。

#### 四、关于弛豫振荡的讨论

在预激光锁模过程中,弛豫振荡波形的好坏,可以作为腔长匹配好坏的判据。通常有规律的呈指数形衰减的弛豫振荡,是腔长

与调制频率匹配很好的象征。反之,弛豫振荡无规,腔长失配或失调。

弛豫的完整过程如图5所示,这种波形跟理论分析的有相似之处。弛豫振荡开始部分表现为脉冲从极大值可衰减到零,过一段时间底部逐渐抬高,振幅越来越小,直流分量越来越多,直到振荡消失,达到平衡。

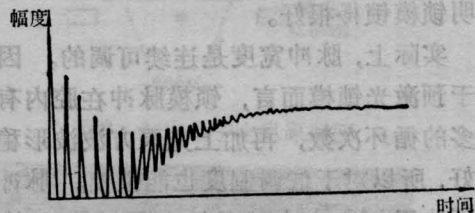


图5 弛豫振荡过程的示意图

#### 五、参数测量和脉宽调节

单脉冲的能量和脉冲宽度是用灵敏卡计和条纹相机测量。在脉冲序列峰值处选出单脉冲,其脉冲能量大约是 $200\mu\text{J}$ ,能量的大小取决于加在Q开关上的射频功率和光泵功率。在我们感兴趣的 $300\sim 800\text{ps}$ 脉宽范围内,脉冲幅度是非常稳定的,幅度的波动小于 $\pm 3\%$ 。

脉冲宽度的调节是依靠腔内插入不同厚度的标准具以及改变调制深度来完成的。

脉冲宽度与标准具厚度之间的关系见图6。结果表明,在预激光锁模激光器中插入标准具(未镀膜的熔石英平板),标准具拉长脉宽的效果是很明显的,而我们以前在主被动

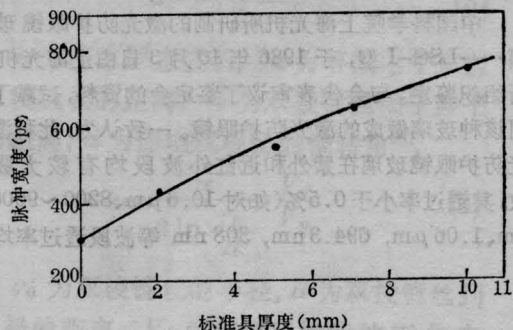


图6 脉冲宽度与标准具厚度之间的关系

锁模激光器中插入标准具,其拉长脉冲的作用便不明显。

条纹相机扫描表明,不论腔内加标准具还是不加标准具,脉冲都是光滑的,脉冲宽度的稳定性典型是 $\pm 5\%$ ,这正是预激光锁模的结果,用硅光电子开关测量信噪比,测量结果表明信噪比大于 $10^7$ (受测量系统限制),表明锁模锁得很好。

实际上,脉冲宽度是连续可调的。因为对于预激光锁模而言,锁模脉冲在腔内有足够多的循环次数,再加上光泵方波波形稳定性好,所以对于低调制度也能锁模。脉冲宽度正比于 $(\sqrt{p})^{-1}$ , $p$ 是加在调制器上的射频功率。调制深度变化一个量级,脉宽有1.8倍的变化;调制深度变化30倍,脉宽可有2.3倍的变化。因此用插入标准具结合改变调制深度的方法,可以复盖300~1800 ps的脉宽范围。本文之所以没报道低于300 ps的脉冲,除调制深度和石榴石的质量等原因之外,也许就是因为我们用条纹相机测量各种脉宽时,用的不是布鲁斯特角调制器,而是一块普通商用调制器,它具有一定的标准具效应。实际上,我们用10 mm标准具,再结

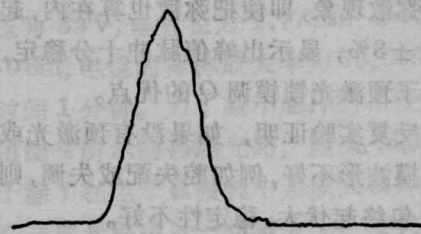


图7 脉宽为1.2 ns的条纹相机扫描

合降低调制深度,已经把脉宽拉到1800 ps(1.8 ns)。在厚标准和弱调制情况下,脉冲仍然是光滑的,图7就是1.2 ns脉宽的条纹相机扫描实例。但是,在这种情况下,脉宽的稳定性不是很理想,原因是,脉宽越宽,包含的纵横越少,在仅有几个纵横锁定的情况下,多锁一个或少锁一个对脉宽都有较大的影响。

#### 参 考 文 献

- [1] 唐贵琛等;《激光》,1979,6, No. 9, 31~38
- [2] W. Seka, J. Bunkenburg; *J. Appl. Phys.*, 1978, 49, No. 4, 2277.
- [3] 黄国标等;《激光与红外》,1981, No. 4, 1.
- [4] Dirk J. Kuizenga; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1981, QE-17, No. 9, 1694.

#### 简 讯

### 激光防护眼镜玻璃通过鉴定并推广生产

中国科学院上海光机所研制的激光防护眼镜玻璃——LSG-I型,于1986年10月3日由上海光机所组织鉴定。与会代表审议了鉴定会的资料,试戴了用该种玻璃做成的激光防护眼镜。一致认为,此种激光防护眼镜玻璃在紫外和近红外波段均有较大吸收,其透过率小于0.5%(如对10.6 $\mu\text{m}$ 、8200~9000 nm、1.06 $\mu\text{m}$ 、694.3 nm、308 nm等波段透过率均

小于0.2%)。而在可见波段的透过率则大于50%,达到了预期的指标。可以较好地解决半导体激光、固体激光、准分子激光、He-Ne激光和CO<sub>2</sub>激光等的防护问题。

此项科研成果防护波段宽,效果好,经久耐用,达到了国际同类产品的水平。现已推广上海新沪玻璃厂分厂生产。(文萍)