

# 弗兰克赫兹实验（选做）

## Frank-Hertz Experiment

### 实验报告

**摘要：**弗兰克赫兹实验是近代物理史上非常重要的一个实验，也是我们的近代物理实验中非常经典的一个必做实验。本次选做实验就各个参数对弗兰克赫兹实验所得的各个曲线的影响加以研究，并对其中发现的问题加以研究和讨论。

**关键词：**参数变化 第一激发态曲线 高激发态曲线 电离曲线 拐点

## 实验内容简述：

本次内容主要分为三次：

- **第一次：5月18日 实验者：黄正昊 谢景福**

主要内容：

第一激发曲线受各参数影响

发现问题：

控制其他变量不变，曲线受温度  $T$  影响非单调，存在拐点

- **第二次：5月24日 实验者：黄正昊**

主要内容：

第一激发态曲线受参数影响后续

高激发态曲线受各参数影响

电离曲线受参数影响

- **第三次：6月1日 实验者：黄正昊**

主要内容：

研究第一次实验发现的拐点问题，用不同的仪器来测定拐点

## 实验结果与分析

- **第一次实验：**

1. 测量控制电压  $V_{G_1K}$  对曲线的影响（即对电子流  $I_p$  的影响）

数据条件：图一： $T = 120^\circ\text{C}$   $V_F = 1.4\text{V}$   $V_{G_2P} = 1\text{V}$

图二： $T = 120^\circ\text{C}$   $V_F = 1.6\text{V}$   $V_{G_2P} = 1\text{V}$

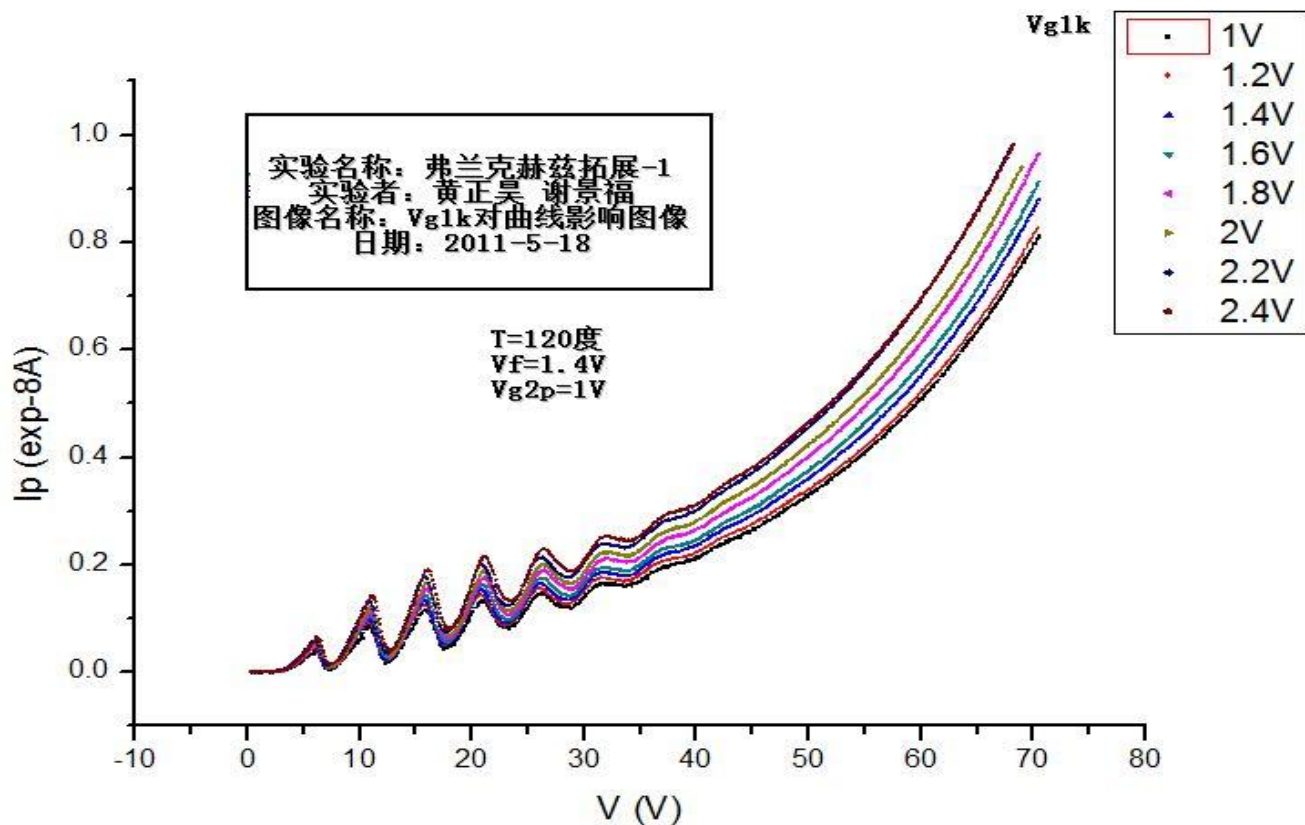
$V_{G_1K}$  从 1V 到 2.4V 变化

如下图：

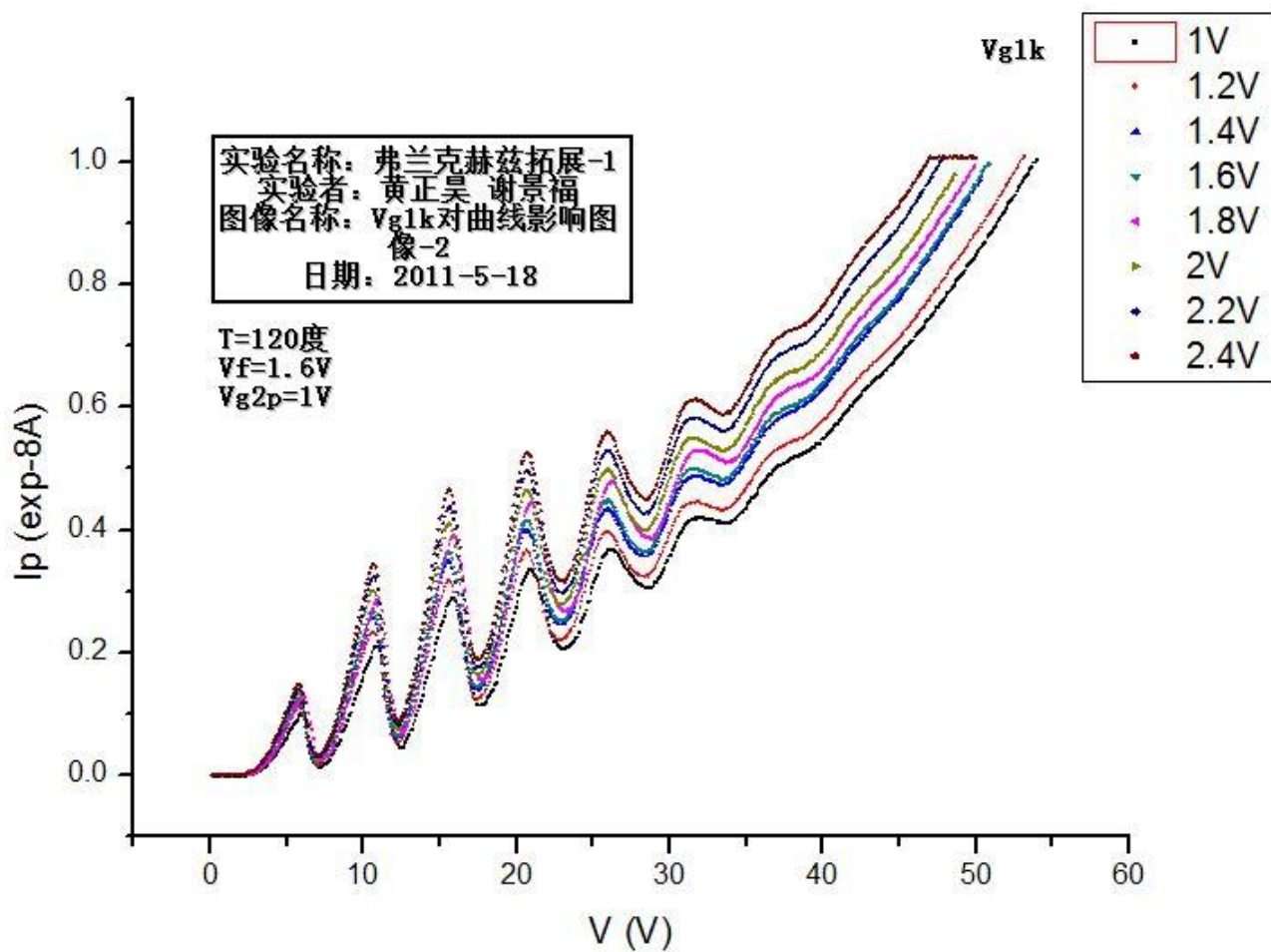
可见，曲线随  $V_{G_1K}$  增大而抬高

**结论一：**曲线随  $V_{G_1K}$  增大而抬高

**结论二（初步）：**曲线随  $V_F$  增大而抬高，且影响较  $V_{G_1K}$  大



图一



图二

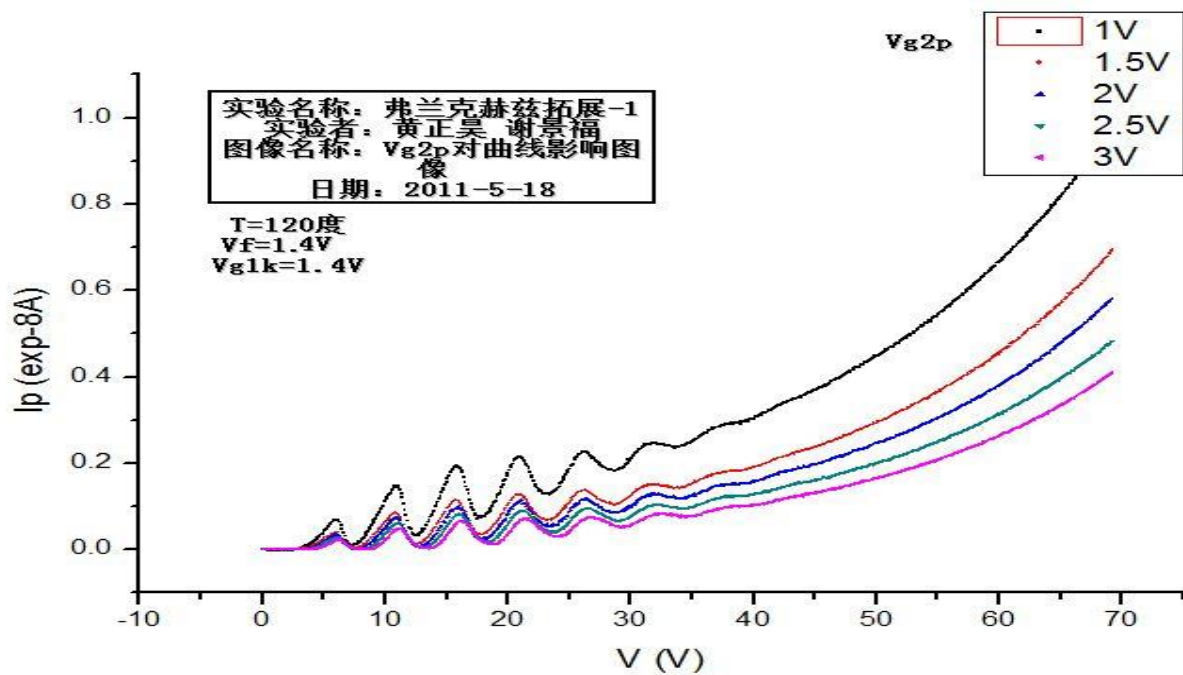
## 2. 测量减速电压 $V_{G_2P}$ 对曲线的影响

数据条件:  $T = 120$  度 图一:  $V_F = 1.4V$   $V_{G_1K} = 1.4V$

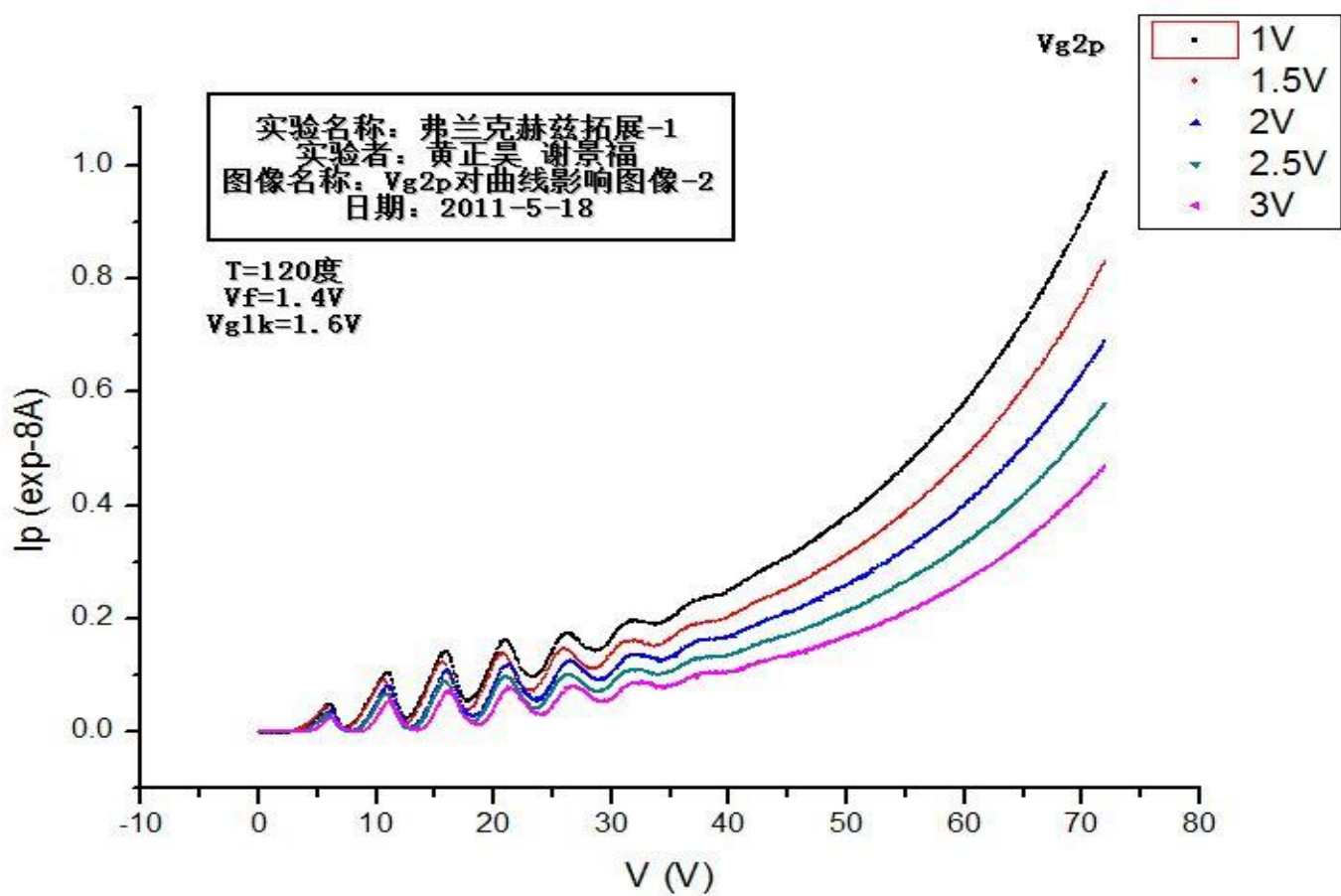
