

脉冲主动锁模和主被动锁模激光器

裘佩霞 唐贵琛

(中国科学院上海光机所)

提要: 本文报导了脉冲式主动、主被动锁模磷酸盐玻璃振荡器的特性。主动锁模的脉冲宽度为 200 微微秒左右, 输出性能比较稳定。对于输出脉宽为 7 微微秒左右的主被动锁模, 出现卫星脉冲的几率与调制器的调制系数有关。使用不同的腔内标准具能产生 30 微微秒和 70 微微秒的脉冲, 没有观察到卫星脉冲。主被动锁模的性能比被动锁模有所提高。

Active and active-passive mode-locked pulsed lasers

Qiu Peixia Tang Guisheng

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

Abstract: The characteristics of active and active-passive mode-locked phosphate glass oscillators are reported. Active mode-locked pulse duration was about 200 ps with relatively stable output. For an active-passive mode-locked laser with a pulse duration of 7 ps, the probability for occurring satellite pulses was related to the modulation index of the modulator. Using various intracavity etalons, the pulse duration of 30 ps and 70 ps were generated without satellite pulses. The performances of the active-passive mode-locked laser are better than that of the passive one.

一、实验装置

实验排布见图 1。

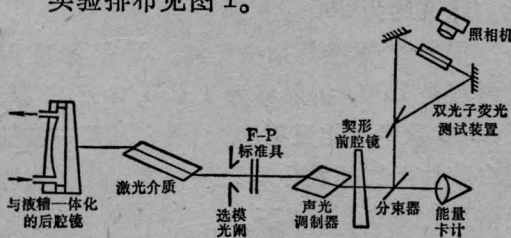


图 1 实验装置示意图

输出镜是反射率为 45% 的契形平板, 后腔镜是曲率半径为 3 米的全反镜, 它与液槽做成一体化, 腔长 165 厘米。激光介质是

$\phi 10 \times 220$ 的磷酸盐棒, 用恒温水冷却。选模光阑的孔径为 $\phi 2.5$ 。声光调制器(主动锁模元件)的换能器是 $Y-36^\circ$ 切割的铌酸锂晶体, 74 微米厚, 声光作用介质是融石英, 长 23 毫米, 通光面是布儒斯特角的。声光调制器由 XG-22 超高频功率信号发生器驱动, 调制频率在 45 兆周附近与腔长匹配。用双光子荧光法测量脉冲宽度。实验是在室温下进行的。

二、主动锁模实验

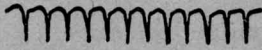
为了考察声光调制在激光器中的作用,

收稿日期: 1980 年 6 月 16 日。

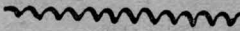
首先进行了纯主动锁模实验(这时液槽内充以二氯乙烯)。

(1) 锁模波形的观察

用雪崩二极管和 7904 示波器(响应时间为 1 毫微秒)观察了锁模波形, 波形有很好的重复性。固定调制器的调制频率, 有一最佳腔长与之对应, 但是波形随腔长的变化并不灵敏, 当腔长偏离最佳腔长 1.5 毫米时锁模波形的变化并不明显。当腔长严重失调时, 观察到的波形是正弦形的。图 2 是二种情况下的锁模波形。



(a) 调制频率与腔长匹配时的锁模波形



(b) 腔长严重失调时的锁模波形

图 2

(2) 输出能量

主动锁模的输出能量随腔长的变化是非常灵敏的, 如图 3 所示。我们把腔长的增加定义为负失调, 反之为正失调, 腔长正负失调时能量的变化是不对称的, 负失调时, 能量下降得快。

输出能量对激光器的热效应也非常敏感, 如果实验间隙控制不合适, 输出能量的起伏可达 $\pm 25\%$ 。表 1 给出实验间隔为十分钟的连续 9 次的测量(用灵敏度为 2160 格/焦

