

# 利用 SIMION 软件对 8SJ31J 型电子枪聚焦性质的探究

胡李鹏 06300190059

(复旦大学物理系, 上海 200433)

## 摘要:

利用 SIMION 软件对 8SJ31J 型电子枪的成像过程进行了模拟, 讨论分析了电子枪的第一阳极和第二阳极电压对电子枪成像的影响。

**关键词:** 电子光学 SIMION 软件 电子枪聚焦

## 1. 引言

**电子枪** 指的是用来产生具有一定电流密度、一定形状电子束的电子光学系统。电子枪包括阴极 K、加热阴极用的热丝 H、调制极 M(又称为控制栅极)、第一阳极 A1(又称为加速极)、第二阳极 A2(又称为聚焦极)【1】。灯丝通电后加热阴极 K, 使阴极 K 发射电子。控制栅极 G 的电位比阴极低, 对阴极发出的电子起排斥作用, 只有初速度较大的电子才能穿过栅极的小孔并射向荧光屏, 而初速度较小的电子则被电场排斥回阴极。阳极电位比阴极电位高很多, 对电子起加速作用, 使电子获得足够的能量射向荧光屏, 从而激发荧光屏上的荧光物质发光。通过调节栅极 M 的电位可以控制射向荧光屏的电子流密度, 从而改变荧光屏上的光斑亮度。通过改变第一阳极 A1 和第二阳极 A2 的电压, 可以调节电子束聚焦的位置, 从而使电子束聚焦在荧光屏上。

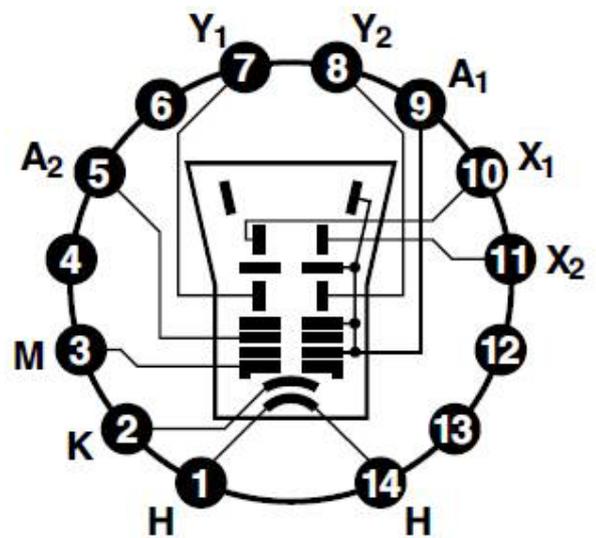


图 1 8SJ31J 型电子枪

SIMION 静电透镜分析模拟软件, 利用有限差分方法, 在给定电极电压及带电粒子初始条件的情况下, 能够计算静电场的分布及场中带电粒子的运动轨迹。在精度 1 mm<sup>3</sup> 下 SIMION 最大可以模拟 8 km<sup>3</sup> 的体积。

本实验, 通过实际测量 8SJ31J 型电子枪的电极参数, 利用 SIMION 模拟电子在电子枪中的运动以及第一阳极和第二阳极电压对电子束聚焦的影响。

## 2. 实验原理

如图 2 所示, 加速电场穿过栅极的圆孔到达阴极的表面, 使阴极表面不同点发出的电子, 向阳极方向运动是, 在栅极小圆孔后方汇聚, 形成一个电子射线的交叉点 F1(第一聚焦点)。有第一阳极和第二阳极组成的电聚焦系统把 F1 成像在荧光屏上, 得到直径足够小的光点 F2(第二聚焦阳极)。【2】

