

# 关于电子枪聚焦特性的研究

张冶青 ( 07300720378 )

( 复旦大学光科学与工程技术系, 上海, 200433 )

**摘要:** 本文介绍了一种研究电子枪聚焦特性的方法。我们利用 SIMION 软件模拟电子枪内发射电子的运动轨迹, 考察了其聚焦的原理。通过改变电子枪相应的参数, 研究了电子枪各电极电压对聚焦特性的影响, 并分析了造成其影响的原因。

**关键词:** 电子光学; 电子枪; 聚焦特性; SIMION

## 1. 引言

### 1.1 电子光学和电子枪

电子光学是研究电子在电磁场中运动和电子束在电磁场中聚焦、成像、磁偏转等运动规律的学科, 它和经典的几何光学有不少相似之处。电子光学是设计电子枪及其他电子离子仪器的理论基础。

电子枪是示波器中的重要组成部分, 是用来产生具有一定电流密度、一定形状的电子束的电子光学系统。它通过电子透镜将电子束进行聚焦, 并能够通过改变电极电压的大小来控制聚焦效果。

### 1.2 SIMION 8 模拟软件

SIMION 8 是 INL ( Idaho National Laboratory ) 开发的一款静电透镜分析模拟软件。它能模拟出复杂系统甚至整个电子光学装置的聚焦过程, 帮助实验者分析透镜系统的性能参数。SIMION 8 可以被应用在很多方面, 包括离子源探测光学、飞行计时器、离子阱、电四级矩等等<sup>[1]</sup>。SIMION 8 模拟是分析电子枪性能的重要手段。