图二:  $V_F = 1.4V$   $V_{G_1K} = 1.6V$

图三:  $V_F = 1.4V$   $V_{G_1K} = 1.8V$

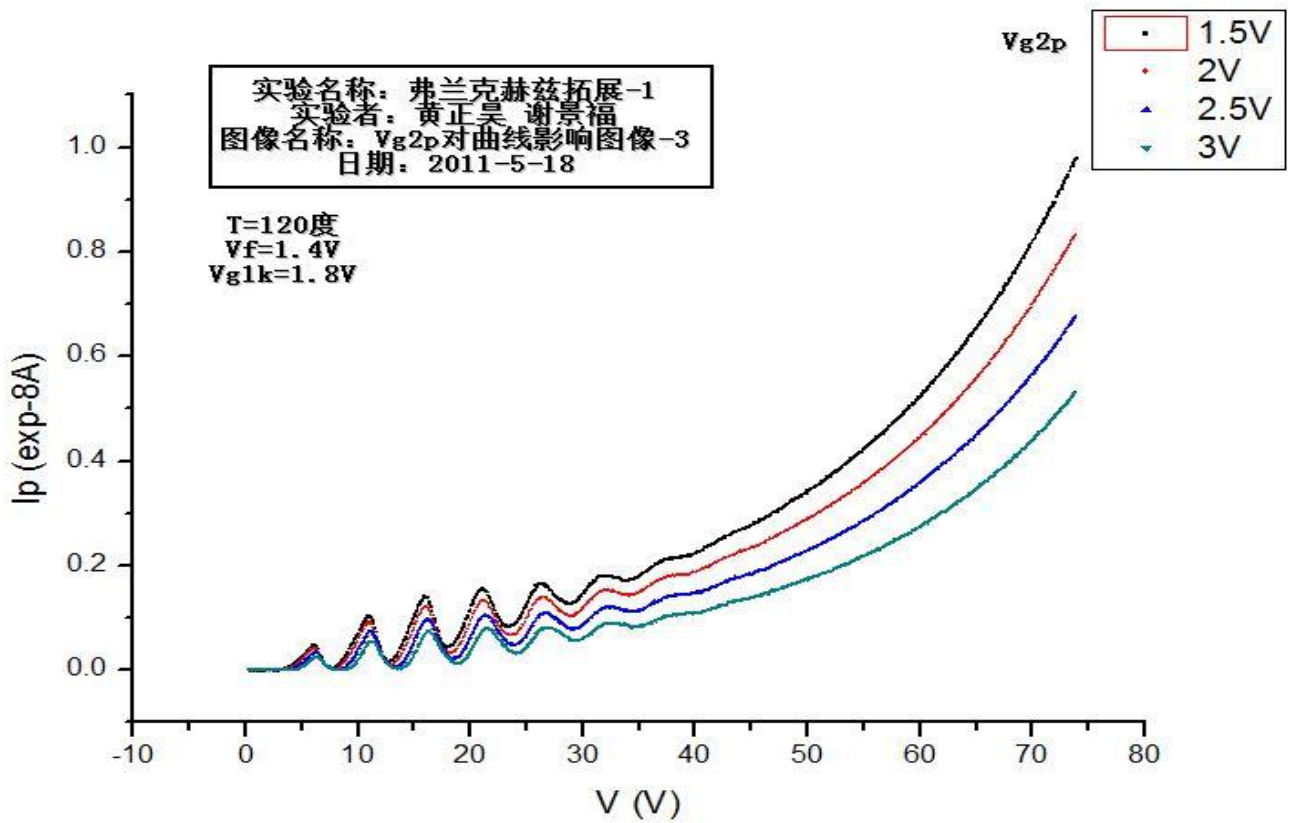
图四:  $V_F = 1.8V$   $V_{G_1K} = 1.4V$



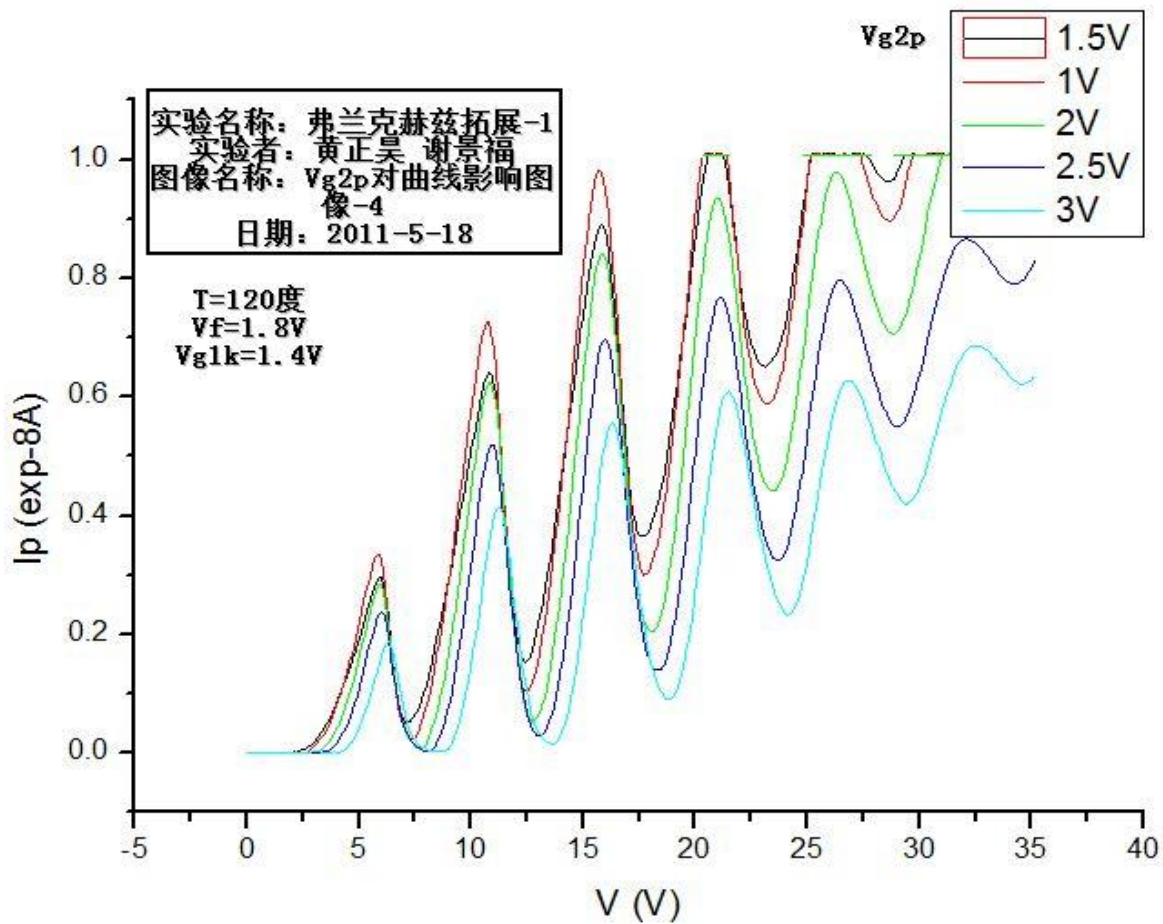
图一



图二



图三



图四

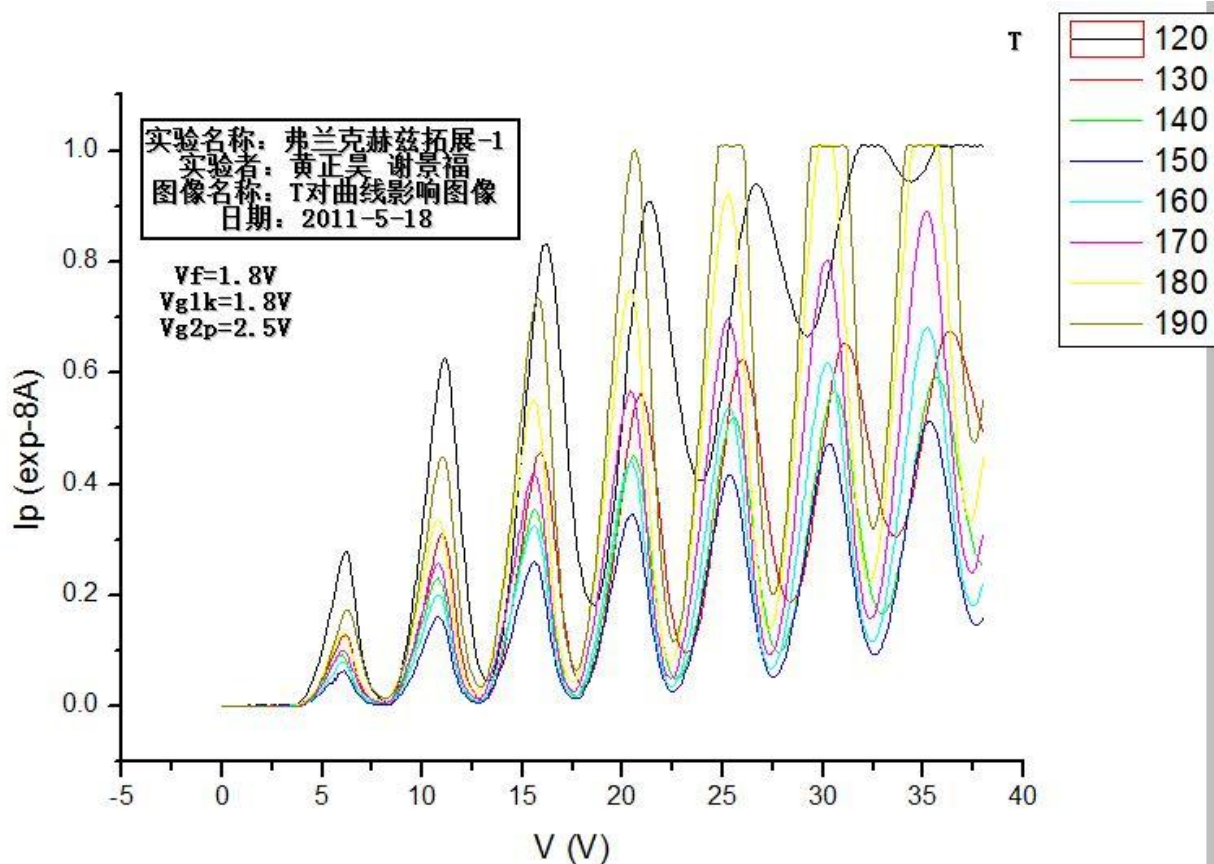
结论三: 曲线随 $V_{G_2P}$ 增大而降低

结论四: (验证结论二) 曲线随 $V_F$ 增大而增大, 且影响较大



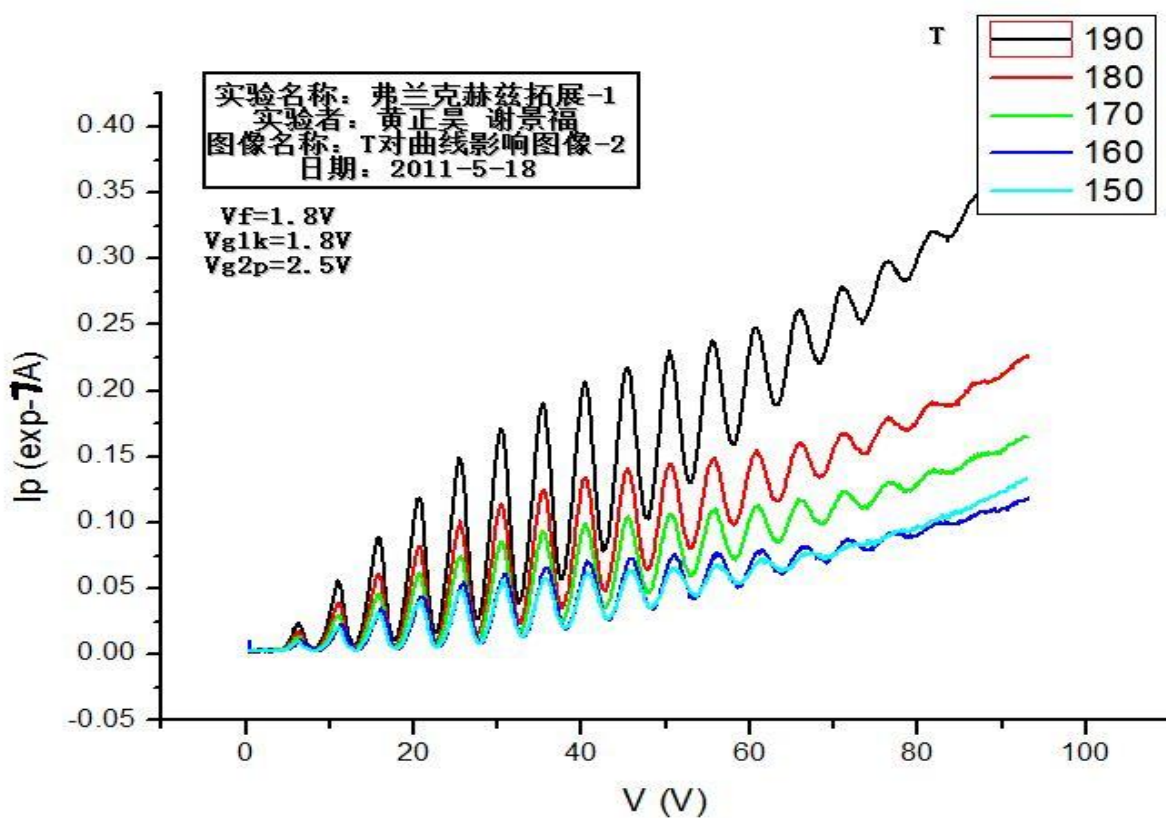
3. 测量灯丝温度T 对曲线的影响

数据条件:  $V_F = 1.8V$   $V_{G1K} = 1.8V$   $V_{G2P} = 2.5V$



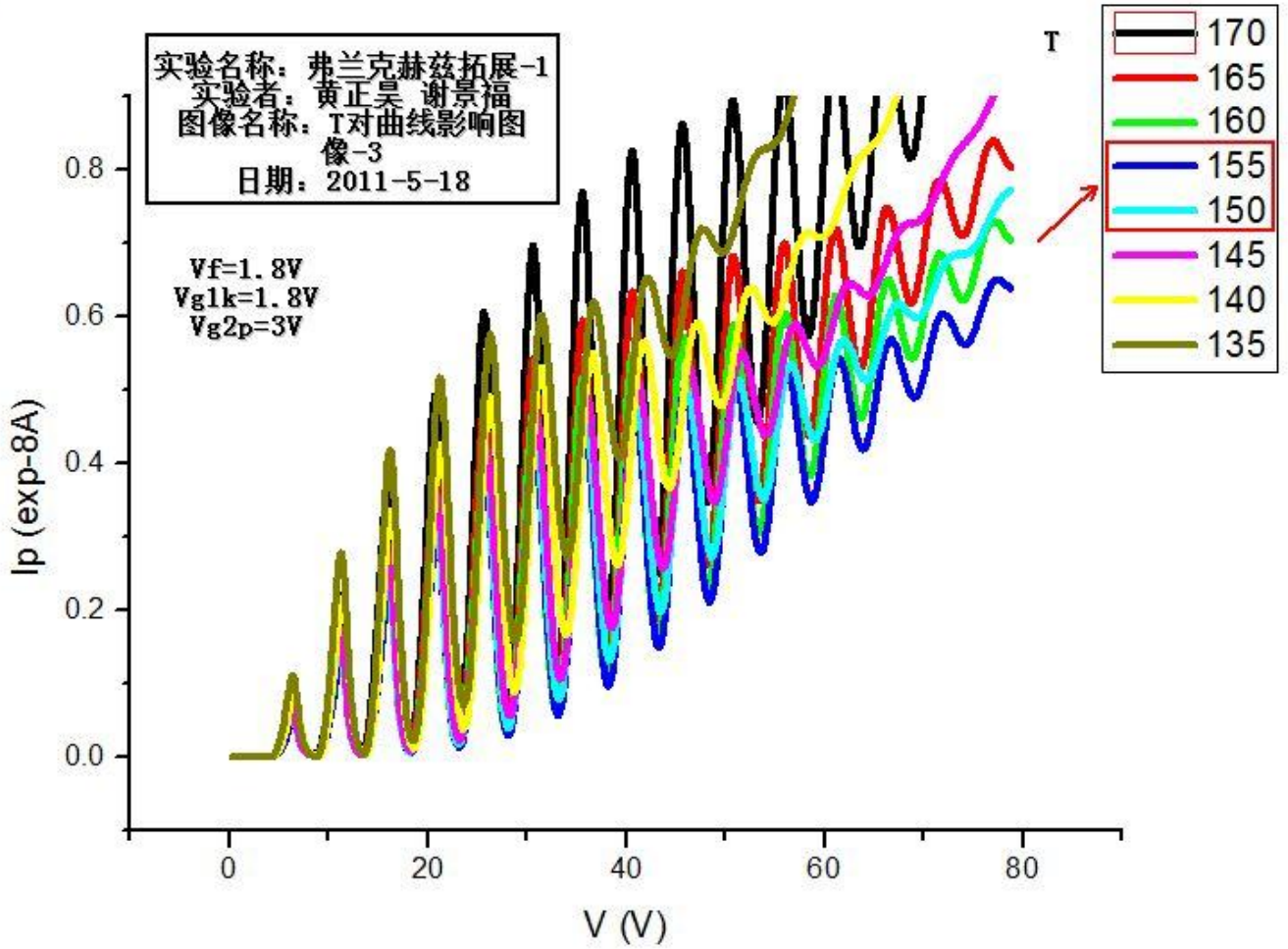
图中可以看出在 150-160 度之间出现了拐点, 即 120-150 度曲线随温度增加而降低, 而 160-190 度曲线随温度上升而下降。

