

电子光学模拟

近代物理实验A

蔡天骏&尤嘉阳

材料科学系

2022/12/22



復旦大學

FUDAN UNIVERSITY



- ① 绪论
- ② Simion电子光学模拟
- ③ Comsol Multiphysics电子光学模拟



- ① 绪论
- ② Simion电子光学模拟
- ③ Comsol Multiphysics电子光学模拟



实验目的

- 学习Simion和Comsol Multiphysics的使用
- 利用上述模拟软件探究电子光学



软件介绍

- Simion是一款静电透镜分析模拟软件，由爱达荷国家工程与环境实验室（INEEL）开发，能在给定透镜电压及粒子初始条件的情况下，计算静电场的分布及场中带电离子的运动轨迹。
- Comsol Multiphysics是一种专业的工程模拟软件，用于对多物理场进行建模、仿真和分析。它可用于解决各种工程和科学问题，包括电子和电信、生物医学工程、化学工程、土木工程、能源和环境等领域。

报告内容

- 利用Simion和Comsol Multiphysics建立图1中的电子枪模型的过程
- 对电子枪的电子聚焦过程和聚焦结果进行分析
- 介绍另一种电子枪模型——Pierce电子枪

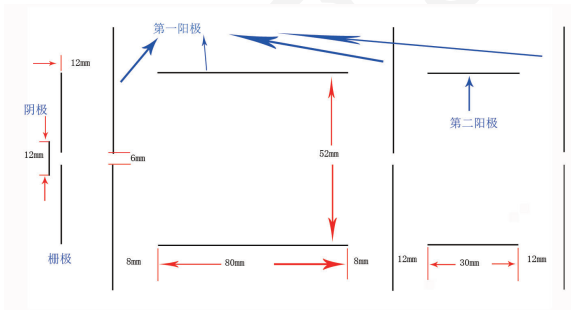


图 1: 电子枪模型

- ① 绪论
- ② Simion电子光学模拟
 - 操作过程
 - 模拟结果
- ③ Comsol Multiphysics电子光学模拟



- ① 绪论
- ② Simion电子光学模拟
 操作过程
 模拟结果
- ③ Comsol Multiphysics电子光学模拟



操作过程1

首先利用电子枪模型的轴对称性，在 "Modify" 界面选择轴对称模型并设置y轴镜面对称，将格点参数设置如图2所示

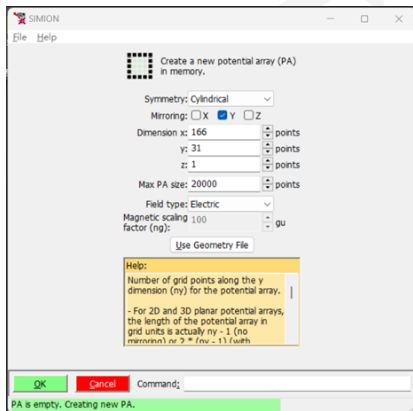


图 2: Modify 界面

操作过程2

然后进行建模。图3为建模界面。

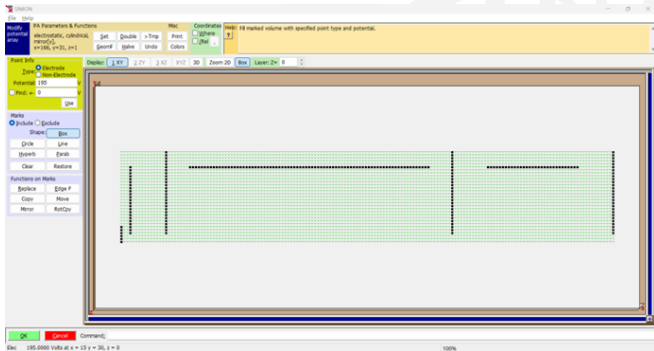


图 3: 建模界面

操作过程3

可以通过点击 "3D" 按钮检查其三维模型，图4为三维模型。

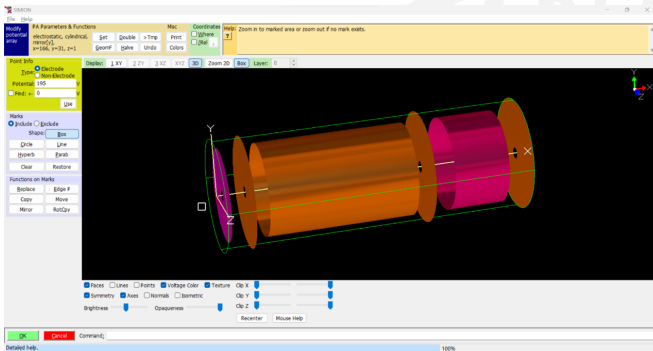