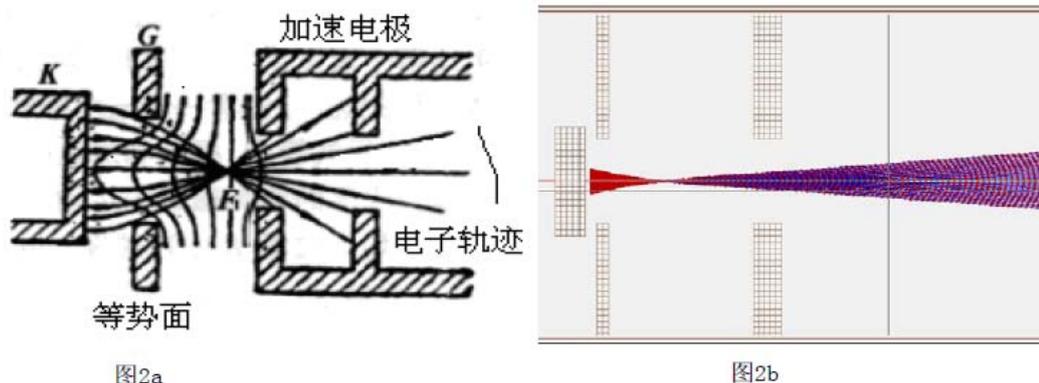


图 2a 为交叉点 F1 理论图形，图 2b 为模拟所得到的图形

8SJ31J 型电子枪中的加速极 M，第一阳极 A1 以及第二阳极 A2 组成的静电透镜系统，两边为发散透镜，中间为会聚透镜。由于第一阳极系统很长，电子在其中运动的时间很长，所以静电透镜系统最终使交叉点 F1 聚焦在荧光屏上。

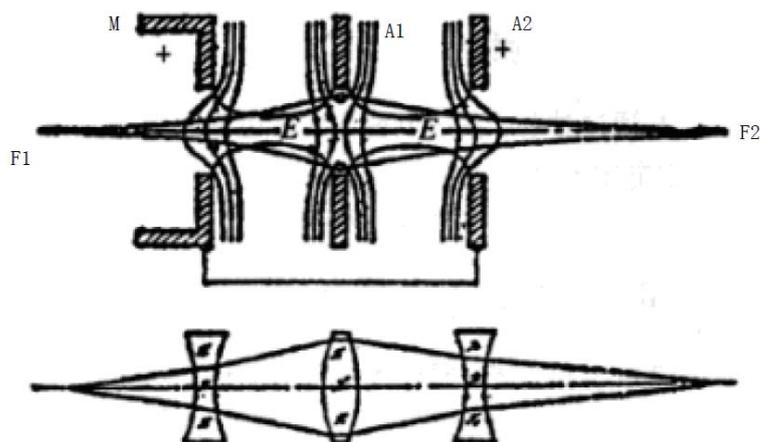


图 3 电子透镜的聚焦过程

### 3. 实验

#### 3.1 测量电子枪各电极的尺寸及工作时的电压

实验中我们采用的是 ST—16 型示波器，其中的电子枪正是 8SJ31J 型。将一个新的电子枪拆开，用游标卡尺和螺旋测微器测量各个电极的尺寸以及相互之间的距离，以这些参数在 SIMION 中构建所需要的系统。

测量后得到各电极的变化范围为：

	阴极 K/v	栅极 M/v	第一阳极 A1/v	第二阳极 A2/v
电压范围	-1316~-1248	--1312~-1287	0~255	-1512~-833

## 3.2 在 SIMION 中模拟

### 3.2.1 各电极的建立

因为 SIMION 中最小的精度值为 1mm，而电极的厚度和电极上圆孔的直径都小于 1mm，所以需要将测得的电极尺寸均放大 10 倍。建立一个 3000mm\*700mm 的关于 x 轴旋转对称系统，画出各个电极，由于偏转电极对本实验没有影响，所以省略。直接在界面中画出各个电极，操作很麻烦，也很容易出错，一般建议编写 gem 格式的文件，不仅简单方便而且便于以后修改。

### 3.2.2 电子初始条件的选择

电子枪发射电子是一个热电子发射过程，电子的初始方向随机的，电流大小满足理查森公式。由于电子的初始动能约为 0.1eV，远远小于加速过程中所获得的能量，基本上可以忽略不计，实验中，电子的初始动能取为 0.1eV，方向为平行 x 轴。栅极上的圆孔的半径约为 0.6mm，放大后为 6mm，实验中电子分布的长度取为 1mm。