## 2 实验原理及操作过程

### 2.1 电子枪聚焦过程

电子枪主要由阴极、栅极、第一阳极、第二阳极组成。其中, 第一阳极由等电势的三个光阑和一个极板组成, 如图 1。图中的蓝色曲线为电子发射轨迹。

图 2 为主透镜的示意图, 途中已标出等势线的分布, 电子经过后为汇聚效果。

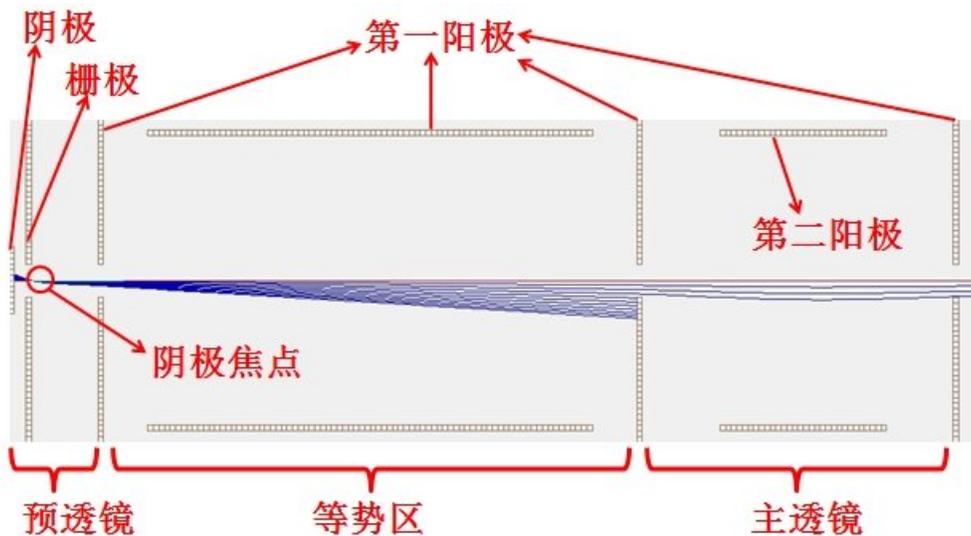


图 1 电子枪结构示意图

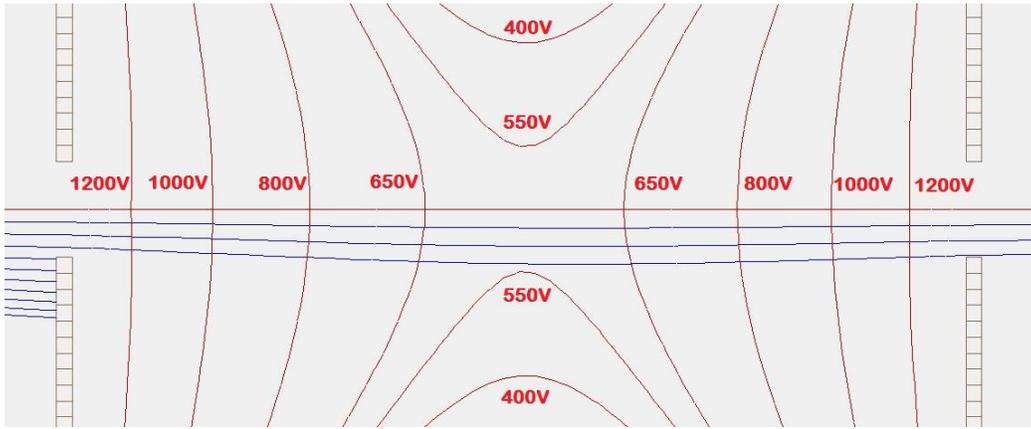


图 2 主透镜示意图

## 2.2 电子枪各电极电压的调节

如图 3，示波器面板上有三个与电子枪聚焦有关的旋钮，分别能够调节栅极、第一阳极和第二阳极的电压（由于分压问题，取阴极作为零电压，本文提到的电极电压是指该电极与阴极之间的电势差）。其中，辉度旋钮对应栅极电压，聚焦粗调对应第二阳极电压，聚焦细调对应第一阳极电压。

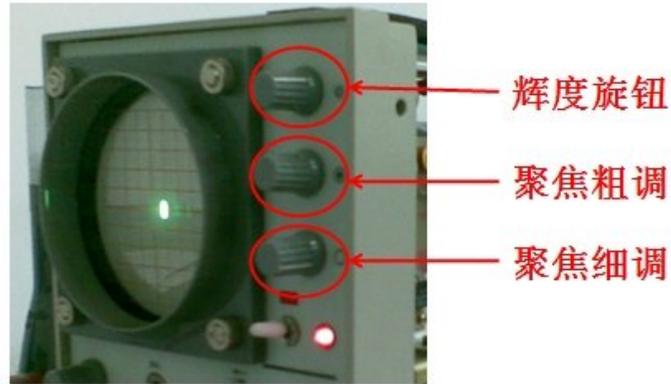


图 3 示波器面板

## 2.3 SIMION 8 模拟

图 4 是之前物理系两位实验者初步测得的电子枪结构放大 4 倍后得到的示意图，该图片可以在复旦物理实验中心网站上找到<sup>[3]</sup>。

首先根据图 4 建立电子枪模型。然后定义模型各个参数，包括各电极电压，电子的位置分布、初动能、发射方向等等。改变需要研究的参数，则可以得到相应的模拟结果。关于软件的具体操作可参见 SIMION 8 的操作手册。

