

测量基模激光的能量表明,当电光晶体上电压一定时,这种选模调Q技术具有很好的输出稳定性,可大大降低对激光充电电源精度的要求。当泵浦能量为500J, KD\*P晶体电压为2kV时,可获得25mJ的基模激光输出。

(收稿日期:1988年12月13日)

## 脉冲供电的空心阴极放电中电子的能量和密度

李英骏 张道中 吴成 赵玉英 腾爱平 王天眷

(中国科学院物理所,100080)

### Energy and density of electrons in a hollow cathode discharge supplied with pulsed current

*Li Yingjun, Zhang Daozhong, Wu Cheng, Zhao Yuying, Teng Aiping, Wang Tianjuan*

(Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing)

**Abstract:** The energy and density of electrons in argon hollow cathode discharge (HCD) supplied with pulsed current are measured by a cylindrical double probe system. The measured energy and density of electron are 7.1~17.5 eV and  $1.2 \times 10^{13} \sim 4.1 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$  respectively, when the dc preionization current is 80mA, the pressure range is 0.3~0.6 Torr and the pulse voltage range varies from 1.4 to 2.2 kV.

**Key words:** hollow cathode discharge, electron energy, electron density

### 一、引 言

空心阴极放电具有电子能量大和密度高等优点<sup>[1]</sup>,特别是脉冲供电的空心阴极放电,它能给出比直流供电的空心阴极放电中高好几个数量级的电子密度,而且高能电子的比例也很高。这对于激发原子的高激发态,尤其是获得双电子激发态是相当适合的。然而,目前对于脉冲供电的空心阴极放电,尤其是对极短波长受激辐射最重要的电子的能量和密度以及随放电参数变化的关系等问题,有待深入研究。

在一个脉冲供电的空心阴极放电装置上,用圆柱型双探针系统测量了氩气电子的能量和密度以及随放电参数变化的关系。并与直流放电的结果作了比较。发现在脉冲放电的条件下电子的密度比在直流放电的条件下约高4个数量级,而电子的能量提高约4~13eV。

### 二、实 验 装 置

实验装置如图1所示。选用同轴套管柱式空心阴极结构;空心阴极管的材料为不锈钢。为了保证放电的均匀性,选定阴极管的长度为240mm,内孔直径为8mm;阳极管的长度为310

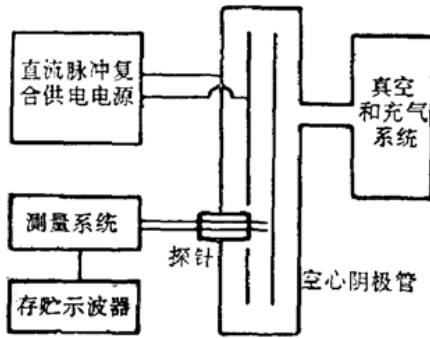


图1 实验装置

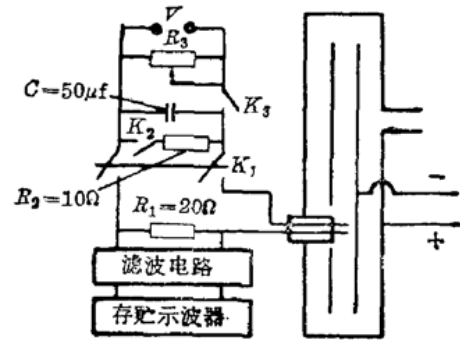


图2 测量电路

mm, 内孔直径为 33 mm。空心阴极由一直流、脉冲复合电源供电。这种电流的直流电流强度可在 0~500 mA 内调节, 脉冲电压可由 0~3000 V, 脉冲宽度为  $1 \mu\text{s}$ , 重复频率从 1~2000 Hz。