## 3.3 结果及讨论

### 3.3.1 电子在场中的运动轨迹

阴极电压  $V_1=-1320\text{v}$ ，栅极电压  $V_2=-1312\text{v}$ ，第一阳极电压  $V_3=10\text{v}$ ，第二阳极电压  $V_4=-1020\text{v}\sim-1500\text{v}$ ，每 80v 取一次，记录最外层电子的轨迹，如下图所示

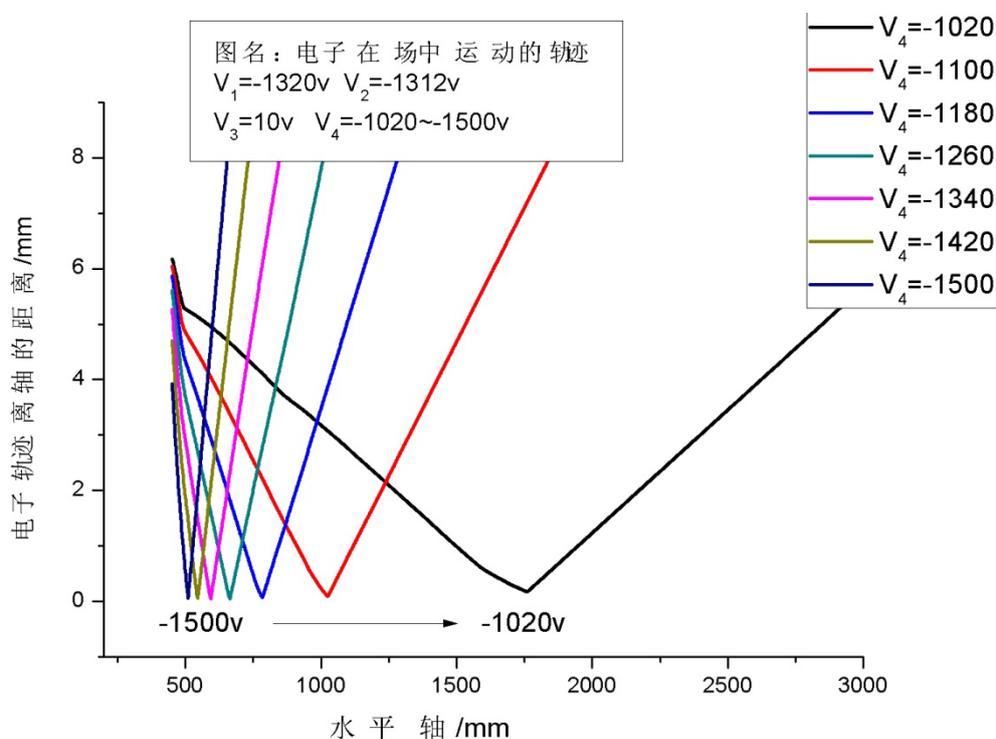


图 4 电子在场中的运动轨迹

从图 4 中可以看到，电子在运动的过程中，都会有一个会聚的过程，并且随着第二阳极电压  $V_4$  的增大，会聚点逐渐后移，从而可以通过改变第二阳极的电压来调节电子束的聚焦过程。由于第二阳极组成的是一个发散透镜，第二阳极的电压值越大，它与第一阳极的电势差就越小，发散就越小，但是由于会聚透镜仍然起着主要的作用，所以仍然能够达到聚焦，只是聚焦的位置向远处移动。从示波器上也可以看到，聚焦旋钮就是连接着第二阳极，示波器就是通过调节第二阳极的电压来达到聚焦的效果。

### 3.3.2 第一阳极和第二阳极电压对焦距的影响

阴极电压  $V_1=-1320\text{v}$ ，栅极电压  $V_2=-1312\text{v}$ ，第一阳极电压  $V_3=100\sim 900\text{v}$ ，第二阳极电压  $V_4=-960\text{v}\sim -1520\text{v}$ ，每  $20\text{v}$  取一次，记录每组电压下电子束会聚的位置，可得下图四：

