

利用增益饱和及频率锁定效应 产生可调谐毫微秒脉冲串

汤星里 潘安培

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文提出了在闪光灯泵浦染料激光器中利用增益饱和及频率锁定效应产生毫微秒脉冲串的新方法。实验中获得了脉冲宽度为 3 ns 和 $<0.1 \text{ \AA}$ 谱宽的可调谐脉冲串。

一、引 言

主动或被动锁模是目前产生短脉冲串的常用方法。这类方法产生的脉冲宽度在毫微秒以下。近年来 P. Ewart^[1] 成功地在闪光灯泵浦染料激光器中获得了可调谐的毫微秒脉冲串,其方法是利用放在腔内的一组电光开关产生初始的脉冲调制,以后依靠增益饱和效应使初始的脉冲调制维持下去。在这两类方法中,脉冲串的脉冲个数都不能直接控制和选择,如果需要选择脉冲,还需要专门设备与之配合。此外,在以均匀展宽为主的激光工作介质中,注入一束单色光,可以控制激光器的振荡频率,这就是频率锁定效应。这方面已有许多作者进行了深入的理论分析和广泛的实验研究^[2~4]。但综合运用增益饱和效应和频率锁定效应来产生可调谐短脉冲的方法,还未见报导。

本文提出利用增益饱和及频率锁定效应产生毫微秒脉冲串的新方法。它是在同一台激光器上用一个小腔来产生可调谐的种子脉冲,用另一长腔将种子脉冲经过一段光程的延时再反馈到激光工作介质中去,从而形成初始的脉冲调制。在以后的激光振荡发展过程中,增益饱和效应使得初始的脉冲调制维持下去,频率锁定效应使得输出激光的频率锁定在种子脉冲频率上。这种方法大大提高了调谐效率,而且还具有直接控制脉冲个数的能力。我们以若丹明 6G 为染料,在直线闪光灯泵浦染料激光器上进行实验,得到了预期的结果。

二、实 验 原 理

实验原理如图 1 所示。图中 M_1 、 M_2 为全反射镜, M_3 为部分反射镜, P.F 为薄膜偏振片, D.C 为染料管, P.C 为普克尔盒, G.P 为格兰棱镜, T.E 为调谐元件。 M_1 - M_2 组成一个谐振腔,其中包含调谐元件 T.E (以下简称 A 腔)。 M_1 经 G.P 转折与 M_3 组成另一个谐振腔 (以下简称 B 腔)。 M_1 与 P.C 之间的光程为 L_1 , M_1 - M_3 之间的光程为 L_c 。

偏振片和格兰棱镜都只允许平行纸面的偏振态光透过，垂直于纸面的偏振态光被反射。它们与普克尔盒组成一个光束转换开关。当普克尔盒上加电压时 B 腔关闭， A 腔接通。 A 腔内振荡模的偏振特性如图 2(a) 所示。当普克尔盒加有半波电压时 A 腔关闭， B 腔接通。 B 腔内允许的振荡模的偏振特性如图 2(b) 所示，该膜的偏振态是变化的。振荡开始阶段，普克尔盒上加电压， A 腔首先振荡，但是没有输出。 A 腔内光子达到一定密度后，普克尔盒上加上一个前沿很陡的阶跃半波电压，使 A 腔关闭， B 腔接通。与此同时， A 腔内光子流被切断，其中位于普克尔盒右边的光子流向左边运行时被偏振片反射出腔外，而位于普克尔盒左边的光子流作为种子脉冲，按图 2(b) 所示方式在 B 腔内运行。种子脉冲运行到部分反射镜 M_3 处，一部分透射出腔外，成为第一个输出脉冲，另一部分被反射回去，它自离开工作介质起经过了 $2(L_0 - L_1)/c$ 的延时后又回到工作介质。这种间断的光子流不仅形成了初始的脉冲调制，而且同时造成工作介质的增益饱和，增益饱和效应防止了 B 腔产生自激振荡的可能，维持了脉冲调制，从而在 M_3 处输出一列 100% 调制的脉冲串。每个小脉冲的宽度 τ 和脉冲周期 T (指相邻小脉冲的时间间隔) 分别为： $\tau = 2L_1/c$ 和 $T = 2L_0/c$ ，其中 c 为光速。改变 L_1 和 L_0 就可调节 τ 和 T 。