测量系统由圆柱型双探针、测量电路、滤波电路和存储示波器组成, 如图 2 所示。其中  $K_1$  为双探针换向开关;  $R_1$  为测量电阻;  $K_2$  为释放电路开关;  $R_2$  为释放电阻;  $K_3$  为电源开关;  $R_3$  为分压电阻, 它们与直流稳压电源(或电池组)  $V$  组成分压电源电路。为了保证测量的重复性, 我们在电路中加了一个稳压电容  $C$ , 来保持测量电路中电流的稳定性。

在测量电路与示波器之间加滤波电路是为了排除高频干扰信号对测量的影响。

为了保持实验的重复性, 实验前, 先要对空心阴极管抽真空 3 个小时, 使其真空度达到  $10^{-5}$  毫米汞柱的数量级, 然后充入氩气; 接通直流电源, 将预电离电流强度调到 80 mA, 预热 40 分钟, 再接通脉冲电源, 继续预热 20~30 分钟, 使放电等离子体达到热平衡后, 再进行测量。

### 三、脉冲放电条件下的结果和讨论

在直流预电离电流为 80 mA, 脉冲电压从 1.4~2.2 kV, 气压从 0.3~0.6 Torr 的范围内, 用圆柱型双探针系统对脉冲供电的空心阴极放电进行了测量, 并得到了在不同气压和不同脉冲电压条件下探针电流随其电压变化的特性曲线。其中, 在气压为 0.3 Torr, 脉冲电压分别为 1.4、1.8 和 2.2 kV 时的“特性曲线”如图 3 所示。经过数据处理和计算, 我们得到电子能量的变化范围从 7.1~17.5 eV, 而电子密度的变化范围从  $1.2 \times 10^{18} \sim 4.1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 。

电子能量随气压的变化关系如图 4(a) 所示。我们知道, 当气压较低时, 气体原子的密度也低, 而粒子的平均自由程较长。因此, 在阴极孔径一定的情况下, 从阴极飞出的电子得到阴极空间电场加速的时间相对就长, 相应电子获得的动能就多。而且, 由于粒子碰撞几率小, 电子因碰撞损耗的能量也少。所以气压低时, 相对来说电子的能量高。随着气压增加, 粒子的平均自由程变短, 从阴极飞出的电子被阴极空间电场加速的时间相对变短。另外, 由于碰撞几率增大, 电子的碰撞损耗也增多。所以, 当脉冲电压一定时, 随着气压增加, 相对来说电子的能量下降。

电子密度随气压的变化关系如图 4(b) 所示。在三种气压情况下, 电子密度都在 0.4 Torr 附近达到最大值。这是由于当气压较小时, 气体原子的密度也低, 而电子的能量却很大, 所以,

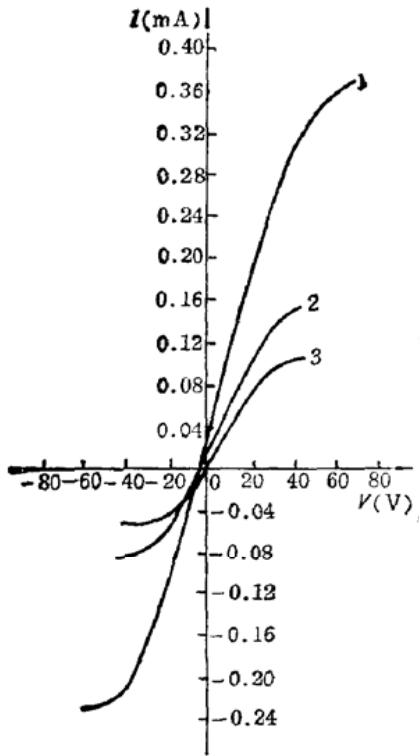


图3 氩气在气压 0.3 Torr 不同脉冲电压下探针电流随其电压的变化

1—AC—2.2 kV,  $KT_e=17.5\text{eV}$ ,  $n_e=3.3\times 10^{13}\text{cm}^{-3}$ ; 2—AC—1.8 kV,  $KT_e=13.6\text{eV}$ ,  $n_e=1.8\times 10^{13}\text{cm}^{-3}$ ; 3—AC—1.4 kV,  $KT_e=10.3\text{eV}$ ,  $n_e=1.3\times 10^{13}\text{cm}^{-3}$