更换量程至 exp-7 A, 测量 150-190 度的变化, 可以明显重复上述现象。此现象作为一个问题, 留在后面进行实验和讨论。



在 135-170 度区间内寻找拐点

数据条件:  $V_F = 1.8V$   $V_{G1K} = 1.8V$   $V_{G2P} = 3V$



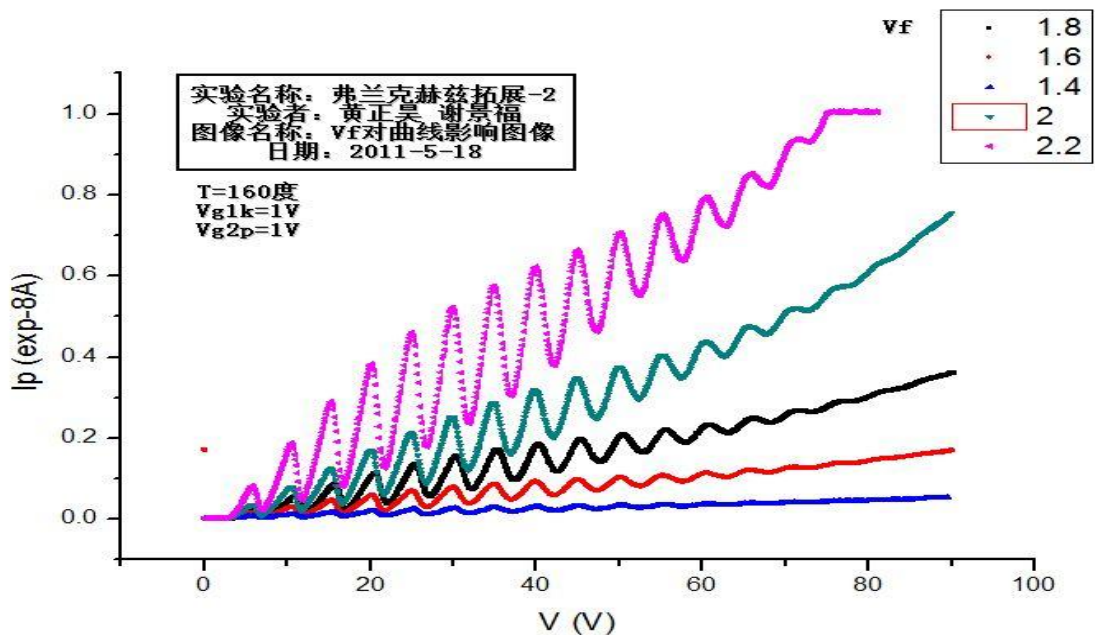
可见拐点位于 150-155 之间

结论五 (问题): 曲线随灯丝温度的提高先降低后抬高, 存在拐点

● 第二次实验

4. 测量灯丝电压  $V_F$  对曲线的影响

数据条件:  $T = 160$  度  $V_{G1K} = 1V$   $V_{G2P} = 1V$

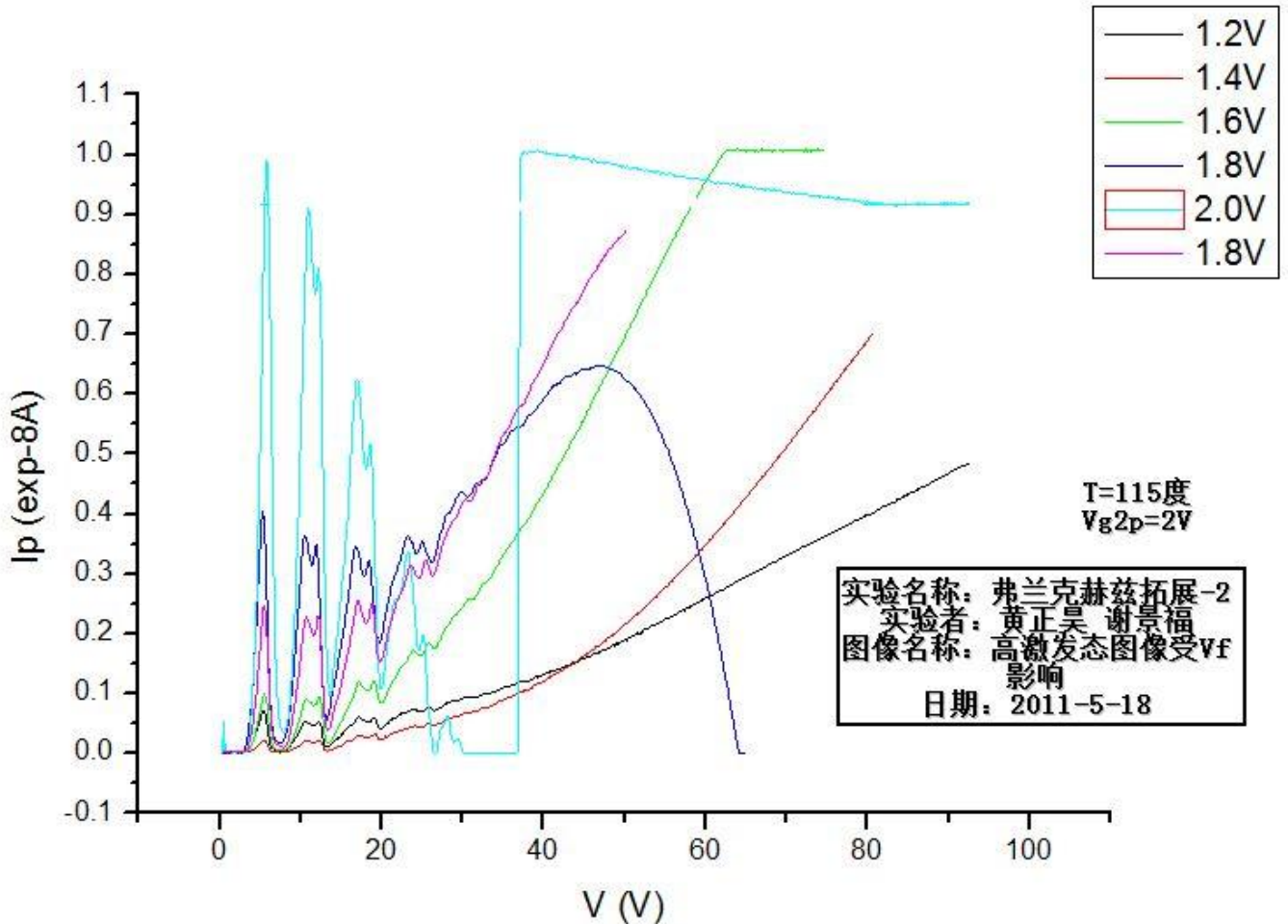


从中可以看出，曲线确实随 $V_F$ 的增大而抬高，而且抬高幅度非常明显，这也验证了前面的结论二和结论四。

**结论六：曲线随灯丝电压增大而抬高**

5. 高激发态曲线受灯丝电压影响

数据条件：T = 115 度  $V_{G_2P} = 2V$



从图像中可以看出，高激发态曲线同第一激发态曲线一样，曲线随灯丝电压的增大而抬高（这是一个很显然的结论），图中存在两个 1.8V 曲线，原因是第一次灯丝电压为 1.8V 是后段出现了下降，第二条曲线验证是否可重复，后证明不可重复，为偶然现象。

