

表 1

真空度 (托)	电子枪高压 (千伏)	束流 (毫安)	功率 (瓦)	电子枪移动速度 (毫米/分)	备注
$\sim 6 \times 10^{-4}$	5	145	725	2.2	除气 1 次
$\sim 8 \times 10^{-4}$	4.6	225	1035	4	除气 1 次
$\sim 10^{-3}$	4.5	200	900	4	除气 2 次
$\sim 10^{-4}$	5	220	1100	4	除气 2 次
$\sim 10^{-5}$	5	220	1100	4	除气 1 次
$\sim 10^{-6}$	5	240	1200	4	表面熔化 2 次
$\sim 10^{-7}$	4.9	275	1347	2.86	区熔 1 次
$\sim 5 \times 10^{-8}$	4.9	285	1396	2.2	区熔 1 次
$\sim 2 \times 10^{-9}$	4.9	285	1396	2.2	区熔 1 次

用区域熔炼的办法很难将铌中的钽除去。在我们的情况下,铌在区熔一次后,110毫米长的样品由几颗大晶粒组成,即呈所谓的竹节状结构。区熔 2—3 次后,样品即成单晶。经 X 射线分析表明,单晶的取向为 [110],绝大部分样品偏离轴向很小,一般都在  $2^\circ$  以下,只有个别样品为  $3^\circ$ 。对直径 10 毫米的铌棒来说,除气功率在 1200 瓦以下,区熔功率在 1250—1400 瓦,超过 1400 瓦样品即熔断。除气时电子枪的移动速

度为 4 毫米/分;区熔时电子枪的移动速度为 2.2 毫米/分。连续熔炼七个样品均获成功。现将第三个样品熔炼情况列于表 1。

中国科学院电子学研究所王秀梅和郑欢泽同志以及钢铁研究总院苏启同志对本工作给予很大的帮助。研究生沈慧贤、北京大学物理系 77 级毕业生李问天,兰州曙光机械厂陈宝凤、任礼秀和李新华等同志参加了设备安装调试的部分工作。还有一些同志对本工作也曾给过帮助。对此本人表示十分感谢。

## 用可控硅作开关和稳压的电容储能电源

宁兆元 何建军 任兆杏

(中国科学院合肥等离子体物理研究所)

### 一、引言

以电容器储能放电作脉冲电源是人们在各类物理实验装置中经常采用的方法,因为它具有简单可靠,脉冲上升时间快等优点。在脉冲强流离子源的实验中,用电弧放电形成高密度、大体积、均匀、稳定的等离子体,需要大功率脉冲电源。该电源的参数范围是:输出电流几十—几百安培;输出电压一百—二百伏;脉冲宽度几十—几百毫秒。这样参数的脉冲电源通常在实验室中采用电容器储能放电的方案<sup>[1]</sup>。

但是,电容器储能电源运行于大电流,宽脉冲时,要求使用的电容器的数量很大,否则脉冲输出电压随时间明显地下降,这在许多实验中是不希望的。在脉冲强流离子源中,为了在整个脉冲宽度范围内得到小发散角的离子束,要求产生的等离子体密度随时间的变化足够小,也就是要求脉冲弧放电的平顶下降要足够小。否则将导致离子束流发散角变大,引出电极的热负载增加,并容易造成高压击穿。在离子源的电弧放电中,放电电流以及等离子体密度比例于电源电压,因此要求输出电压的平顶段的不稳定度应足够小,一般约  $\pm 2\%$ 。

为了克服脉冲电容器储能电源的顶降,在有些实验中采用了脉冲形成线。我们考虑的是另一种方案,即采用可控硅变阻稳压回路,进行了原理性实验,同时对可控硅大电流快速开关作了适应实验要求的改进,用于实际的离子源调试,取得了良好的效果。