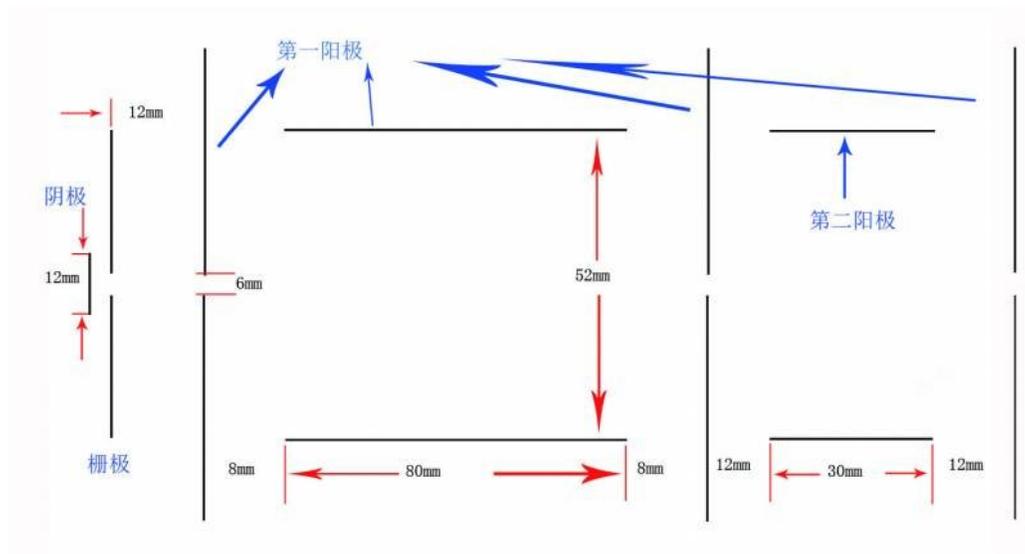


图 4 电子枪模拟结构示意图

### 3 实验现象

#### 3.1 各电极电压对聚焦的影响

##### (1) 栅极

在实验中,当我们调节辉度旋钮并同时测量栅极电压,发现荧光屏上斑点的亮度会随栅极电压变化:栅极电压增大,亮度增强;反之,亮度减弱。

##### (2) 第一阳极、第二阳极

分别改变第一阳极和第二阳极电压,发现聚焦的变化随第二阳极电压的响应更加灵敏。

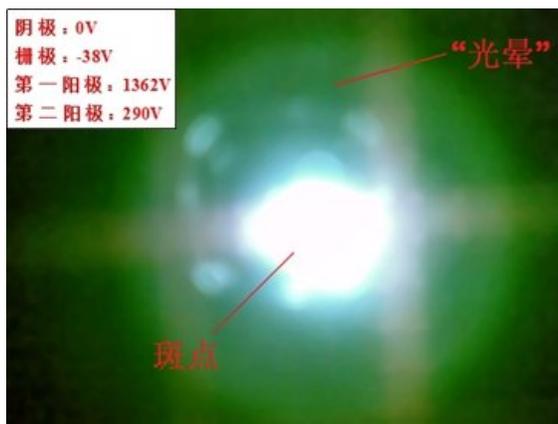


图 5 荧光屏上亮斑的照片

#### 3.2 荧光屏的成像情况

图 5 为荧光屏上亮斑的照片。从图中可以看到,电子打在荧光屏上除了有中心斑点以外,其周围还形成了一圈“光晕”。

### 4 模拟结果

按照实验原理,以下模拟结果均为电子初始动能为 0.1eV 的情况。除 4.4 以外,电子的初始运动方向始终平行于轴。

#### 4.1 电子傍轴程度对聚焦的影响

改变电子的初始离轴距离,发射 30 个离轴距离间隔 0.1mm 的电子,可以得到图 6。可以看到,电子越远离轴,焦距逐渐减小,当减小到一定程度时焦距发生突变,这也意味着傍轴条件完全不满足,所造成的结果会是严重的像差。因此满足傍轴条件对形成良好的聚焦来说是非常必要的。

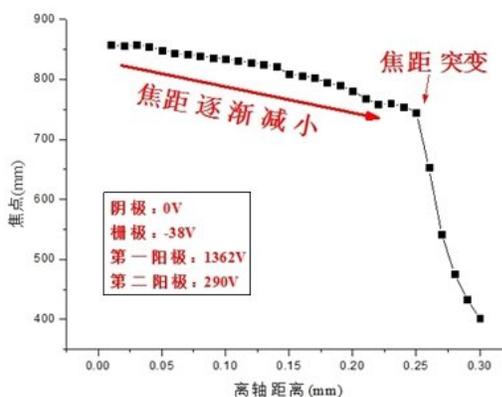


图 6 电子初始发射离轴距离对聚焦的影响

#### 4.2 第一、第二阳极电压对聚焦的影响

在实验中可调范围内,分别改变第一、第二阳极电压,得到图 7 和图 8。

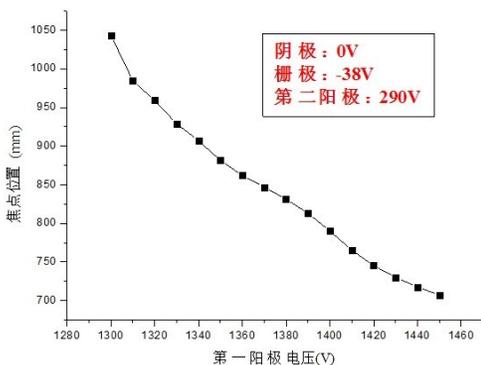


图 7 第一阳极电压对电子枪聚焦的影响

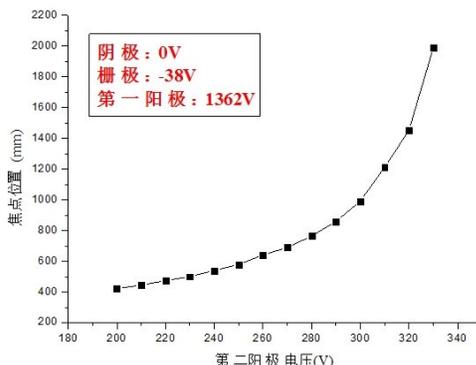


图 8 第二阳极电压对电子枪聚焦的影响

从图 7 中可以看到,当增大第一阳极电压时,焦距逐渐减小,在可调区域焦距变化范围约为 350mm。由图 8,增大第二阳极电压,焦距迅速增大,在可调区域焦距变化为大约 1600mm,比第一阳极大很多。因此可以判断,第二阳极为聚焦粗调,第一阳极为聚焦细调,这与实际情况是一致的。