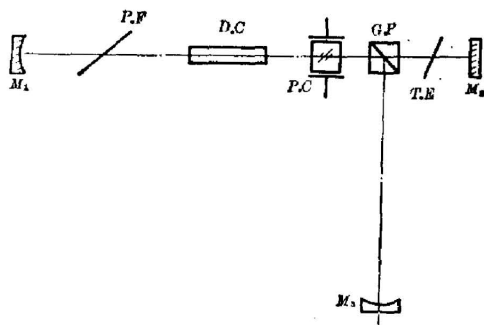


图 1 实验原理图

Fig. 1 Schematic diagram of the experiment

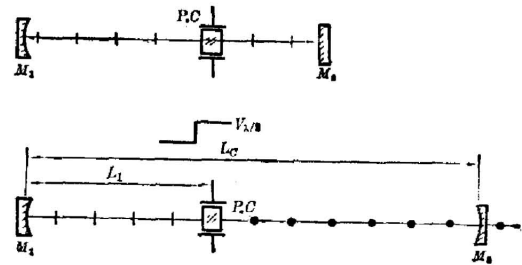


图 2

(a) A 腔内模的偏振特性;
(b) B 腔内模的偏振特性

Fig. 2

(a) Polarization characteristics of the modes in cavity A ;
(b) Polarization characteristics of the modes in cavity B

脉冲串的光谱特性主要由种子脉冲决定。从种子脉冲的产生过程可以知道其谱线宽度决定于工作介质的增益特性和调谐元件。只要选择合适的调谐元件就可以获得单色种子脉冲。以后发展的脉冲串的光谱被锁定在种子脉冲频率上。因而即使 B 腔内不含调谐元件，也可以获得单色脉冲串，减少了调谐插入损耗。

以上所述方法中，普克尔盒只进行一次动作脉冲串即可形成。因此我们可以在任意所需时刻使普克尔盒第二次动作，关闭 B 腔，脉冲串便结束。这样可以灵活控制脉冲串的个数，毋需另外的选脉冲装置。

如果把腔的位置略加改动，令普克尔盒工作于退电压方式，以上原理同样成立。

三、实验装置和实验结果

实验是在自制的 FDL-1 型直线闪光灯泵浦染料激光器上进行，使用的染料为若丹明

6G。谐振腔结构如图 1 所示,普克尔盒由 KD*P 晶体组成,并位于高斯光束的腰部。

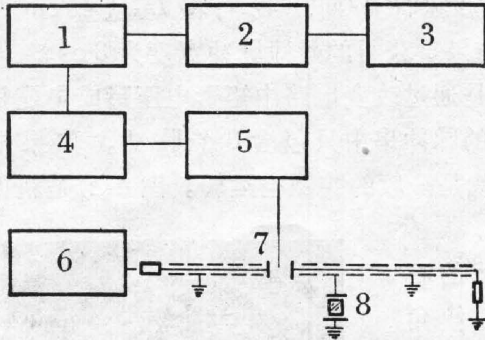


图 3 电路方框图

1—重复率控制电路; 2—延迟线; 3—闪光灯放电回路; 4—可调延迟电路; 5—触发电路; 6—高压电源; 7—冷阴极闸流管; 8—普克尔盒

Fig. 3 Electric circuit block diagram

1—repetition rate control circuit; 2—delay line; 3—flashlamp discharge circuit; 4—changeable delay circuit; 5—trigger circuit; 6—high voltage power; 7—cold cathode thyatron; 8—Pockels cell