**结论七：高激发态曲线随灯丝电压增大而抬高**

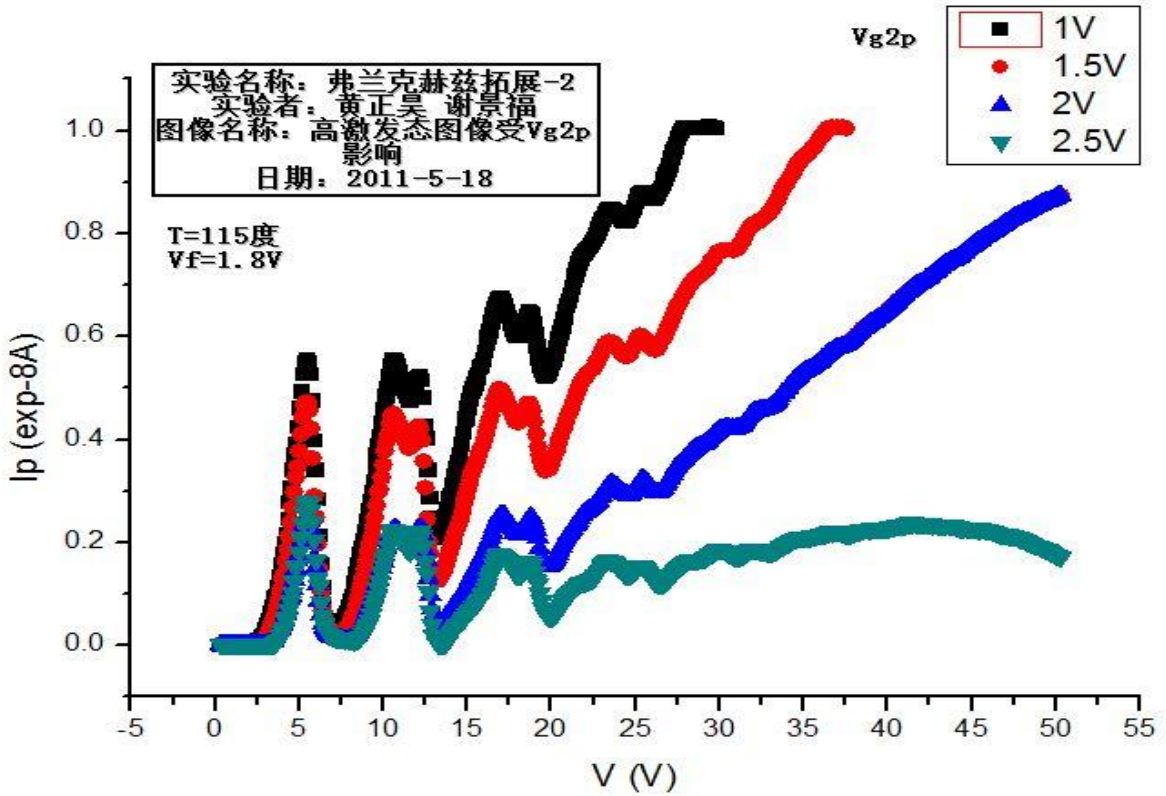
6. 高激发态曲线受减速电压 $V_{G_2P}$ 影响

数据条件：T = 115 度  $V_F = 1.8V$

从图中不难看出，高激发态曲线同第一激发态曲线一样，曲线随减速电压增大而下降而同时也伴随着，随减速电压增大，曲线下降而峰位分辨率下降

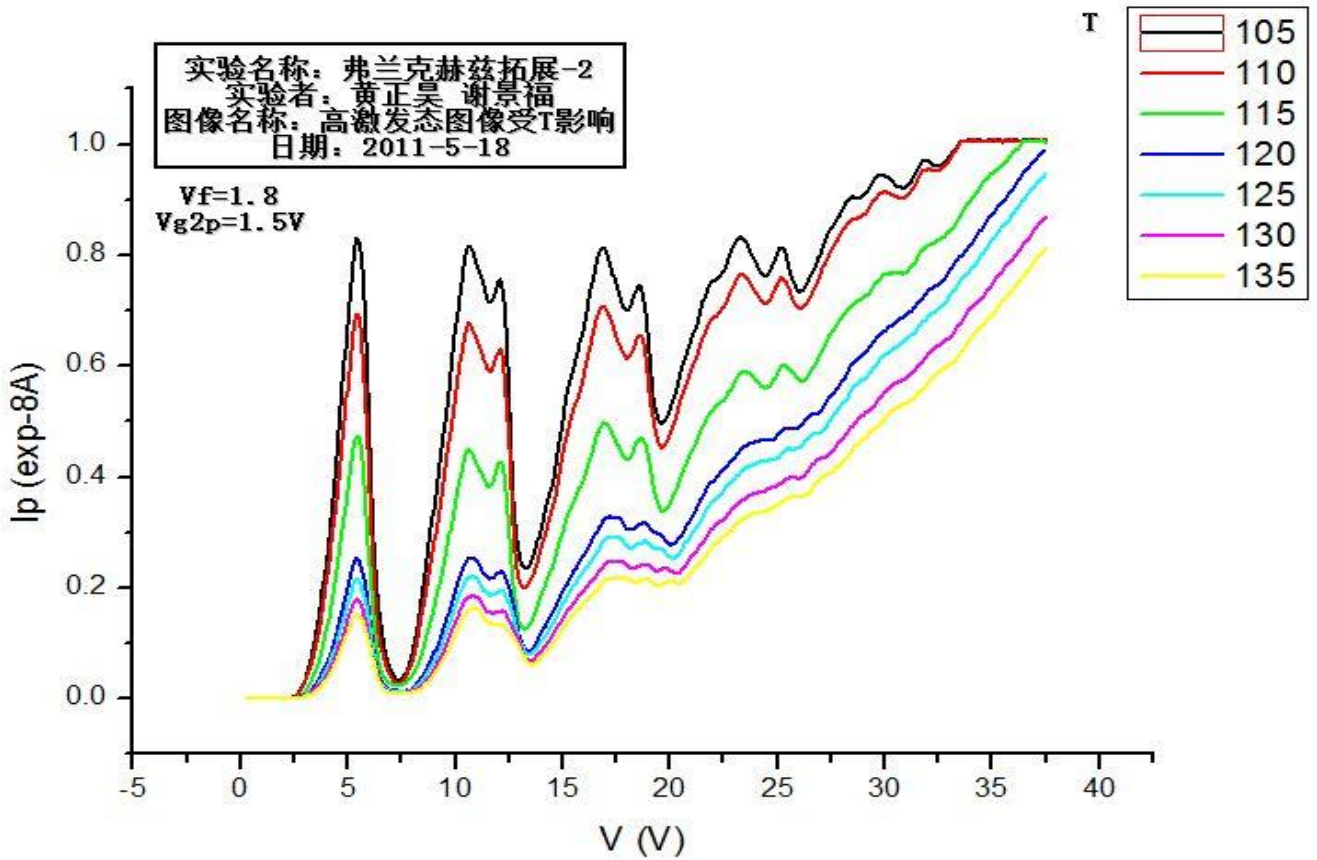
**结论八：高激发态曲线随减速电压增大而下降**





7. 高级法态曲线随温度影响

数据条件:  $V_F = 1.8V$   $V_{G2P} = 1.5V$

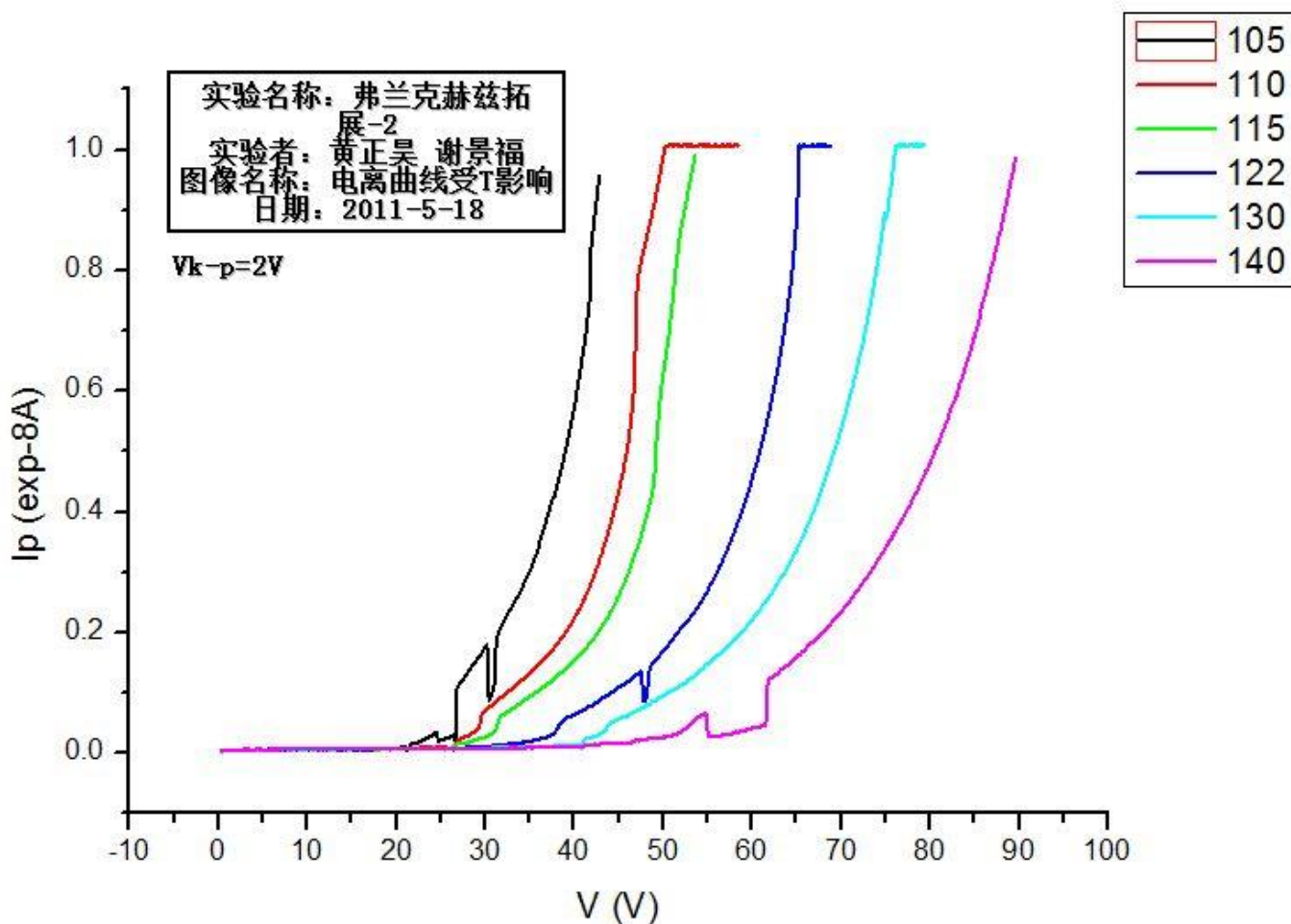


从图中可以看出，高激发态曲线随着温度的上升而下降。分辨率也随着温度上升而下降。

结论九：高激发态曲线随温度上升而下降



8. 电离曲线随温度变化  
 数据条件:  $V_{K-P} = 2V$

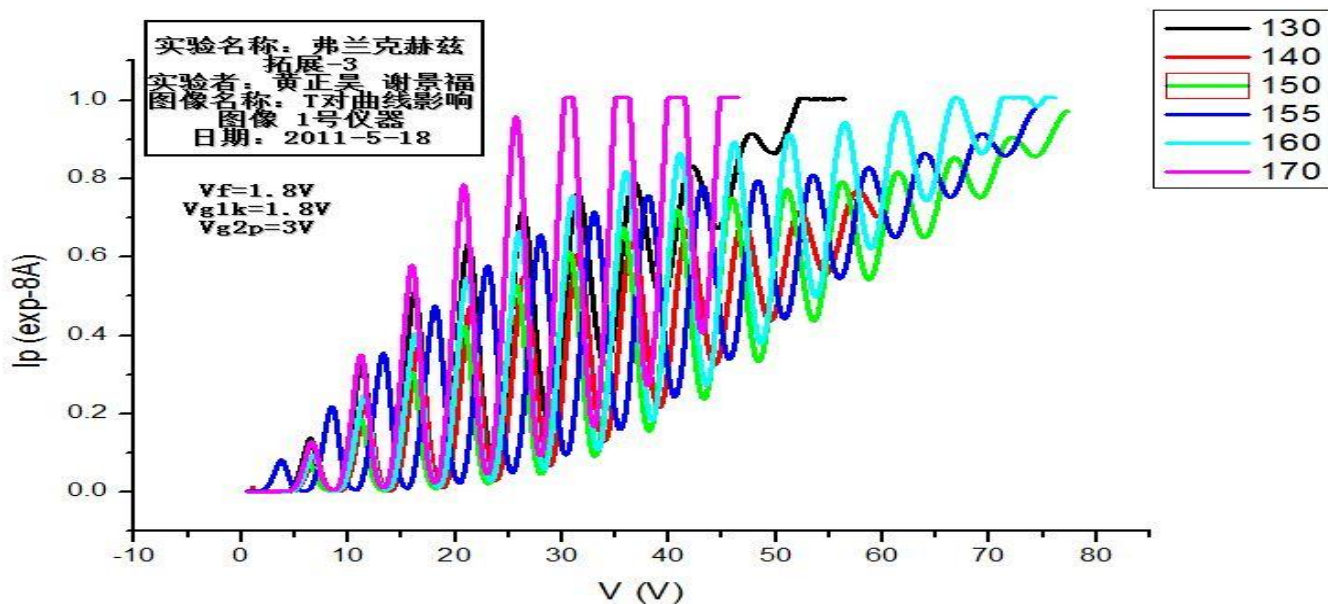


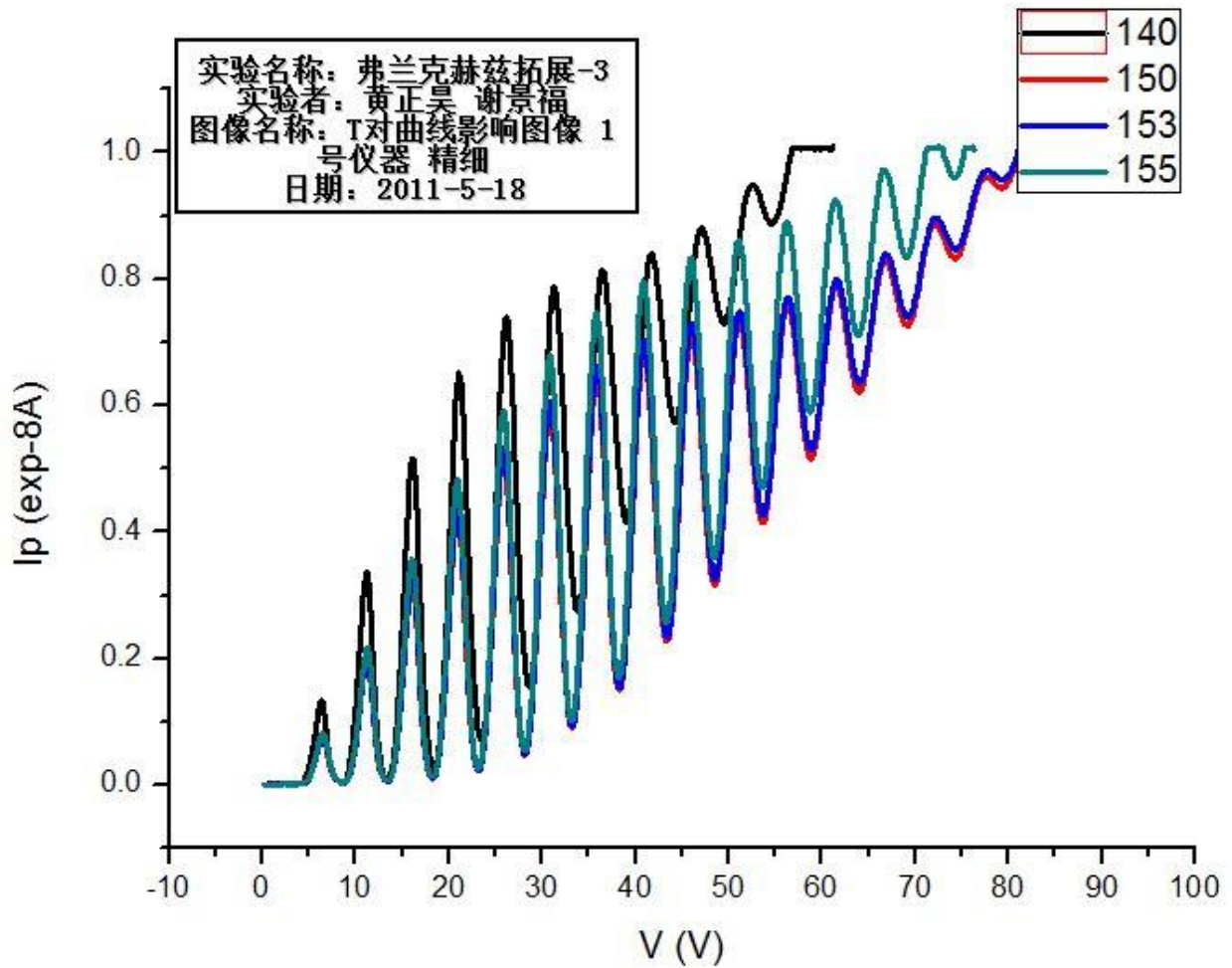
