

提前很多。初看起来与红宝石相似,而红宝石阈值尖峰延迟是因 τ 大与 $N_0/2$ 的反转条件造成的。但是钽玻璃是四能级系统,反转布居数初值和阈值抽运功率应为

$$n_0 = \int_0^{t_1} W_0(x) \exp[(x - t_1)/\tau] dx, \quad (13)$$

$$W'_{th} = p_0' N_0 \tau, \quad (14)$$

先看(13)式右边的极大值,实验中 $\alpha \sim 10^5$ /秒,取 $\tau = 5 \times 10^{-4}$ 秒, n_0 的极大值应出现在 $t = 56$ 微秒,而实验中起振时间是130微秒,即在反转布居数与抽运功率都已减小的时候才开始振荡。我们注意到 n_0 与 W'_{th} 都与 t_c 成反比,有可能 t_c 是变化的,而且是先小后大。但是热畸变如果产生正透镜效应,只能使模简并不会降低 t_c 。看来很可能是光抽运初期产生负透镜效应,使腔处于高损耗区,负透镜被其他效应抵消后才能起振。实验中钽玻璃阈值起振的是平面腔的模式^[4],支持这种解释。强脉冲无

极放电的紫外光比闪光灯强^[5],实验中未用水冷或滤光液,玻璃基质对紫外光的吸收长度很小,抽运初期表面吸收更多能量。这样,负透镜起了光闸作用。输入能量增加,起振时间提前很多,因为抽运速率提高很多,即使 Q 值低仍能起振。通过以上两个现象的研究,更可肯定无极光源的优点。峰功率高对于调 Q 与放大器件有利。紫外光强、短脉冲适合碘原子和染料等激光物质。轴对称性好则适合激光物质的基本研究,如热透镜效应等。

参 考 文 献

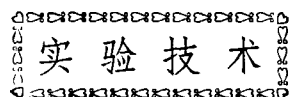
- [1] 张遵达、叶茂福,物理学报,22(1966),174.
- [2] D. Ross, Laser Light Amplifiers and Oscillators, Academic Press, (1969), 185.
- [3] 《固体激光导论》编写组,固体激光导论,上海人民出版社, (1975), 499.
- [4] W. Koechner, Solid-State Laser Engineering, Springer Series in Optical Science, Vol. 1, (1976), 344.
- [5] С. И. Андреев и др., ЖТФ, 39(1969), 1025, 1033.

(上接第175页)

- [4] H. W. Turnbull, Correspondence of Isaac Newton. Vol. I (1959), 301.
- [5] 同上, p. 299.
- [6] 同[1], p. 243.
- [7] A. R. Hall and M. B. Hall, Unpublished Scientific

Papers of Isaac Newton, (1962), 237.

- [8] Isaac Newton, Mathematical Principle of Natural Philosophy and his System of the World, Trans. by A. Motte, (1957), 335.
- [9] 许良英等编译,爱因斯坦文集,第一卷,商务印书馆, (1977), 620.



大 面 积 离 子 源 的 研 制

栗达人 李文莱 刘家瑞

(中国科学院物理研究所)

本文报道的大面积离子源是为 Tokamak 装置中性加热注入用,主要是为了提高等离子体的离子温度 T_i 值。

目前源的指标如下:

离子源发射电极的面积为 $7\text{cm} \times 7\text{cm}$,在引出能量为 20keV 下,引出电流 I_{ex} 为 15A ,引出束流的脉冲宽度为 20ms ,见图1。根据这些参数引出的功率达到了 300kW 。离子光学系统

的透明率为 60% ,所以引出束流密度 j_+ 为 $500\text{mA}/\text{cm}^2$ 。

离子光学系统采用了三电极系统,这个系统的准直度很重要,必须三个电极固定在一起加工,然后进行适当的倒角,以尽量满足皮尔士所指出的 67.5° 的要求。

栅极是由 0.8mm 厚的钼板作成,在 $7\text{cm} \times 7\text{cm}$ 的面积上开有22条槽,槽的尺寸为 $7\text{cm} \times$

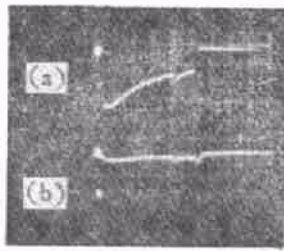


图 1

(a) 为上线 I_{ex1} , 5A/div;
(b) 为下线 V_{ex1} , 10kV/div,
时标 5ms/div, 左下方的白点是 V_{ex1} 的零点

