

脉宽连续可调的固体激光器电源

中国科学院上海光机所五〇二组

我们在研究激光与物质相互作用和促进激光器在其他方面的应用的过程中，设计了一台输出能量为1~2焦耳，脉冲宽度在 10^{-3} ~ 10^{-5} 秒范围内连续可调的激光器。这里的关键是解决电光开关控制器，来控制加在电光开关工作元件上的电压波形，使之获得输出脉冲宽度处在大能量和大功率器件之间，而且连续可调。

LiNbO₃ 晶体半波电压虽然较低，但易于损伤，单块KD*P的半波电压则太高。为了降低电光开关的半波电压，最后采用两块KD*P晶体串接使用。

两块KD*P晶体的串接，可使其半波电压下降一倍。串接方式如图1所示。如果电压还嫌过高，则可再串，但损耗也相应增加，不利于较高能量的输出，同时调整也很不方便。

一、工作原理

1. 电光开关

电光开关部分，主要是选择合适的电光开关工作元件。原则上，凡能用作激光调Q的电光晶体，都可以采用，例如LiNbO₃、KDP等。由于受到控制器的晶体管耐压的限制，加在开关晶体上的电压不可能很高，因而希望电光晶体的半波电压要低一些。我们曾采用了单45°的LiNbO₃晶体、KD*P晶

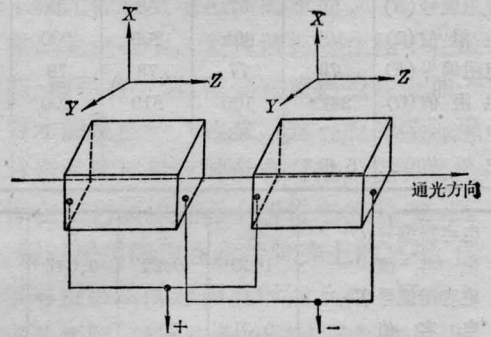


图1 两块KD*P串接方式示意图

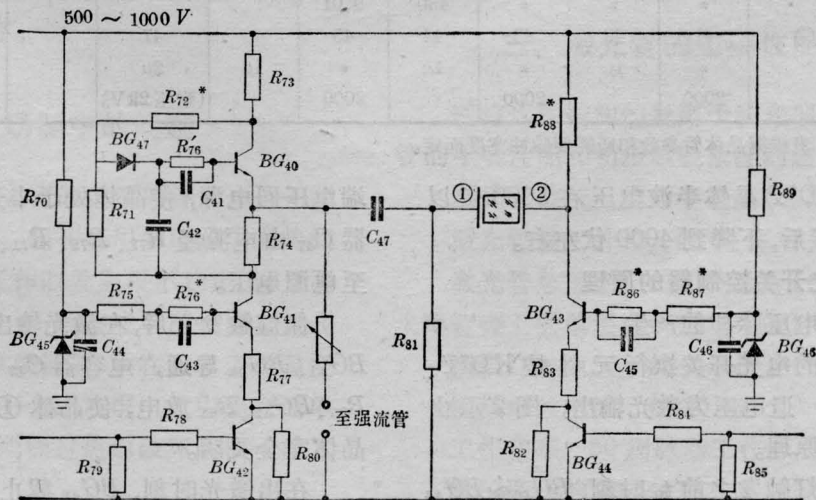


图2 晶体开关高压控制原理图

图 2.3 线路各元件参数表

型 号	元 件									
3DK3	BG ₁	BG ₂	BG ₃	BG ₅	BG ₆	BG ₇	BG ₉	BG ₁₀	BG ₁₄	BG ₁₅
	BG ₁₆	BG ₁₉	BG ₂₀	BG ₂₁	BG ₂₂	BG ₂₄	BG ₂₅	BG ₂₆	BG ₂₇	BG ₂₉
3DK4	BG ₈	BG ₁₃	BG ₃₀	BG ₃₁						
3AK15	BG ₄	BG ₁₁	BG ₁₃	BG ₂₃						
2G011	BG ₄₂	BG ₄₄								
DF104D	BG ₄₀	BG ₄₁	BG ₄₃							
1W180	BG ₄₅	BG ₄₆								