从图中可以看出，电离曲线随温度的上升而下降，但是中间出现了曲线下陷的情况。

结论十：电离曲线随温度的上升而下降

● 第三次试验

9. 一号仪器第一激发态温度拐点测量  
 数据条件:  $V_F = 1.8V$   $V_{G1K} = 1.8V$   $V_{G2P} = 3V$

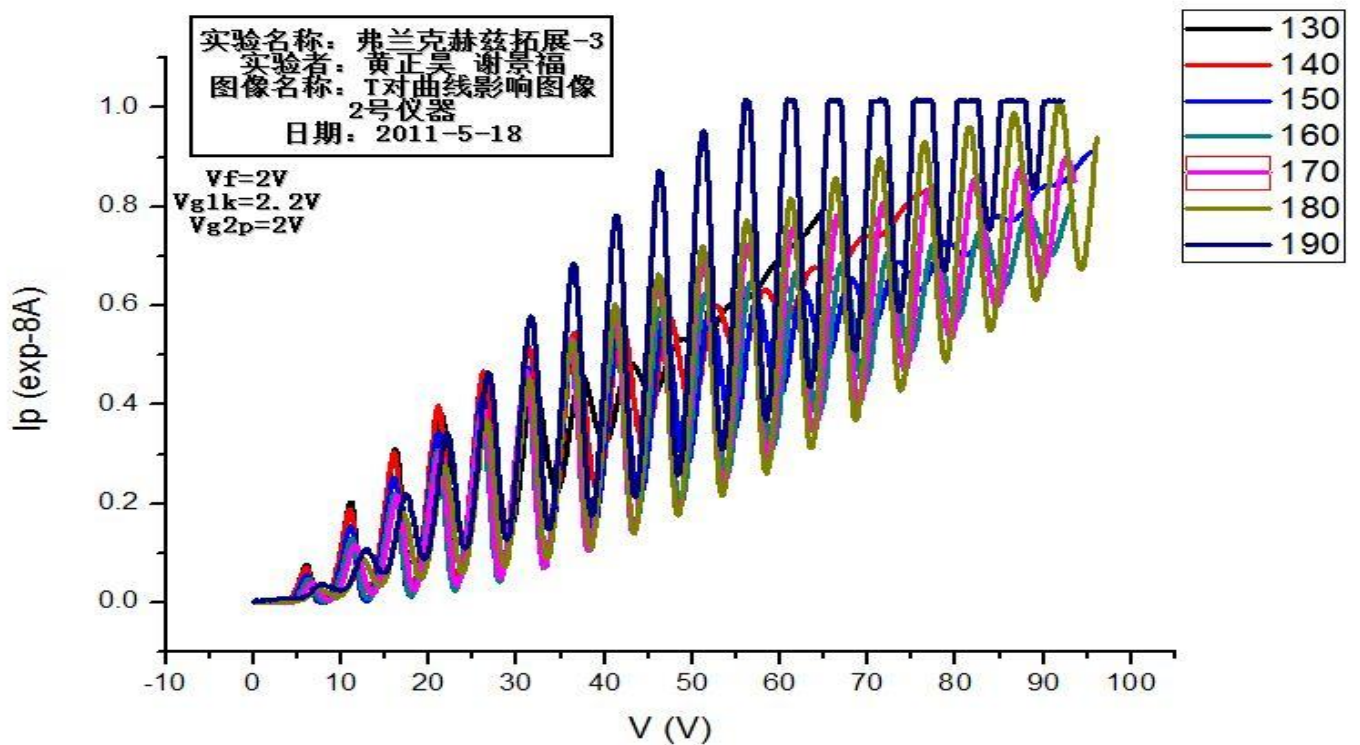


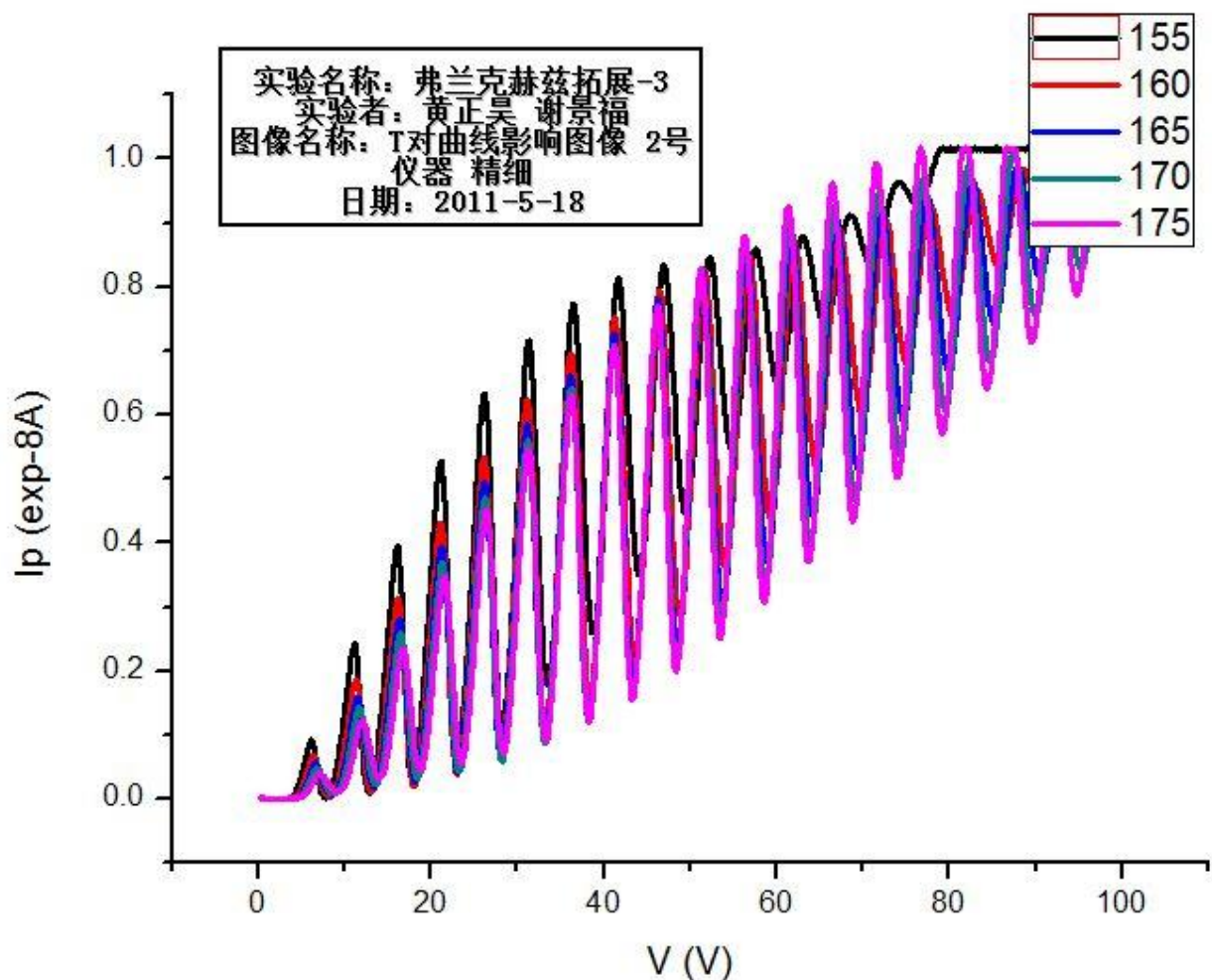


不难看出，第一幅图确定拐点位于 150-155 度，最后一幅图可初步确定 151 或 152 度为拐点

10. 二号仪器的拐点测量

数据条件:  $V_F = 2V$   $V_{G1K} = 2.2V$   $V_{G2P} = 2V$



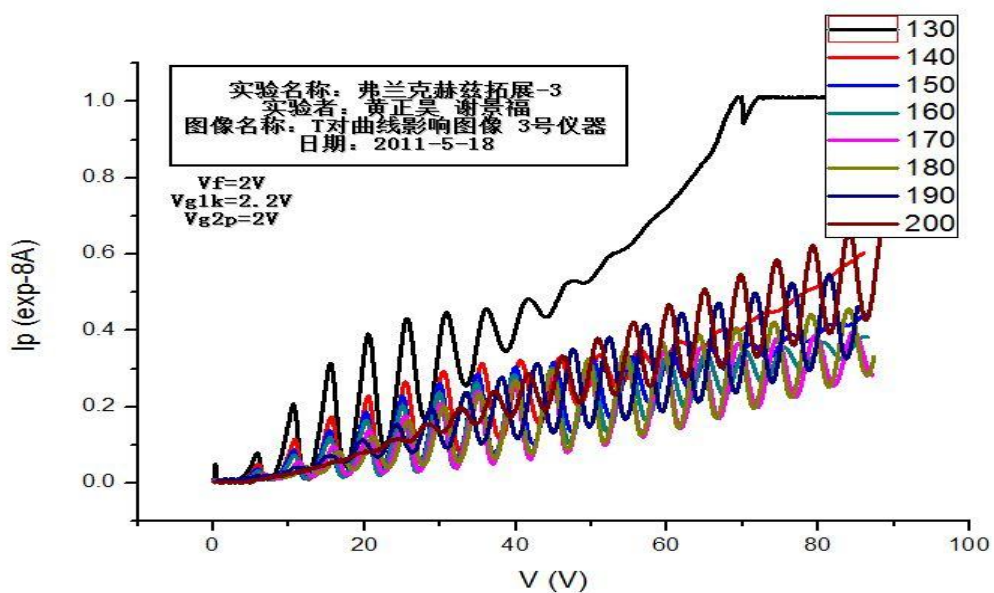


第一幅图以 10 度为单位，第二幅图以 5 度为单位，结合两幅图可以看出，二号仪器的拐点并不容易寻找，不如一号仪器明显，但也可大致确定在 165 到 175 度之间，与一号仪器不同，而从中可以得知，拐点的大小是与仪器有关的。

结论十一：第一激发态曲线随温度变化拐点大小因实验仪器而异