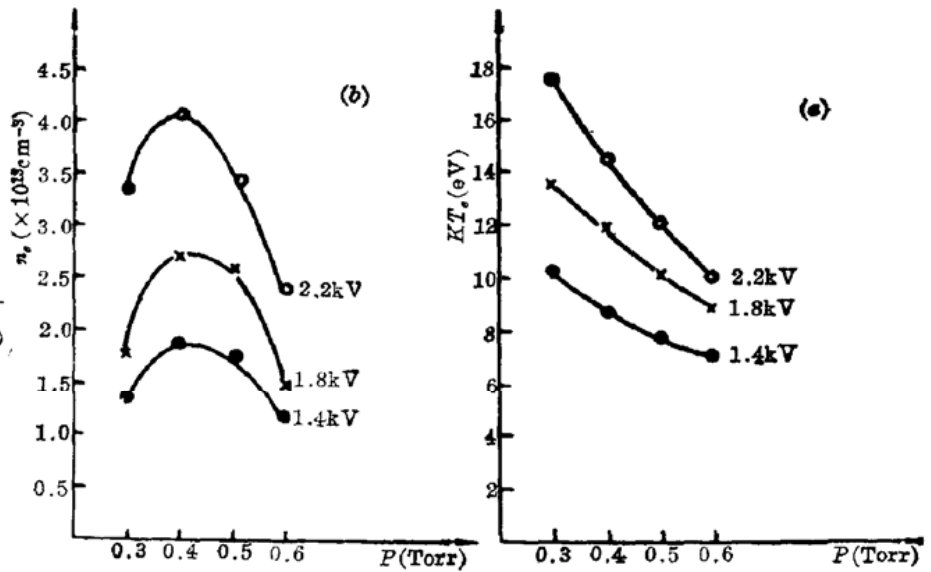


图4 在不同电压下电子能量随气压的变化关系

气体的电离度很高,但由于可供电离的气体原子总数不多,因而,离子的绝对密度相对于较大气压时却不是最大。文献[2]表明,在空心阴极放电下,电子主要是由从负辉区飞向阴极的气体离子从阴极打出的。即电子密度与离子密度成正比。因此,由于离子密度较低,故电子的密度也比较低。当气压增加并达到某一值时,气体原子的密度也随之增高,虽然这时由于电子的能量有所下降,使得气体的电离度不很大,但是,由于可供电离的气体原子总数增加了,使得离子的绝对密度随之增加,因此,相应的电子密度也达到一个最大值,它与空心阴极放电的  $P\cdot d$  值有关,其中  $P$  为气压,  $d$  为阴极孔径。当气压进一步增加时,虽然可供电离的气体原子也增加,但由于电子能量的减少,使得离子的绝对密度很低,因此,相应的电子密度也随之降低。

电子能量随脉冲电压的变化关系如图 5(a) 所示。随着脉冲电压从 1.4 kV 增加到 2.2 kV。增加电压,即增加加速电子的阴极空间电场的强度;在同样气压和阴极孔径的条件下,由于阴极加速电场的增强,电子获得了更多的动能;所以,当气压一定时,随着脉冲电压的增加,电子的能量也随之上升。

电子密度随脉冲电压的变化关系如图 5(b) 所示。电子密度随脉冲电压增加而增加,是由于随着脉冲电压的增加,电子的能量增大;因此,在气压和阴极孔径不变的情况下,就有更多的气体原子被电离,从而使得离子的绝对密度增加;而增加的离子反过来又在增强了的阴极空间电场的作用下从阴极打出更多的电子。所以,当气压一定时,随着脉冲电压的增加,电子的密度也逐渐增加。