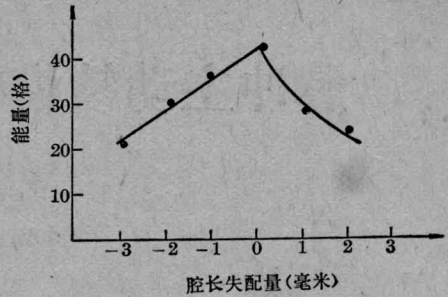


图 3 能量与腔长的关系

耳的卡计进行测量)。在 9 次实验中, 最大的能量起伏不超过 $\pm 10\%$, 其中有 7 次的能量起伏不超过 $\pm 5\%$ 。

表 1 三种锁模方式下输出能量及其起伏

锁模方式	输出能量 (毫焦耳)	起伏
主动	14.7 16.2 14.8 13.0 14.8 14.7	9 次中有 7 次的能量变化不超过 $\pm 5\%$
	13.4 14.8 14.8	
主被动	23 21 24 22 22 18.5 22.5	除 2 次能量比较小外其余起伏小于 $\pm 9\%$
	23 22.5 13 21 25 24	
被动	33.3 29.2 33.5 27.2 34.5 31.1	起伏 $\pm 11\%$
	32.4 27.2 28.7 31.4	

(3) 脉宽和光谱

主动锁模的双光子荧光照片如图 4 所示。脉宽约为 200 微微秒。

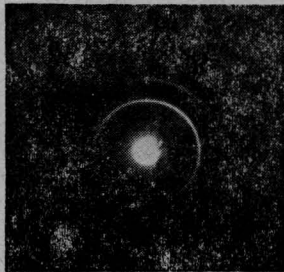
用 F-P 标准具拍摄光谱。F-P 标准具的材料是 ZF6, 折射率为 1.735, 3 毫米厚, 对 1.06 微米光的反射率为 95%。用一般的黑白胶片经红外敏化后记录光谱。测量表明光谱宽度在 0.3\AA 以下。

(4) 声光调制器的时间窗口宽度

根据 [1] 的处理, 考虑锁模脉冲重复通过调制器, 如果假设锁模开始于一个腔内的初始均匀单模场, 脉冲在腔内循环 N 次后宽度可近似为



(a) 主动锁模的双光子荧光照片



(b) 主动锁模的光谱

图 4

$$\Delta t_p = \left(\frac{T}{\pi}\right) \left[\left(1 + \frac{1}{m}\right) \ln 2\right]^{\frac{1}{2}} N^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

其中 $T=2L/c$, L 为腔长, c 为光速; m 为声光调制器的调制系数。

代入实验参数 ($T=11$ 毫微秒, $m=0.253$, $\Delta t_p=200$ 微微秒) 可以推算出脉冲在腔内的循环次数 $N \approx 10^3$ 。

根据 [2] 的处理, 调制器的时间窗口宽度为

$$t = \frac{4 \ln 2}{\pi c} \frac{L}{\sqrt{mN}} \left\{ 1 + \frac{2-m}{2} \left(\frac{\pi x}{2L}\right)^2 \right\} \quad (2)$$