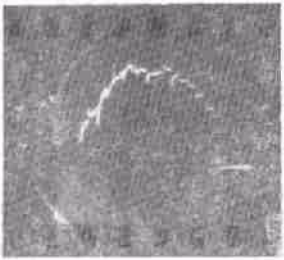


图 2 垂直于槽方向的束流剖面每一阶梯宽度为 0.1ms

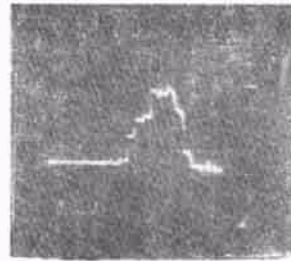


图 3 平行于槽方向的束流剖面每一阶梯宽度为 0.1ms

0.2cm, 第 1, 2 栅极的间距为 3.2mm, 第 2, 3 栅极的间距为 1.5mm。

束流的散角在垂直于槽的方向上为 $\sim 2.5^\circ$, 见图 2。在平行于槽的方向上为 $\sim 0.5^\circ$, 见图 3。

电气系统见图 4, 整个系统的程序控制是由光电传输来实现的, 这样就可以很好地保证高压工作台对地的隔离。

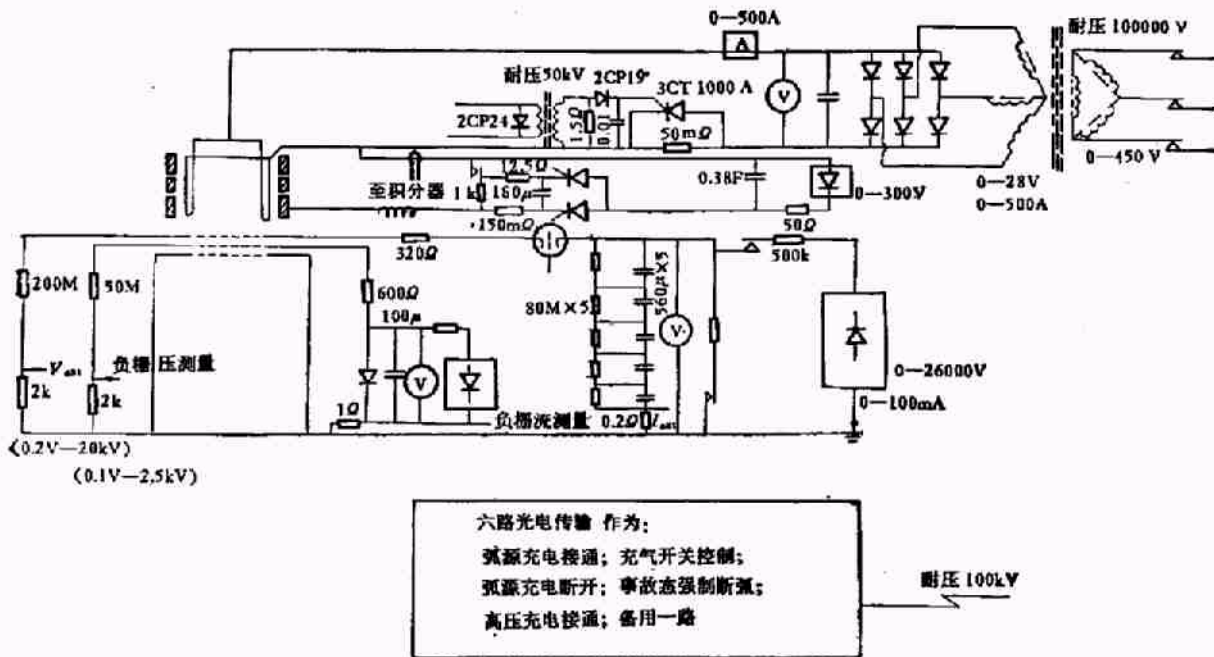


图 4 大面积离子源电原理图

灯丝采用二步加热法, 这对提高灯丝的寿命是十分有利的。

弧流的开、关用大型可控硅来控制, 而不是用一般的短路开关来关断, 这对节约能量和缩短放电重复周期是很有利的。整个电气系统对

强电干扰采取了有效的防护措施。

对源头的弧室部分采用变压器油循环冷却。

用自制的 18 路电子转换开关测量了束流在一个截面上的分布, 利用这种开关可以在放

电的任一时刻一次得出束流在某一截面上的分布。这样就消除了由于放电重复性不佳带来的误差；同时也消除了用手工绘制束流分布的人为误差，并可在示波器上直接显示得到束流的分布。