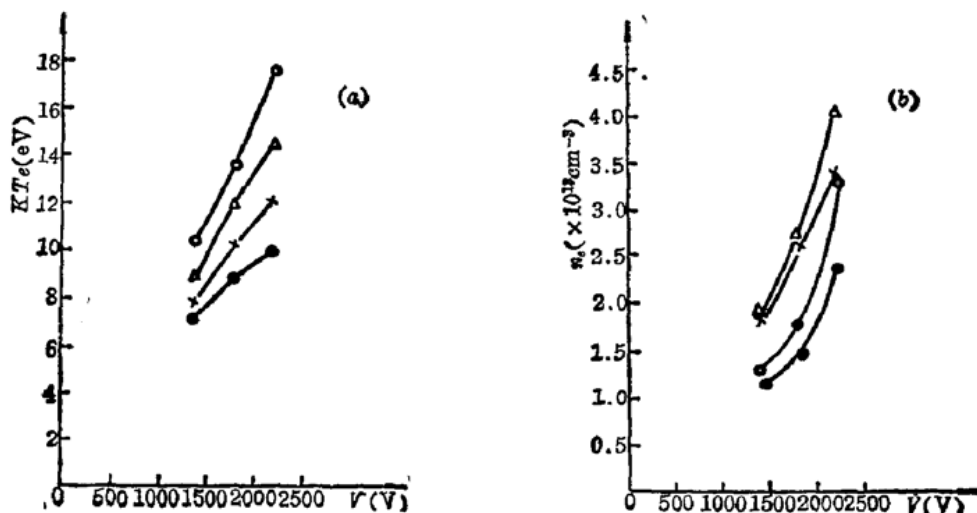


图5 在不同气压下电子能量随电压的变化关系

#### 四、直流与脉冲放电条件下的电子能量和密度

在直流电流为 80 mA, 气压从 0.3~0.6 Torr 范围内, 由圆柱型双探针系统对直流供电的

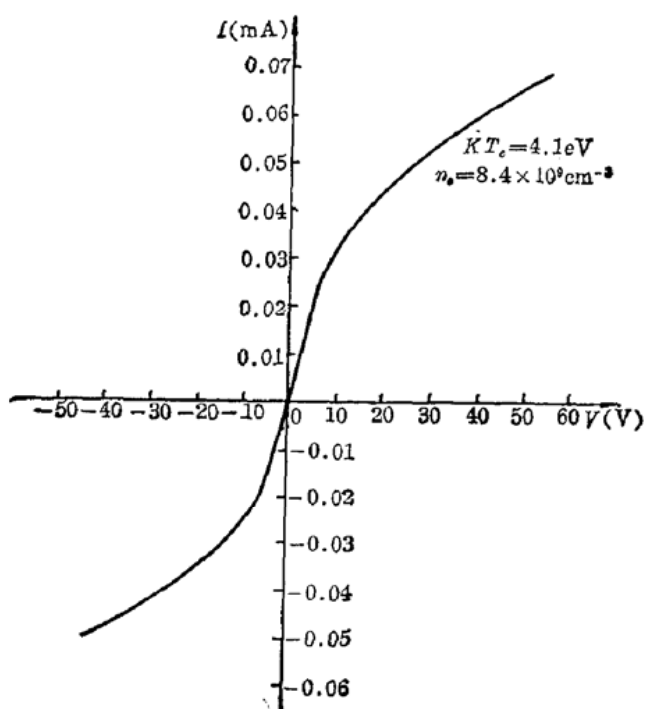


图6 氩气在气压 0.3 Torr 直流电流 80 mA 下探针电流随其电压的变化

空心阴极放电进行了测量, 得到了在不同放电参数条件下的伏安特性曲线。典型的特性曲线(气压为 0.3 Torr, 直流电流为 80 mA)如图 6。由计算得到: 电子的能量在 3~4.1 eV 范围内变化, 电子的密度在  $8.4 \times 10^9 \sim 9.8 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$  范围内变化。