电路方框图如图 3 所示。利用高压同轴电缆作为普克尔盒矩形电压形成线,用冷阴极闸流管作为快速开关元件。该电路可以形成一个前沿约 3 ns、持续时间可变的矩形电压,持续时间由形成电缆的长度所决定。由激光器重复率控制电路发出的电脉冲作为总的指令信号,该信号分别经固定延迟线和可调延迟电路延时后驱动闪光灯放电回路和冷阴极管触发电路。实验表明电路能有效地防止闪光灯放电回路的强烈干扰,保持激光振荡和普克尔盒之间的同步。

实验是在 A 腔的阈值低于 B 腔的条件下进行的。我们用快速强流光电二极管作为接收元件。用 7904 示波器显示和记录波形。图 4 是测得的主要波形图,其中图 4(a)是在 A 腔被切断的条件下 B 腔独立振荡的波形。图 4(b)

是脉冲串的整体波形图,其中第一个脉冲的幅度较大,接着脉冲串的包络有一个短暂的过渡过程,这是由于 A 腔和 B 腔有不同的损耗所致。以后脉冲串的包络趋于稳定发展,其形状大致与图 4(a)相似。图 4(c)是在两个不同的延时条件下摄得的波形图,其中上图是普克尔盒打开较早的情况。可以看出,即使如此脉冲调制也能形成并维持下去。下图是正常延时的情况。图 4(d)是波形展开后,前几个小脉冲的情况。图中显示的小脉冲的前沿约为 2 ns,

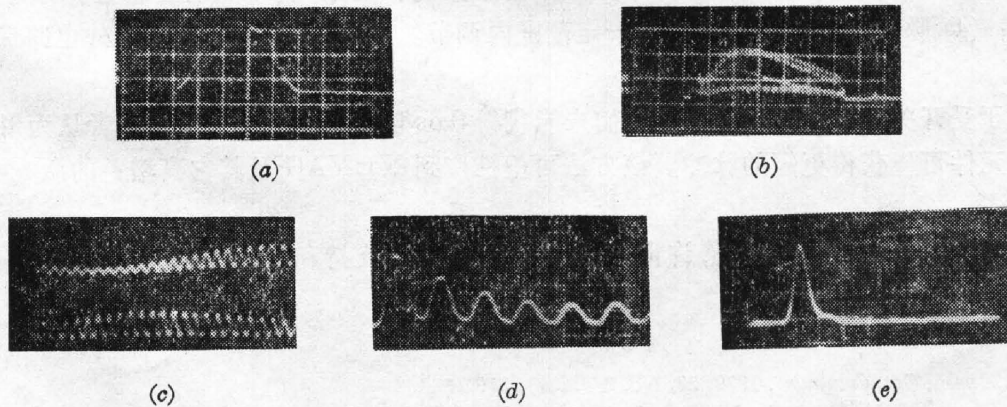


图 4 输出波形图

(a) B 腔正常输出的波形(100 ns/div); (b) 典型脉冲序列(50 ns/div); (c) 不同延迟时间的两个脉冲序列(20 ns/div); (d) 输出初始阶段脉冲序列的展开(5 ns/div); (e) 单脉冲输出(5 ns/div)

Fig. 4 Oscillograms of laser output

(a) Normal output waveform in the cavity B (100 ns/div); (b) A typical pulses train (50 ns/div); (c) Two pulses trains at the difference delay (20 ns/div); (d) The development of pulse train from the start of the laser output stage (5 ns/div); (e) Single pulse output (5 ns/div)

小脉冲的半功率宽度约为 3.5 ns, 脉冲周期为 8.7 ns。测试是在 $L_1=60$ cm, $L_C=1.3$ m 时进行的。调节 L_1 和 L_C 可以获得不同的脉冲宽度和脉冲周期, 我们将 L_1 从 45 cm 调到 75 cm, 将 L_C 从 1 m 调到 1.6 m 都获得预期的结果。获得的最短脉冲宽度为 3 ns。