电阻编号(R)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
电 阻 值(Ω)	20k	20k	1k	51k	2k	20k	22k	300	1k	2k	1k
电阻编号(R)	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
电 阻 值(Ω)	300	620	1k	620	15k	5.1k	3.6k	1k	5.1k	10k	620
电阻编号(R)	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
电 阻 值(Ω)	2k	3.6k	10k	5.1k	300	2k	100k	1k	620	220	2k
电阻编号(R)	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
电 阻 值(Ω)	220	330	620	2k	22k	2k	620	330	5.1k	5.1k	330
电阻编号(R)	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
电 阻 值(Ω)	300	5.6k	1k	620	2k	220	220	10k	560	5.6k	10k
电阻编号(R)	56	57	58	59	60	70	71	72	73	74	75
电 阻 值(Ω)	10k	49k	200	200	47k	560k	300	10k*	10~20k	510	56k*
电阻编号(R)	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
电 阻 值(Ω)	24k*	100	810	200	910k	2M	910k	100	810	200	24k*
电阻编号(R)	87	88									
电 阻 值(Ω)	5.6k*	5~10k*									

电容器编号(C)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电 容 值	1000	0.22	0.047	100	0.01	0.68	430	*	*	430
电容器编号(C)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
电 容 值	0.01	100	*	*	*	*	*	100	*	*
电容器编号(C)	21	22	23	24	25					
电 容 值	*	*	*	430	0.01					
电容器编号(C)	41	42	43	44	45	46	47			
电 容 值	*	1μ	*	1μ	*	1μ	2μ			
	2000		2000		2000		(耐压 2kV)			

注 凡有*者根据晶体管参数和所需要脉冲宽度而定。

单块 KD*P 晶体半波电压在 8000 伏以上, 两块串接后, 下降到 4000 伏左右。

2. 电光开关控制器的原理

(1) 高电压脉冲的产生

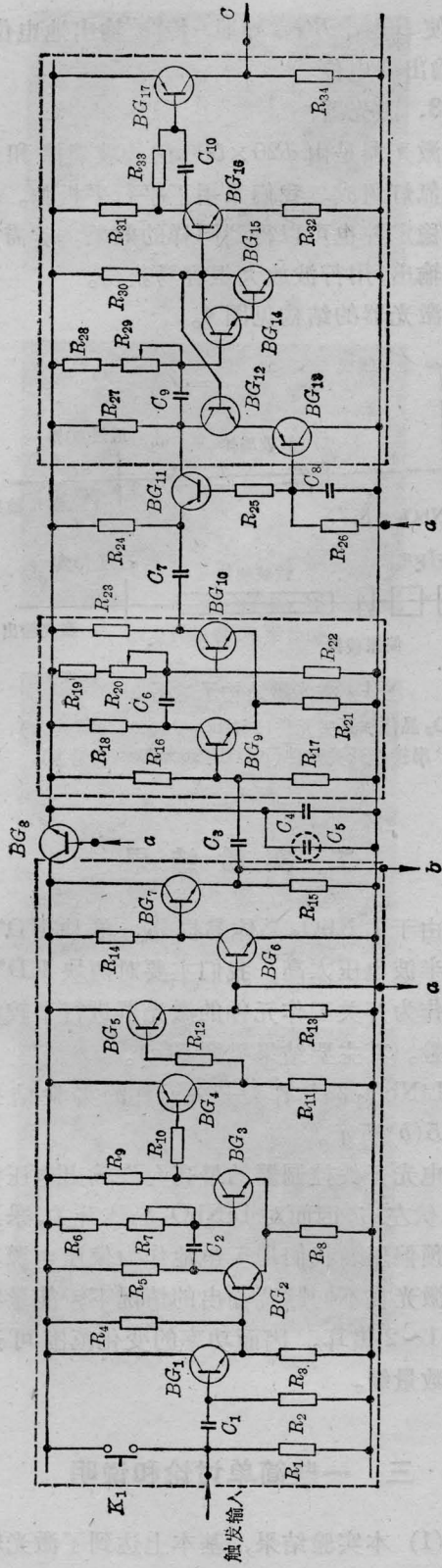
激光器的电光开关执行元件是 KD*P、LiNbO₃ 等。退电压为激光输出, 图 2 示出了电气工作原理。

泵浦氙灯触发之前 t_0 时刻, $BG_{40} \sim BG_{44}$ 处于截止状态, 晶体的 ① 端为“地”电位, ②

端电压同电源, 使晶体处于半开状态。电容器 C_{47} 由电源经 R_{73} 、 R_{72} 、 R_{71} 、 R_{74} 、 R_{81} 充电至电源电压。