由多次测量的结果可以看到，对于 14—20 kV 的引出电压，在引出电流 I_{ext} 调到最佳的情况下，束流的散角重复性很好。

实验上也用热工率法对束的等效电流做了绝对测量，结果表明，电测量和热测量符合得很好。

对不同作者提出的引出束流公式加以分析，并与我们的实验结果进行比较，看来 Kouligin 等人提出的公式(对工作气体是 H_2 时)比较准确。按照 Kouligin 等人的公式，引出的最佳

电流密度为

$$j_{\text{opt}}(\text{A/cm}) = 4 \cdot 10^{-8} [u_0(\text{V})]^{1/2} / [d(\text{cm})]^2,$$

式中 d 称为有效距离，这里 $d = t_1 + d_1 + \delta_1/2$ ； t_1 为发射电极的厚度； d_1 为 1, 2 栅的间距； δ_1 为加速电极上的槽宽； u_0 为引出电压。

不同的作者对于有效距离 d 的取值有所不同。对于我们的离子光学系统，若 d 取为

$$d = t_1 + d_1 + \delta_1/2, \text{ 并按一般规律假设}$$

H_1^+ , H_2^+ , H_3^+ 的电流成份在总束流中的比值为

$$\alpha_1 = 75\%, \quad \alpha_2 = 15\%, \quad \alpha_3 = 10\%,$$

则根据理论公式

$$I_{\text{ext}} = \frac{4\epsilon_0}{9} \frac{\left(\frac{2e}{M}\right)^{1/2}}{\sum_1 \alpha_n \sqrt{n}} \frac{V^{1/2}}{d^2},$$

其中 e 为电子的电荷； M 为质子的质量； n 为离子的质量； V 为引出电压。

若取 $V = 20\text{kV}$ ，计算出引出束流密度极限为 548mA/cm^2 。并且在实验上很难超过此值。

实验中发现，引出电流 I_{ext} 与引出电压 V 的关系在 20kV 左右比 $I_{\text{ext}} \propto V^{1/2}$ 要快，其原因可能是当 V 提高时，相应的提高了弧流 I_{arc} ，从而使 H_1^+ 在束流中的比重加大。另一个可能的原因是电压提高后，聚焦变好，原来有一部分离子被电极截获，现在得到了改善。

本工作还以单槽(孔)的束流分布对多槽(孔)的引出系统做了计算机上的模拟，在机器上画出了不同情况下束流的分布剖面图。得出的结论是：多槽系统比单槽系统的束流散度要小，这与实验结果恰恰相反。我们认为，多槽系统的散度比单槽的大，其原因不只是多槽系统的加工非均匀性造成的，很可能主要是由于