脉冲串的持续时间即脉冲串的脉冲个数的控制是通过改变电路中矩形电压形成电缆长度进行的。用一段 5.5 m 的电缆作以上形成线获得的脉冲串中只包含 6 个脉冲。如果把 M_3 去掉, 可以获得峰值功率很高的单脉冲输出, 这就是一般的腔倒空运转。图 4(e) 是获得的单脉冲波形, 其前沿约为 2 ns, 脉冲宽度约为 3 ns。

调谐元件由一窄带干涉滤光片和厚度为 0.1 mm 的石英介质 F-P 标准具组成。调节干涉滤光片对光轴的倾角可以粗调振荡光频。仔细调节干涉滤光片与 F-P 标准具之间的同步关系可以获得单谱线输出。图 5 是用 2 mm 厚的石英介质 F-P 标准具测得的干涉图。测得的谱线宽度小于 0.1 \AA 。而 B 腔独立振荡时输出谱宽在几百埃。这证实了脉冲串产生过程中的频率锁定效应。这种效应与单个宽脉冲运转时相似^[2~4]。

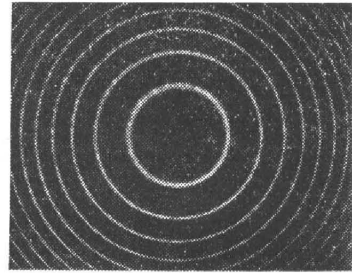


图 5 F-P 干涉图

Fig. 5 F-P interference pattern

我们在 35 J 输入能量时测出了输出能量, 测得的每个小脉冲的宽带平均功率为 10 kW, 窄带平均功率为 8 kW。单脉冲输出时, 最大峰值功率为 1.1 GW (宽带)。

四、小 结

本文提出产生可调谐毫微秒脉冲串的新方法。该方法与文献[1]所述方法相比有以下特点: (1) 实验原理中综合运用了增益饱和效应和频率锁定效应; (2) 实验技术方面: 普克尔盒只要一次动作即可形成脉冲串, 因而易于实现和调整; (3) 具有自行选择脉冲个数的能力; (4) 脉冲宽度和周期可以在一定范围内调节。此外, 这种方法便于与外电路保持同步。

由于受开关上升时间的限制, 我们未能获得 3 ns 以下的短脉冲, 但是作者认为用更快的开关元件可望获得更短的脉冲。该方法可望推广到 Nd:YAG 及其它高增益的激光器中。

作者对王之江教授的关心, 许世忠、赵梅村等同志的支持和帮助, 深表感谢。

参 考 文 献

- [1] P. Ewart; *Opt. Commun.*, 1979, **28**, No. 3 (Mar), 379.
- [2] T. Okada, M. Maeda *et al.*; *IEEE J. Q. E.*, 1979, **QE-15**, No. 7 (Jul), 616.
- [3] 潘少华等; 《物理学报》, 1981, **30**, No. 2 (Feb), 291.
- [4] 许祖彦等; 《物理学报》, 1980, **29**, No. 12 (Dec), 1588.

Tunable nanosecond pulse train generation using gain saturation and frequency locking effect

TANG XINGLI AND PAN ANPEI

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

(Received 8 May 1981)

Abstract

A new method is presented for producing tunable ns duration pulse train from a flashlamp pumped dye laser using gain saturation and frequency locking effect. This method employs two coupled cavities. A tunable seeded pulse, which is produced in a short cavity contained tuning elements, is injected into another long cavity without tuning elements. Then the pulse modulation is formed and continued relying on gain saturation. The spectrum of the output pulses is locking at the frequency of the seeded pulse relying on the frequency locking effect. This method gives a higher tuning efficiency. The number of the output pulses can be controlled without pulse selective arrangements, with the Rh6G in ethyl alcohol the pulse trains of 3 ns duration pulses with less than 0.1\AA spectral width were obtained.