它表示只有落入这一时间窗口内的脉冲才能被建立。其中 x 是调制器与最近的反射镜的距离。

用 $x=6$ 厘米, $m=0.253$, $N=10^3$, L

$=165$ 厘米代入 (2) 式, 求得 $t \approx 300$ 微微秒。

三、主-被动锁模

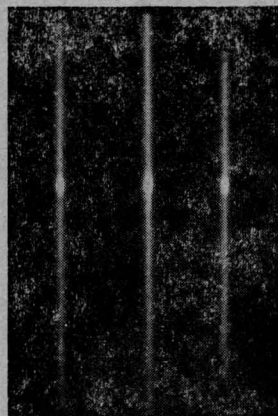
驱动调制器进行主被动锁模实验。

(1) 锁模波形

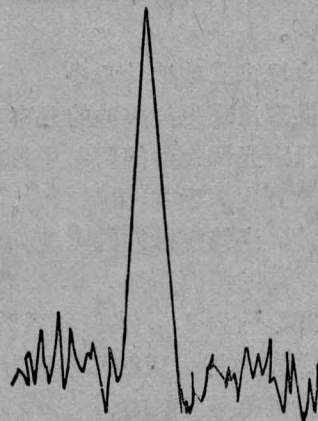
主被动锁模的波形包络的重复性比纯被动锁模的好, 但波形不及纯主动锁模的好。

(2) 脉宽及双光子荧光对比度

主被动锁模的脉宽及双光子荧光对比度与纯被动锁模没有显著差别, 但是当调制器的调制系数比较高时主被动锁模的脉宽有增大的趋势, 见表 2。双光子荧光对比度也略有提高。图 5 是双光子荧光照片及对应的黑度扫迹。



(a) 主被动锁模的双光子荧光照片



(b) (a) 的黑度扫迹

图 5

表2 被动、主被动锁模的脉宽(微微秒)

纯被动	主被动 (调制系数 0.22)	主被动 (调制系数 0.073)
6.7	7.3	6.3
6.3	8	7.5
6.5	9	8
7	7	
6.3		
9		

(3) 输出能量

进行了连续 13 次的实验(见表 1), 其中除了二次能量特别小以外, 其余的起伏小于 $\pm 9\%$ 。

(4) 不同脉宽的获得

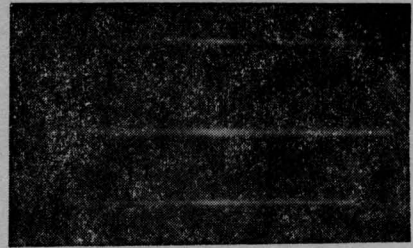
腔内插入 0.2 毫米厚、两个面的反射率为 25% 的镀膜标准具, 能得到宽度约为 30 微微秒的脉冲。腔内插入三块厚度分别为 0.2、0.5、2 (毫米) 两个面的反射率分别为 25%、35%、4% 的 F-P 标准具, 能得到宽度约为 70 微微秒的脉冲。它们的双光子荧光照片及对应的黑度扫迹见图 6。在纯被动锁模器件中, 产生 30 微微秒左右的脉冲时标准具选纵模不很稳定, 表现在脉宽变化比较大, 经常出现标准具没有选模效应的情况。在主被动锁模中, 脉宽的变化相对来说比较小, 变化范围在 $\pm 16\%$ 。

当器件在产生 70 微微秒脉冲的条件下运转时, 主被动锁模的能量稳定性较被动锁模有所提高。

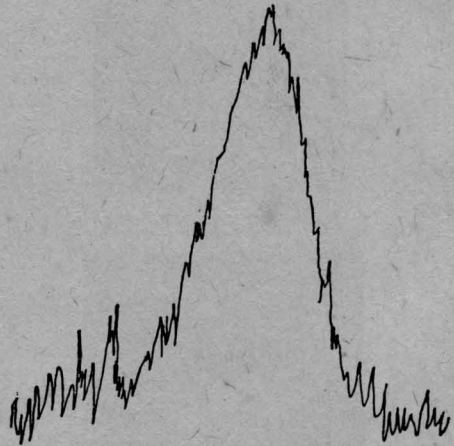
(5) 出现卫星脉冲的几率

实验发现出现卫星脉冲的几率与锁模脉冲的宽度及声光调制器的调制系数有关。当锁模脉冲的宽度大于 30 微微秒时, 没有观察到卫星脉冲。当锁模脉冲的宽度为 7 微微秒左右而调制器的调制系数为 0.22 时, 卫星脉冲出现的几率约为 0.5, 当调制系数降低到 0.073 时, 卫星脉冲出现的几率约为 0.15。卫星脉冲的位置都是随机的。