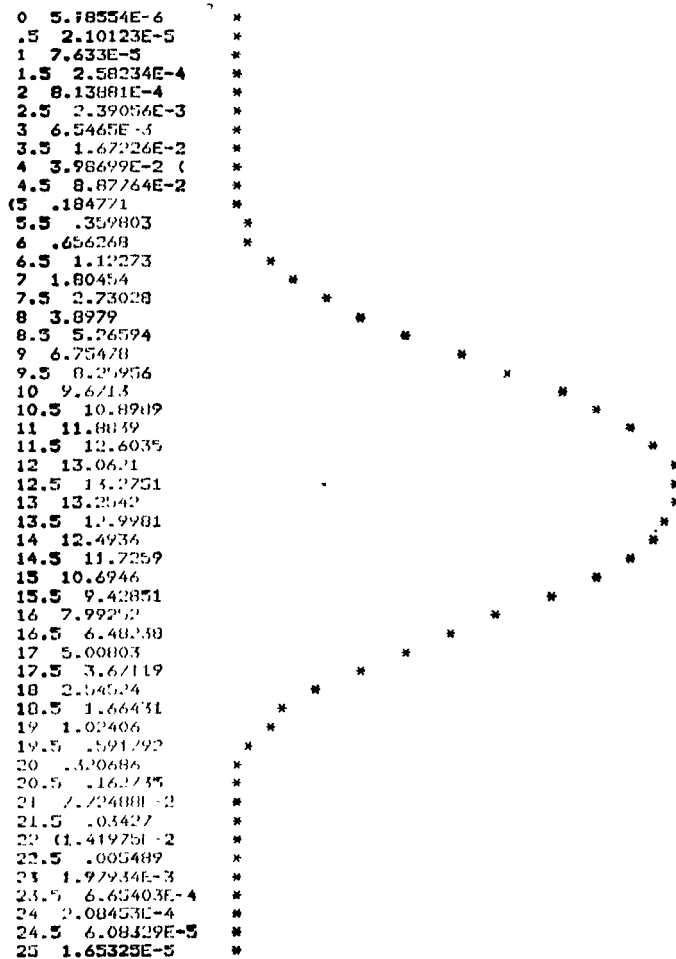


图5 当弧放电等离子体密度在整个发射面上是均匀时，计算得到的束流密度

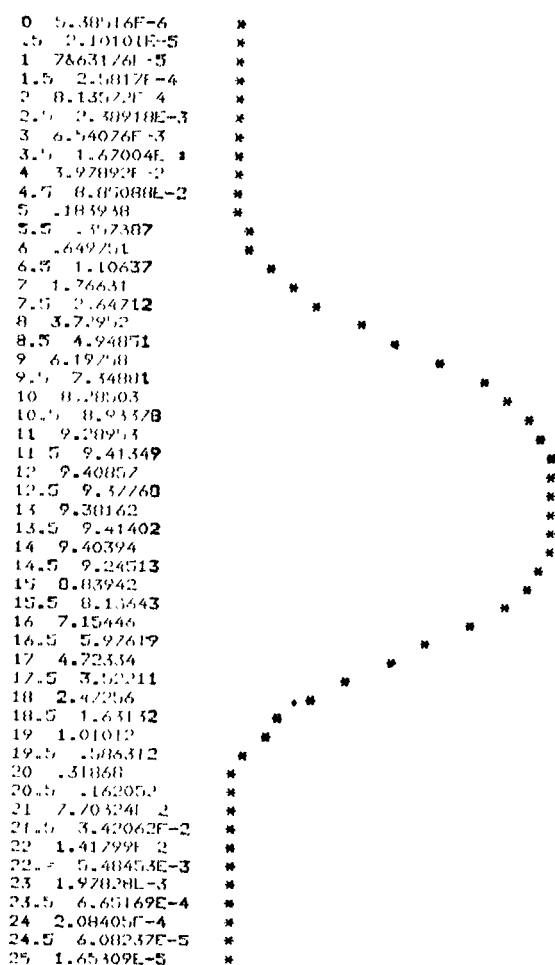


图6 当弧放电等离子体密度在发射电极中心部位有下凹时计算得到的束流密度

弧放电等离子体的密度分布不均匀。

由于这个原因,产生了下面两种后果:

(1) 各个槽上等离子体发射界面并非都处于最佳状态,从而导致束散角加大。

(2) 多槽系统在大面积上进行引出时,等离子体密度在引出面的中心部位可能出现下凹现象,这样就使束流分布的峰值下降,而束散角是取幅度为 $1/e$ 峰值处作为边界来算的,自然峰值下降,束散变宽。计算的曲线(图5, 6)也表明,当中心部位等离子体密度下凹时,对于离源1.1米处的束截面来说(我们测量的束散角也是在这个位置上进行的)束流分布的峰值仍在中心,仅是幅度下降,而不出现下凹现象。

而一般用朗缪探针测等离子体密度,或低压下用几个方位的孔引出来测等离子体的密度的分布,这两种方法都具有一定的局限性,即不是在大面积上进行引出的情况下,所以测得的等离子体密度的空间分布与有大面积引出时存在着差异。

本实验采用的工作气体是 H_2 , 每次放电充气量是 3Torr/s, 充 0.5 秒钟。真空系统是大型油扩散泵。

这个源于 1975 年曾在中国科学院兰州近代物理研究所进行过调试,谨向当时参加的人员致谢,耿秀敏同志参加过部分工作谨致谢意。

(上接第 171 页)

[18] G. Broden et al., *Surf. Sci.*, **72** (1978), 45.

[19] A. J. Johann, *J. Vac. Sci. Technol.*, **12** (1975), 347.

[20] A. Crossely, *Surf. Sci.*, **68** (1977), 528.

[21] A. J. Van Bommel et al., *Surf. Sci.*, **72** (1978), 95.