氙灯触发之后, 在激光输出之前 t_1 时刻, BG_{41} 、 BG_{42} 导通, 电容器 C_{47} 经 R_{74} 、 BG_{41} 、 R_{77} 、 BG_{42} 、 R_{81} 放电, 使晶体 ① 对地负电压, 晶体完全关闭。

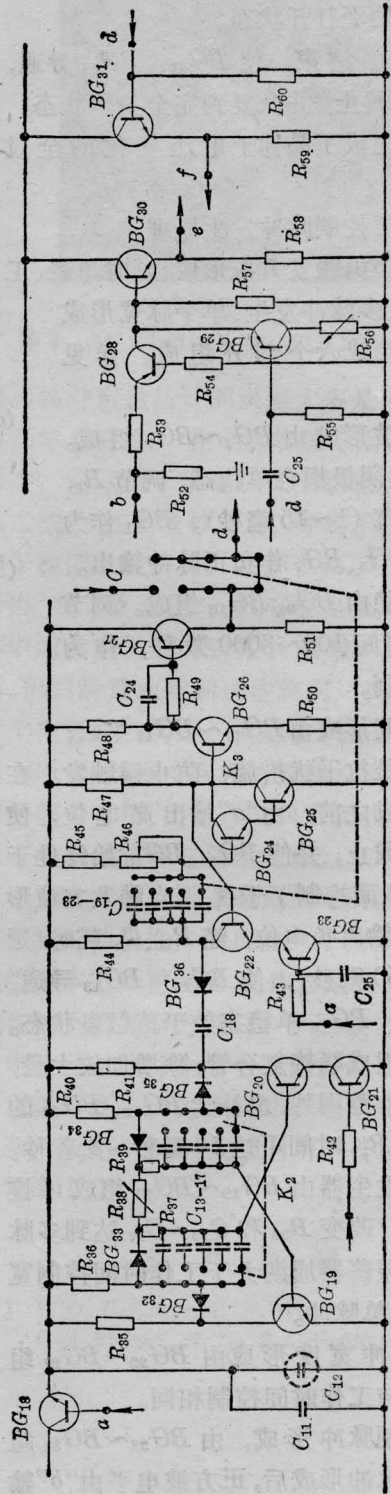
在出激光时刻, BG_{42} 截止, 因此 BG_{41} 截止, BG_{40} 瞬时导通, 使 ① 端成地电位, 同时



工作总时间控制

延迟脉冲形成

触发方波形成



高压控制脉冲

脉冲宽度形成

多脉冲形成

图3 晶体管开关低压控制原理图

BG_{43} 、 BG_{44} 导通, 使晶体 ② 端成“地”电位, 从而使开关处于打开状态。

激光输出结束, 使 BG_{42} 、 BG_{41} 导通, BG_{43} 、 BG_{44} 截止, 并恢复到完全关闭状态。

这样就完成了晶体上电压变化的全过程。

(2) 低压控制脉冲发生原理:

低压控制由触发方波形成、延时单稳、工作时间控制、多脉冲发生、单个脉宽形成及高压脉冲形成六个部分组成。详见图 3。

触发方波形成由 $BG_1 \sim BG_7$ 组成。 BG_2 、 BG_3 是阴极耦合单稳态, 调节 R_7 , 改变方波脉宽 (1~15 毫秒), BG_1 作为触发隔离, BG_5 、 BG_7 作负正脉冲输出。

延时单稳由 BG_9 、 BG_{10} 组成。调节 R_{20} 可改变时间 100~3000 微秒, 作为工作时间控制。

工作时间形成由 $BG_{11} \sim BG_{17}$ 组成, BG_{11} 、 BG_{13} 是抗干扰措施, 防止误触发。在触发方波形成之前, 由“a”输出高电位, 使 BG_{11} 、 BG_{13} 截止, 并使 BG_{14} 、 BG_{15} 始终处于导通状态, 从而抑制了干扰。当触发方波形成之后, “a”输出负电位, 经 R_{20} 、 C_8 延时 (延时时间约 250 微秒), 使 BG_{11} 、 BG_{13} 导通, BG_{12} 、 BG_{14} 、 BG_{15} 单稳态处于待触发状态。 BG_{14} 、 BG_{15} 组成联接复合管, 除增加放大量, 扩大时间调节范围外, 也补偿 BG_{12} 、 BG_{13} 的电平。调节 R_{20} 时间可达 50 微秒~3 毫秒。