### 4.3 栅极电压对辉度的影响

在可调范围内改变栅极电压，并发射 30 个离轴距离间隔 0.1mm 的电子，可得到阴极处的电子运动情况，如图 9。

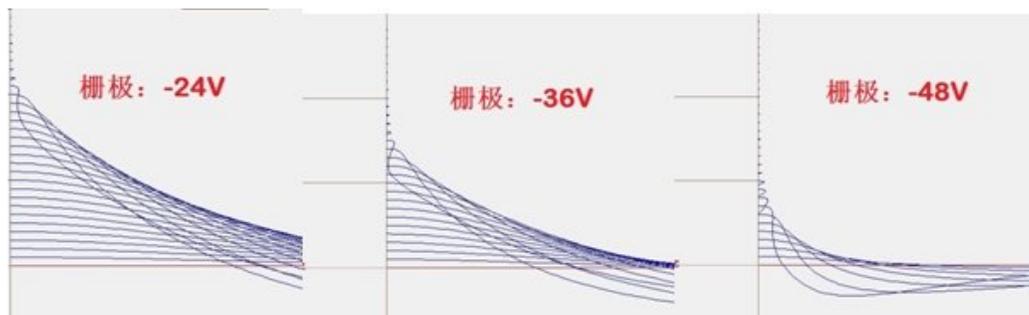
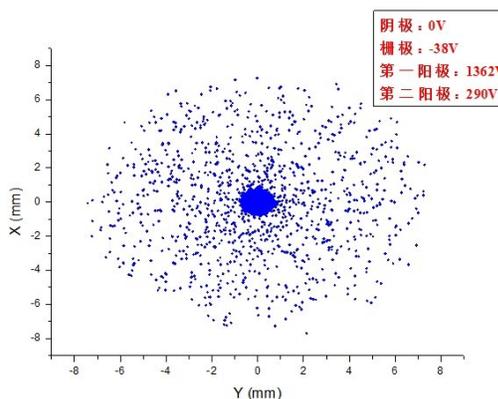


图 9 栅极电压对电子枪辉度的影响

由图 9 可以看到，当减小栅极电压时，阴极处的电子好像被“挤压”到中间，通过电子减少；另外，随着栅极电压减小，电子的阴极焦点向阴极移动，这样会使电子的发散角增大，通过光阑的电子减少。这样，最终的结果就是能到达荧光屏上的电子减少，辉度减小。这与实验中观察到的情况是一致的。

### 4.4 荧光屏上电子的分布

使电子的位置分布在半径为 0.5mm（略大于刚好能通过的初始离轴距离）的圆形范围内，电子的初始发射角度为随机分布。发射 10000 个电子，记录其在焦平面处的位置，得到图 10。



由图 10，在荧光屏靠近中心的部分，电子分布密集，而在周围电子分布稀疏。因此很容易联想到这些密集的电子构成了实际观察到的斑点，稀疏的电子构成了“光晕”。

图 10 模拟得到的荧光屏上电子分布

但是图 10 所对应光晕以及斑点的直径与实际观察到的图像有一定差异，而且考虑到在建立电子枪模型的时候没有完全对应实际结构，因此这种解释还有待进一步核实。

## 5 结论

本文利用 SIMION 8 模拟的方法，考察了各电极电压对电子枪聚焦的影响。第二阳极对聚焦的作用是粗调，第一阳极则是细调，增大栅极电压能增加辉度，这些实验现象都在软件模拟中被验证。下一步，希望能够研究不同电极结构对聚焦的影响。

### 参考文献

- [1] SIMION 8 说明书。
- [2] 华中一、顾昌鑫：《电子光学》，复旦大学出版社，1993 年 7 月。
- [3] 复旦物理实验中心网站关于电子光学实验  
[http://phylab.fudan.edu.cn/doku.php?id=exp:electron\\_optics:start](http://phylab.fudan.edu.cn/doku.php?id=exp:electron_optics:start)

---

# Research on the Properties of Focus in the Electron Gun

**ZHANG Ye-qing**

(Dept. of Optic Science & Engineering, Fudan Univ., Shanghai 200433, China)

Abstract: The article introduces a method for researching the properties of focus in the electron gun. We use SIMION software to analyze the principles of its focus through the stimulations of electrons trajectories. By changing the parameters, we study how the electrode voltage affects focus and also its causes.

Key Words: electro-optical; electron gun; focus properties; SIMION