## 二、可控硅变阻稳压电路

曹余惠曾研究了高压电容器组变阻恒压原理。我们用这个原理来实现弧放电电源的稳压。采用的变阻稳压线路如图1所示。

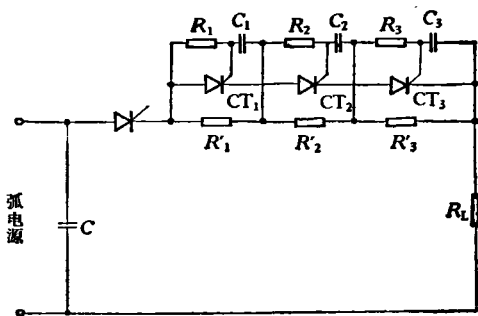


图1 可控硅变阻稳压电路原理图

假设采用*i*个数值相等的电阻 $R_s$ ,每只电阻两端并联一个可控硅,串联在负载回路上。采用RC延时回路顺序触发各可控硅,从而阶跃式地改变回路中的电阻,这样在负载电阻 $R_L$ 上将得到阶跃式的电压波形。

因为是纯电阻电路,因而要求各时刻负载电流也是稳定的。在某一 $t_j$ 时刻,第*j*个可控硅导通,电容电源输出电压为

$$V_j = I_j[(i-j)R_s + R_L]. \quad (1)$$

当第*j*+1个可控硅导通时,电源的输出电压为

$$V_{j+1} = I_{j+1}[(i-j-1)R_s + R_L]. \quad (2)$$

由于要求通过负载 $R_L$ 的电流不变,即 $I_j = I_{j+1}$ ,所以

$$\frac{V_{j+1}}{V_j} = \frac{(i-j-1)R_s + R_L}{(i-j)R_s + R_L}, \quad (3)$$

另一方面,整个电路又是一个阻容放电回路,在

第*j*个可控硅导通之后到第*j*+1个可控硅导通之前, $V_j$ 和 $V_{j+1}$ 还应满足下式:

$$V_{j+1} = V_j \cdot \exp\left\{\frac{-\Delta t}{[(i-j)R_s + R_L]C}\right\}, \quad (4)$$

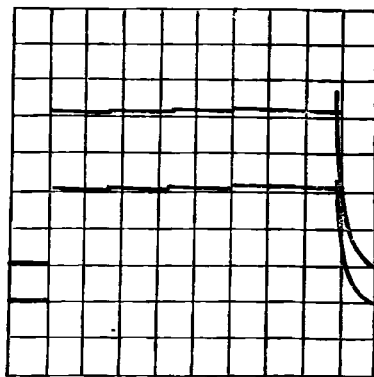
式中的 $\Delta t$ 为第*j*个可控硅导通到第*j*+1个可控硅导通的时间间隔。联立(3)式和(4)式,并考虑到 $R_s \ll R_L$ ,可以得到:

$$\frac{\Delta V_j}{V_j} = \frac{R_s}{R_L} = \frac{\Delta t}{R_L \cdot C}, \quad (5)$$

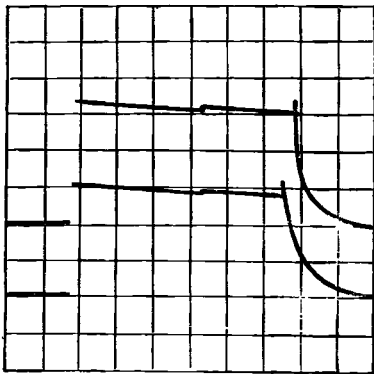
如果用 $\Delta V_j/V_j$ 近似表示纹波系数,并假设为0.05,那么串接电阻 $R_s = 0.05R_L$ , $\Delta t = R_s \cdot C$ 。

上述计算表明,当要求的纹波系数固定以后, $R_s$ 和 $\Delta t$ 近似为负载电阻的线性函数。当负载减小时, $R_s$ 需应随着减小,在电容器组容量不变的前提下,各个可控硅触发时间间隔也随着减小。因此,图1所示的回路用在恒定负载和恒定电压时是方便的。图2是使用上述回路用等效负载电阻作实验的示波图。其中图2(a)是在一次脉冲期间三级变阻稳压可控硅都起作用时的示波图。可以看到脉冲电压和电流的平顶稍有提高,这是因为此时 $R_s$ 和 $\Delta t$ 与等效负载电阻和工作电压不匹配。图2(b)和(c)是只有一级变阻稳压可控硅工作时的情况,由于 $R_s$ , $\Delta t$ 与等效负载电阻和工作电压相匹配,因而获得了满足要求的平顶脉冲。我们将这个方案用于离子源实验,放电波形有一定程度的改善。