多脉冲发生器由 $BG_{19} \sim BG_{21}$ 组成可控多谐振荡器。改变 R_{38} 和 $C_{13} \sim C_{17}$ 达到多脉冲。当多谐振荡器周期大于工作时间控制宽度时, 输出为单脉冲。

单个脉冲宽度形成由 $BG_{22} \sim BG_{27}$ 组成。其原理与工作时间控制相同。

高压控制脉冲形成, 由 $BG_{28} \sim BG_{31}$ 组成。当触发脉冲形成后, 正方波电平由“b”输入 BG_{28} , 使“e”端有高电位输出。在输出激光时刻, 由于单脉冲宽度形成器中输出正方

波, 使 BG_{29} 、 BG_{37} 导通, 传“e”输出地电位, “f”输出高电位。

3. 激光器

激光器是由 $\phi 20 \times 500$ 的钹玻璃棒和相应的氙灯组成。我们采用了平行平板腔。采用不稳定腔也可以得到同样的效果。若需大能量输出, 用行波放大很容易获得。

激光器的结构见图 4。

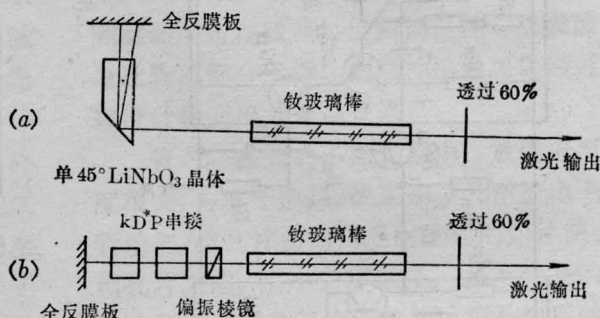


图 4 激光器结构示意图

(a) LiNbO_3 晶体作开关元件 (LiNbO_3 : $12 \times 12 \times 20$ 毫米)

(b) KD^*P 串接作开关元件 (KD^*P : $20 \times 20 \times 30$ 毫米)

二、实验结果

由于 LiNbO_3 晶体易损伤, 单块 KD^*P 晶体半波电压太高, 我们主要对两块 KD^*P 串接作为开关工作元件的激光器进行了较多的实验。其主要结果见图 5(a)。

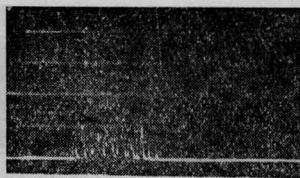
LiNbO_3 晶体作为开关元件的实验结果如图 5(b) 所示。

电光开关控制器的最高允许输出电压为 2000 伏左右, 因而对 LiNbO_3 晶体开关, 采用了加预偏压。我们用干电池作为偏压电源。

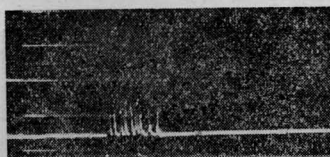
激光在不同脉宽输出的情况下, 能量都约为 1~2 焦耳。因而功率的变化范围可达两个数量级。

三、一些简单讨论和说明

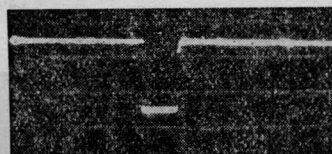
(1) 本实验结果, 基本上达到了激光输出脉冲宽度连续可调的要求。长脉冲的实验



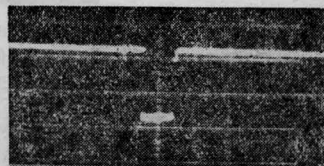
脉冲全宽度
(40 微秒/小分度)



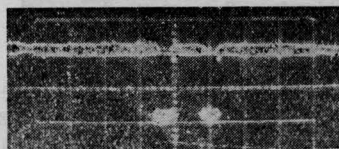
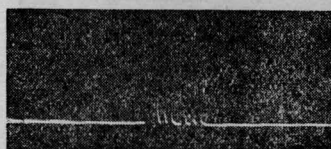
脉宽 200 微秒×1(个脉冲)
(20 微秒/小分度)



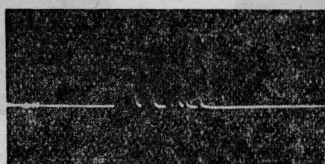
脉宽 100 微秒×1(个脉冲)
(20 微秒/小分度)



脉宽 50 微秒×1(个脉冲)
(10 微秒/小分度)



脉宽 50 微秒×2(个脉冲)
(间隔 50 微秒)
(20 微秒/小分度)