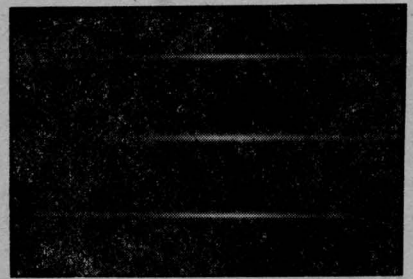
卫星脉冲出现的几率与锁模染料的浓度无关。



(a) 脉宽为 30 微微秒的双光子荧光照片



(b) (a) 的黑度扫迹



(c) 脉宽为 70 微微秒的双光子荧光照片



(d) (c) 的黑度扫迹

图 6

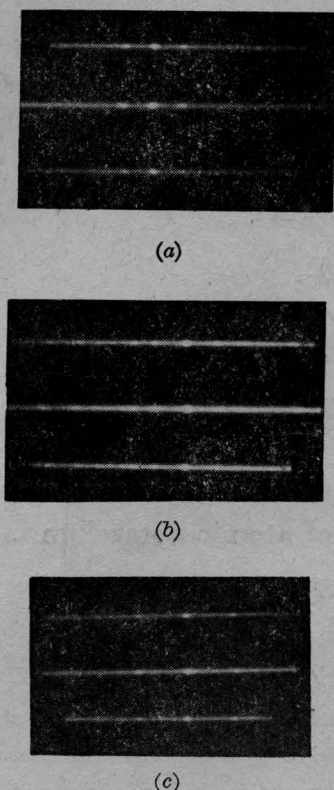


图7 卫星脉冲的位置是随机的

图7给出几幅有卫星脉冲的双光子荧光照片。

按照 Kryukov 和 Letokhov 的分析^[3],在被动锁模激光器中,卫星脉冲出现的几率与锁模脉冲形成的线性阶段的末端的噪声脉冲数的对数成正比,按理腔内加了主动调制器后,调制器窗口外的噪声脉冲被抑制,卫星脉冲出现的几率应该下降。但是,这一关系并不适合于调制器窗口之内的噪声脉冲。我们认为在被动锁模激光器中,无论是在锁模形成的线性阶段和非线性阶段,可饱和吸收体和工作物质对脉冲的鉴别方式是固定的,即强的脉冲损耗小,弱的脉冲损耗大,所以强的可以一直生长下去,弱的被抑制掉。只有当二个噪声脉冲的强度非常接近时才出现双列脉冲。假设在染料的非线性阶段中,脉冲被压缩5倍,最后输出约为7微微秒的锁模脉

冲是由~40微微秒的噪声脉冲演变而来的。因此在调制器的300微微秒的透射窗口内能找到7个噪声脉冲。虽然调制窗口外的噪声脉冲被抑制了,相当于整个腔内只有7个噪声脉冲了(这对于300微微秒以外的区域的信噪比的提高是非常有利的),但是这7个噪声脉冲在通过主动调制器时所受到的损耗情况比较复杂,对强弱脉冲的鉴别方式不是固定的。如果当调制窗口的透射为最大的时刻刚好是最强的噪声通过,那就能鉴别出一个最大的脉冲,这时就不出现卫星脉冲。但是当调制窗口的透射为最大时什么样的噪声刚好通过是随机的,在这种情况下强的噪声可能经受较大的损耗,弱的噪声可能经受较小的损耗,而最后可以使原来强度不等的噪声脉冲变成强度相等或接近。再加上调制器离腔反射镜有一定的距离,更增加了这种可能性。当调制器的调制系数比较大时,可以使原来强度差别比较大的噪声脉冲拉平,因此卫星脉冲出现的几率就大大增加。当腔内插入标准具后,调制器的透射窗口之内的噪声脉冲少了,因此卫星脉冲出现的几率就下降或者根本不出现卫星脉冲了。

如果希望在较窄的脉宽下也不出现卫星脉冲,比较有效的途径是增加脉冲形成的线性阶段的持续时间和缩短腔长,使调制器的透射窗口变窄,从而保证对噪声脉冲的有效的首选。

在硅酸盐钹玻璃器件上也进行了类似的实验,结果没有本质区别。

参 考 文 献

- [1] Charles C. Wang *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1971, **19**, 167.
- [2] Shunji Kishida, Tsuyoshi Yamane; *Opt. Commun.*, 1976, **18**, 19.
- [3] P. G. Kryukov, V. S. Letokhov; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1972, **QE-8**, 766.