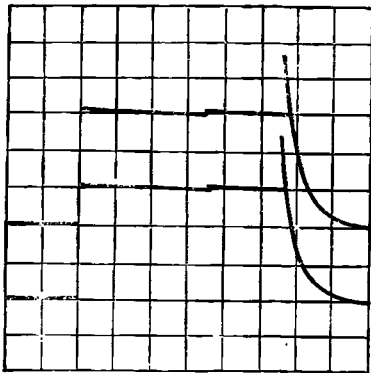
为了使这种回路能用于一定范围内变负载和变工作电压的情况,可以将 $R_s$ 选择得足够大,使得在负载变动的范围内,对于最小的负载电阻 $R_L$ 也满足纹波的要求,并在工作电压变动的范围内,串接可控硅的两端有足够的工作电压。但根据(5)式,要求每个串接可控硅的时间间隔 $\Delta t$ 仍然不变。如图1所示的可控硅触发回路,就不能适应变负载和变工作电压的情况了。因而需要将可控硅的触发回路改为固定延时的触发回路。这是容易办到的。



(a)



(b)



(c)

图2 用等效负载电阻作实验的示波图[(a), (b), (c)].  
 上线为电压波形, 每格 50 伏; 下线为电流波形, 每格为 25  
 安; 时标都为每格 5 毫秒

(b) 为负载两端并联电容  $C_2$ ;  
 (c) 为负载两端未并联电容  $C_2$ ;

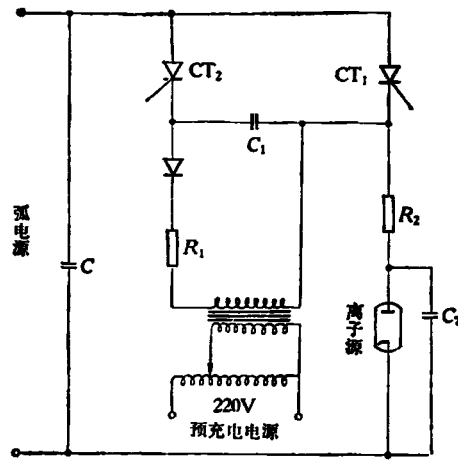


图3 改进后的可控硅大电流快开关回路

### 三、可控硅大电流快速开关

在离子源调试实验中, 我们曾经使用过法国 Fonteney 发展的可控硅大电流快速开关<sup>[2]</sup>. 该开关具有一般可控硅开关的优点, 但存在着两个缺点: 其一是为了在放电完毕后保持电容器上的电压, 以备下次放电重新使用, 在关断回路中使用了接触器. 这种有触点开关在大电流下拉断时会产生强烈的电弧干扰; 其二是关断可控硅导通时, 会在负载上产生接近二倍电源电压的短脉冲, 这是离子源工作时所不希望的. 为了克服上述缺点, 并根据离子源脉冲运行的特点, 经过改进的快速开关如图 3 所示.

由于离子源的实验间隔时间较长, 因而用预充电的办法对关断电容  $C$  充电. 其优点是能够更好地控制关断电压, 以降低负载上的关断脉冲幅度. 如果在离子源两端再并联适当的电容器  $C_2$ , 又可以进一步降低关断脉冲幅度. 如图 2(b), (c) 所示. 当  $R_1$  足够大时, 关断可控硅  $CT_1$  可自动关闭, 恢复到初始状态. 这样可以避免使用接触器.

### 参 考 文 献

- [1] 栗达人等, 物理, 10 (1981), 162.
- [2] R. Becher et al., Proc. of the 8th Symp. on Fusion Technology, Netherlands, (1974), 441.