直流供电的空心阴极放电中电子的能量和密度随气压变化的关系如图 7(a) 和图 7(b) 所示。当直流放电电流为 80 mA 时, 随着气压从 0.3 Torr 增加到 0.6 Torr, 电子的能量逐渐下降, 其变化范围从 4.1~3 eV; 而电子的密度先从  $8.4 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$  增加到  $9.8 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ , 然后再下降到  $8.3 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ , 且其最大值也在 0.4 Torr 附近。

与脉冲供电的空心阴极放电条件下的结果比较, 电子能量和密度随气压变化的趋势是相同的; 但脉冲放电条件下电子的能量比直流放电条件下电子的能量高约 4~13 eV; 而电子的密度高约 4 个数量级。

将直流放电条件下用双探针测得的结果与 F. Howorka 和 M. Pahe<sup>[3]</sup> 用单探针对直流供电条件下, 氩在空心阴极放电中电子的能量和密度进行测量所得到的结果比较, 可以发现, 虽然两种测量所用的探针不同, 直流放电的电流强度不同(本文为 80 mA, F. Howorka 等人的

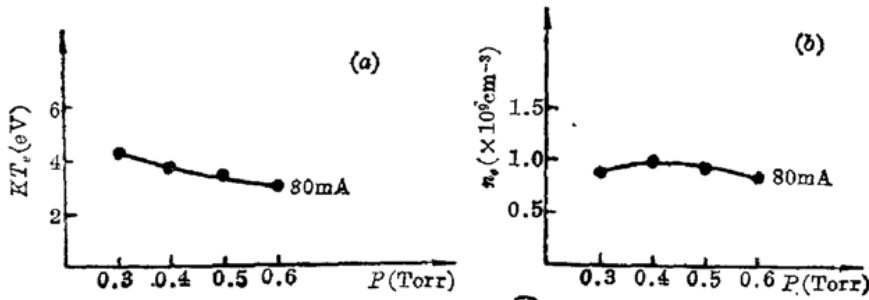


图7 直流条件下电子能量随气压的变化关系

工作中为 5 mA、10 mA 和 20 mA), 以及放电阴极管的孔径也不同 (本文为直径 8 mm, F. Howorka 等人的工作中为直径 20 mm)。然而, 除了由于阴极孔径不同使得电子密度随气压变化的极值点不同外 (这与  $P \cdot d$  值有关), 其电子能量和密度随气压的变化趋势是相同的, 且电子的能量和密度也为同一数量级。这说明双探针系统对于本文的实验测量是合适的。

### 参 考 文 献

- 1 D. E. Holmgren *et al.*, *Phys. Rev.*, **31**, 677 (1985)
- 2 В. С. Бородин *et al.*, *ЖТФ*, **38**, 1814 (1968); А. Г. Жиглинский, Т. Н. Хлопина, *ЖЛС*, **8**, 562 (1968)
- 3 F. Howorka, M. Pahe, *Z. Naturforsch.*, **27d**, 1425 (1972)

(收稿日期: 1988年11月28日)

## 吸收介质中三阶极化率的测量\*

费浩生 赵家龙 赵峰 韩力 陈肖慧

(吉林大学物理系, 130023)

### Measuring the third susceptibility in absorbing medium

*Fei Haosheng, Zhao Jialong, Zhao Feng, Han Li, Chen Xiaohui*

(Department of Physics, Jilin University, Changchun)

**Abstract:** A method is discussed to measure the third susceptibility  $\chi^{(3)}$  by degenerate four wave mixing (DFWM) in the absorbing medium, the reason is found out for the saturation of the reflectivity of DFWM at high pumping intensity, and some data of  $\chi^{(3)}$  in the absorbing media were given.

**Key words:** nonlinear optics, phase conjugation, nonlinear optical material

\* 本课题为国家自然科学基金资助项目。