### 11. 三号仪器拐点测量

数据条件:  $V_F = 2V$   $V_{G1K} = 2.2V$   $V_{G2P} = 2V$



从曲线上不难看出，三号仪器的拐点位于 170-180 度之间，这也印证了我们的结论十一。



# 结论总结及原理分析

**结论一：**第一激发态曲线、高激发态曲线和电离曲线随温度的上升而下降，但是第一激发态曲线温度上升至一定程度后开始抬高，且临界温度因实验仪器而异

分析：温度提高时，根据实验原理中的公式，汞蒸汽压也将上升，汞原子的密度增大，发生碰撞的几率增大，所以接收到的电子流变小了，所以曲线下降。（第一激发态曲线的临界现象放在后面讨论）

**结论二：**第一激发态曲线和高激发态曲线随灯丝电压 $V_F$ 增大而上升

分析：此结论较为理解，灯丝电压对阴极的发射系数有很大的影响，灯丝电压越高，发射系数也越高。也就是说，灯丝电压越高，发射出的总电子数就越高，而其他情况不变的话，最后到达极板的电子数自然也会同比的增加，所以曲线上升。

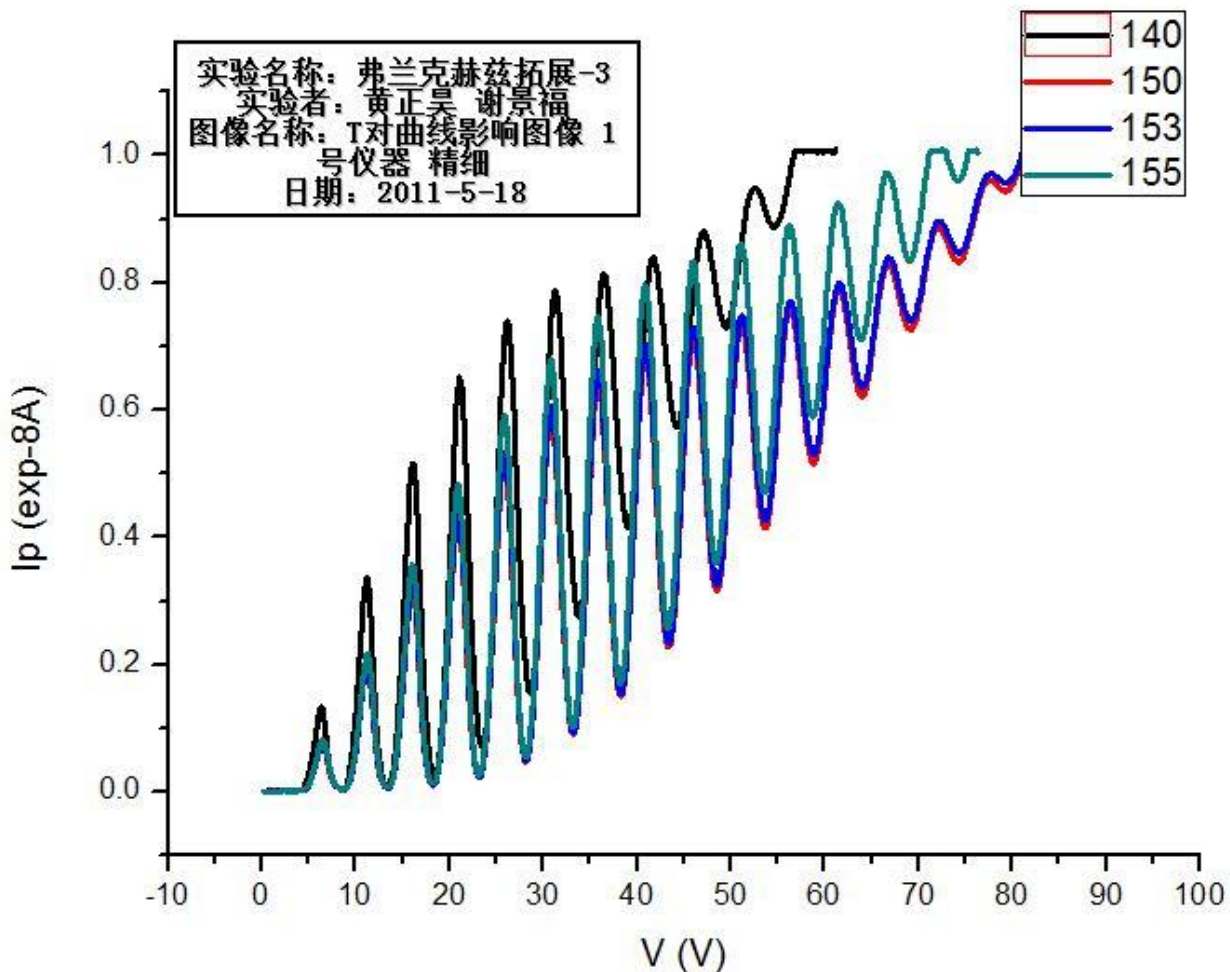
**结论三：**第一激发态曲线和高激发态曲线随减速电压 $V_{G2P}$ 上升而下降

分析：减速电压增大后，能量较低电子受减速电压影响无法到达极板，所以板流减小，曲线下降。