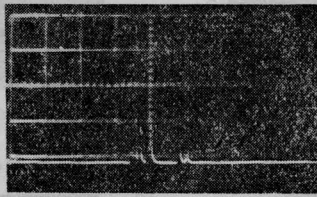
脉宽 50 微秒×6(个脉冲)
(间隔 20 微秒)
(10 微秒/小分度)



脉宽 50 微秒 \times 2(个脉冲)
(间隔 100 微秒)
(20 微秒/小分度)



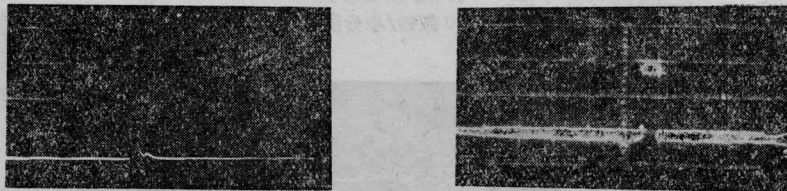
脉宽 50 微秒 \times 2(个脉冲)
(间隔 150 微秒)
(20 微秒/小分度)



脉宽 50 微秒 \times 2(个脉冲)
(间隔 200 微秒)
(20 微秒/小分度)

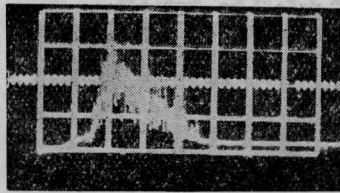


脉宽 50 微秒 \times 4(个脉冲)
(间隔 50 微秒)
(20 微秒/小分度)

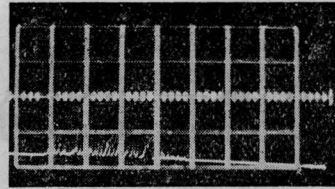


脉宽 10 微秒 \times 1(个脉冲)
(4 微秒/小分度)

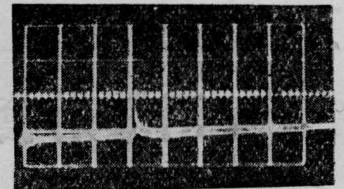
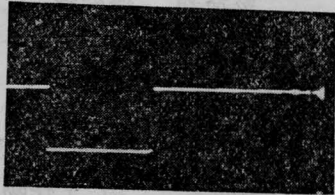
图 5(a) 两块 KD*P 串联为开关元件的实验结果。晶体消光比为 500, 半波电压为 4000 伏。
左图为激光输出波形, 右图为控制开关电压波形。



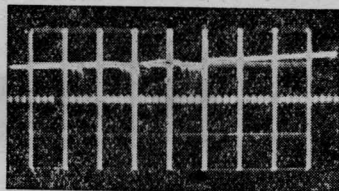
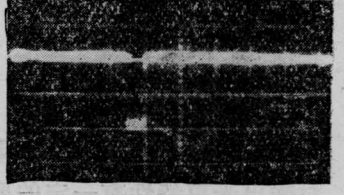
脉冲全宽度
(40 微秒/小分度)



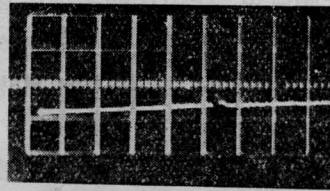
脉宽 300 微秒 \times 1(个脉冲)
(20 微秒/小分度)



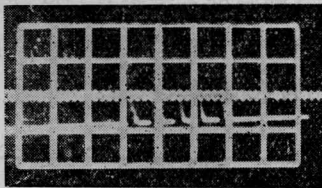
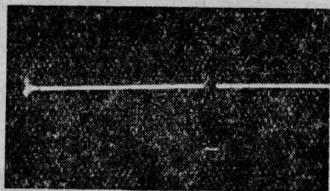
脉宽 100 微秒 \times 1(个脉冲)
(40 微秒/小分度)



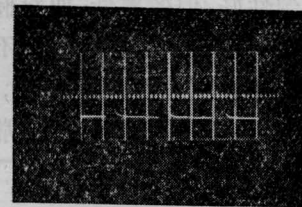
脉宽 50 微秒 \times 3(个脉冲)
(间隔 80 微秒)
(20 微秒/小分度)



脉宽 30 微秒 \times 1(个脉冲)
(20 微秒/小分度)



脉宽 30 微秒 \times 5(个脉冲)
(间隔 50 微秒)
(10 微秒/小分度)