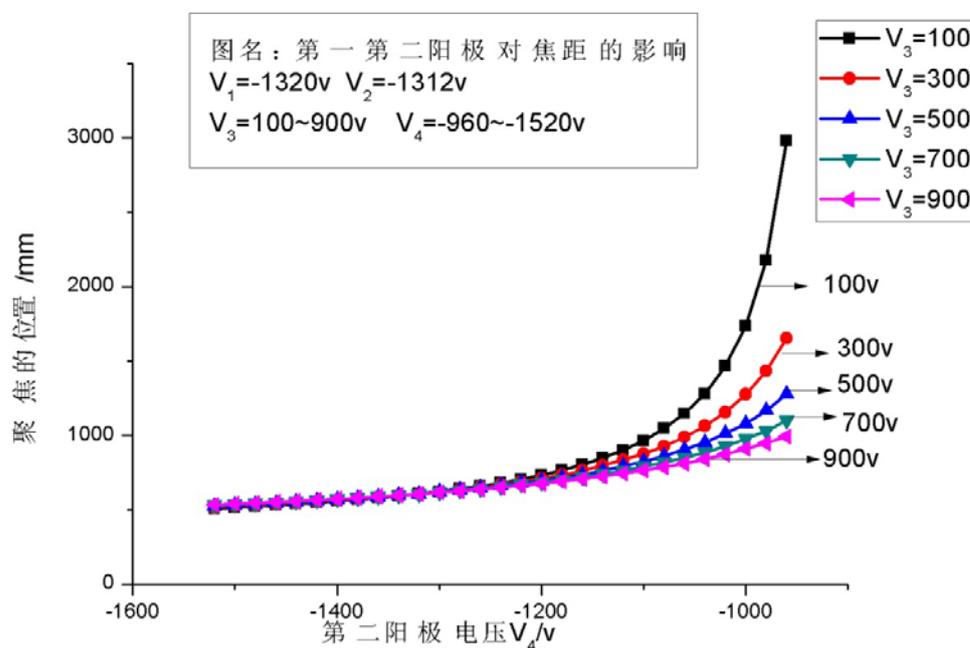


图 5 第一阳极和第二阳极电压对聚焦的影响

从图 5 中可以看到，第一阳极电压不变时，第二阳极电压增大，电子束聚焦的位置向后移动，并且第二阳极电压越大，聚焦位置变化得就越快。当第二阳极固定不变时，增大第一阳极的电压，电子束聚焦的位置前移，因此改变第一阳极电压也能够调节电子束的聚焦。第一阳极组成的是一个会聚透镜，第一阳极的电压增大，那么会聚的效果更强，电子束聚焦的位置前移。示波器的辅助聚焦旋钮连接着第一阳极。

虽然第一阳极和第二阳极都能够调节电子束的聚焦，但是当取合适的第一阳极电压时，如  $100\text{v}$ ，改变第二阳极电压能够获得更大的调焦范围。所以示波器中第二阳极为聚集旋钮，第一阳极只是作为辅助聚焦。

## 4. 结束语

通过对 8SJ31J 型电子枪的测量，利用 SIMION 模拟软件，解释了电子透镜的成像原理考察了电子透镜中第一阳极和第二阳极对于电子束聚焦的影响。下一步，我们希望利用已有的知识研究如何更好地消除像差，设计出一个聚焦效果更好的电子枪，并最终做出实物。

## 5. 致谢

感谢乐永康老师的指导，感谢合作者刘捷孟的帮助以及邱孟对于 SIMION 使用及编程方面的帮助！

## 6. 参考文献

- 【1】张丽等. 一种高性能电子枪的设计. 安徽工程科技学院学报.2005.20(3):68-71
- 【2】华中一 顾昌鑫《电子光学》复旦大学出版社 1993.7
- 【3】杜秉初 汪健如 编著《电子光学》清华大学出版社 2002.3
- 【4】SIMION manual