**结论四：**第一激发态曲线随控制电压 $V_{G1K}$ 上升而上升

分析：控制电压使电子的能量上升，故控制电压增大后，电子的整体能量分布变大了，更多的电子克服减速电压打到极板上，所以板流增大，曲线抬高。

**问题分析：**第一激发态曲线的临界现象



我们借一号仪器的图像做一说明：从图中我们可以看出两个现象：第一，曲线随着温度上升而开始上升；第二，曲线随温度上升，峰谷差值增大。

因此我们可以安全地得出以下两个结论：一、曲线上升表示板流增大；二、峰谷差值增大表示更多的电子因为



温度升高，碰撞几率增大而发生了非弹性碰撞。

但是对比两个结论不免找到矛盾，那就是在电子总数不变的情况下，这两者是矛盾的，唯一可以解决矛盾的假设就是 F-H 管内汞原子发生电离，导致电子总数增加。由汞原子电离进而推导出：一、电子总数增加，板流增大；二、汞正离子难以吸收高能量状态的电子，所以电子总数增多导致发生非弹性碰撞的电子增多，导致峰谷差值增大。

---

<sup>1</sup> 参考文献

1. 大学物理实验, 2004.6, 弗兰克赫兹实验的研究, 宋文福 冯正南 朱力
2. 近代物理实验 (第二版), 高等教育出版社, 戴道宣 戴乐山
3. 汞原子较高激发能的研究, 物理实验, 刘复汉