6 微秒 \times 4(个脉冲)
(间隔 40 微秒)
(4 微秒/小分度)

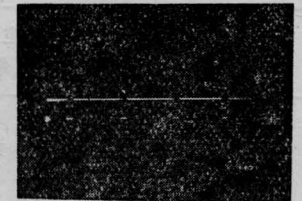
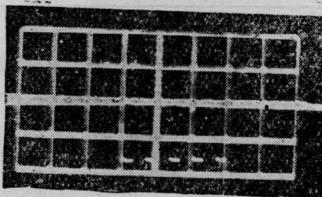


图 5(b) LiNbO_3 单 45° 晶体作为开关元件的实验结果。晶体消光比 700, 半波电压 4200 伏
实验时加预偏压 500 伏, LiNbO_3 晶体最后损伤了。

上图为激光输出波形, 下图为控制开关电压波形

(下转第 51 页)

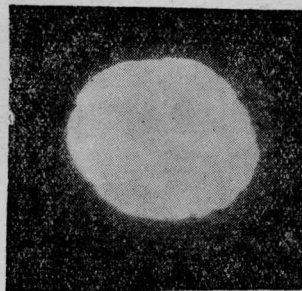


图 3

使用光面玻璃套管, $\phi=0.2$ 毫米, 放大 100 倍

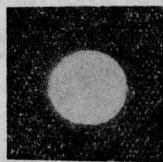


图 4

使用磨毛玻璃套管, $\phi=0.2$ 毫米, 放大 50 倍

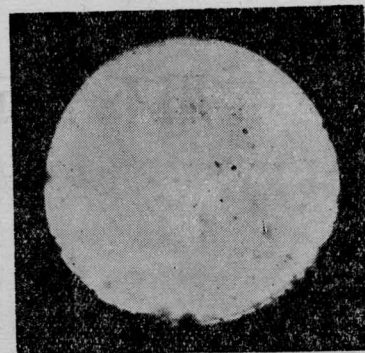


图 5

使用磨毛玻璃套管, $\phi=0.2$ 毫米, 放大 200 倍

图 3、图 4、图 5 分别为使用光面玻璃套管与磨毛套管在 0.3 毫米厚的钢片上打出的 $\phi 0.2$ 毫米小孔的放大照片。

由此可见, 使用散射套管方法去获得均匀泵浦光, 是很容易实现的。而且, 任何普通固体激光器在其它条件不改变的情况下, 使

用散射管套后, 光输出特性都有较大改善。也应指出, 当激光器在较小输入能量下运转时, 激光输出较稳定。我们使用的散射套管为 GG-17 玻璃管用全钢砂研磨而成, 透射率以 75~85% 为佳。

(上接第 49 页)

结果较为理想, 这主要是由于控制器电压波形的上升前沿所决定的。在短脉冲情况下, 很难使开关电压脉冲成为方波。若把激光振荡器本身的尺寸再做小一点, 应更容易控制, 效果可能会更好一些。

(2) 由实验结果可以看出, 随着输出脉冲宽度的变化, 它们的尖峰结构也在变化, 这是由于开关晶体上加上不同的电压波形时, 使激光振荡器的振荡模式发生变化的结果。如果用输出激光的脉冲反馈到控制器回路中, 自动控制开关晶体上的电压, 原则上是可以得到每个脉冲输出都是连续的。这可以在图 2 中的 BG_{40} 和 BG_{42} 的发射极之间接入一个对 1.06 微米激光灵敏的强流管, 通过一个电位器来调节反馈量, 利用强流管的信号

强弱来控制 BG_{40} 和 BG_{42} 的导道和截止, 从而可控制加在开关晶体上的电压变化, 以达到使激光脉冲连续输出的效果。

为了避免激光振荡模式的变化, 也可以把开关放到腔外来进行调制。

(3) 为了改善加在开关晶体上的电压波形, 应根据脉冲宽度的不同而取不同的 R_{88} 、 R_{77} 、 R_{83} 、 C_{45} 。

a. 当脉冲宽度大于 100 微秒时, R_{77} 可降至 0, R_{83} 应增加 100~300 欧姆, R_{88} 为 10~20 千欧, C_{45} 为 0.047~0.02 微法。

b. 当脉冲宽度小于 100 微秒时, R_{77} 为 50~150 欧姆, R_{83} 减小 50~0 欧姆, R_{88} 减小到 10~5 千欧。

(4) R_{76} 、 R_{86} 要根据 BG_{41} 、 BG_{43} 的 β 大小来改变。