图 4: 三维模型

操作过程4

设置入射粒子为电子，共发射25个电子，以中心为0，半径1mm的圆柱体发射，初始动能100eV。图5为粒子设置界面。

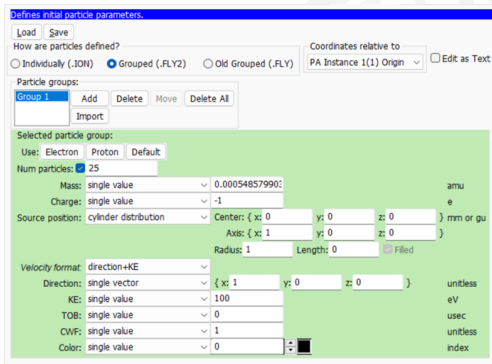


图 5: 粒子设置界面

- ① 绪论
- ② Simion电子光学模拟
 操作过程
 模拟结果
- ③ Comsol Multiphysics电子光学模拟



电子轨迹

聚焦 \implies 发散 \implies 聚焦

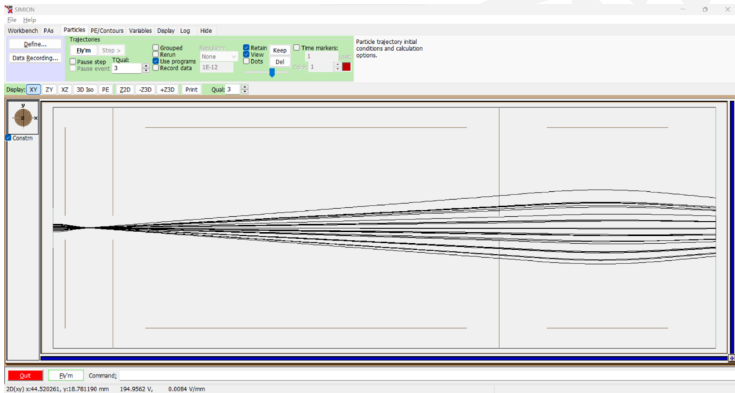


图 6: 电子轨迹

电子聚焦

将作图区延长至400，可看到第一阳极和第二阳极对电子聚焦的影响（如图7）：

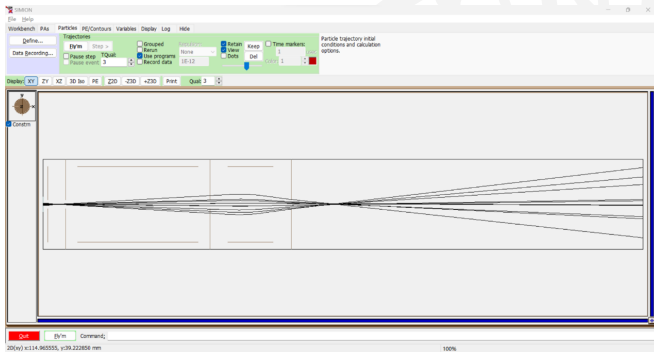


图 7: 电子聚焦

电子聚焦

第二阳极电压 $\uparrow \implies$ 焦距 \uparrow & 变化速度 \uparrow

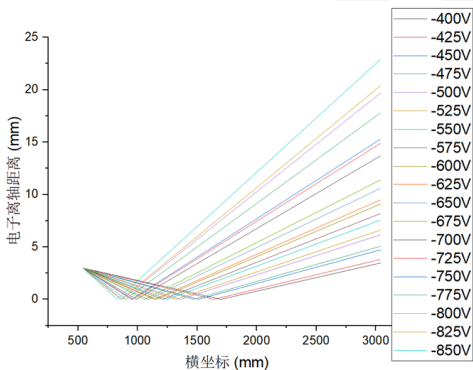


图 8: 电子离轴距离在不同第二阳极电压下与横坐标的关系

电子聚焦

第一阳极电压 $\uparrow \implies$ 焦距 \downarrow

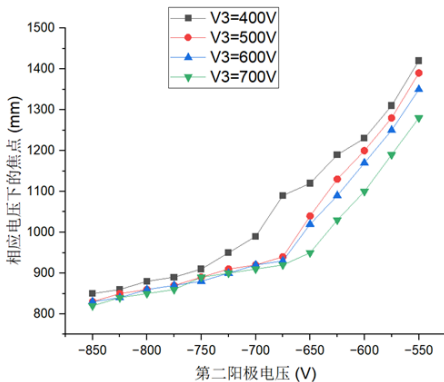


图 9: 不同的第一阳极电压下电子枪的焦距随第二阳极的电压变化

- ① 绪论
- ② Simion电子光学模拟
- ③ Comsol Multiphysics电子光学模拟
 - 操作过程
 - 模拟结果
 - Pierce电子枪的模拟

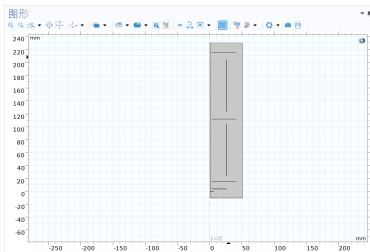


- ① 绪论
- ② Simion电子光学模拟
- ③ Comsol Multiphysics电子光学模拟
 - 操作过程
 - 模拟结果
 - Pierce电子枪的模拟

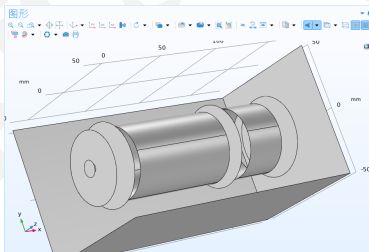


操作过程1

同样可以利用电子枪模型的轴对称性，直接选择二维轴对称模型进行建模（图10(a)）。也可以直接选择三维模型进行建模（图10(b)）。



(a) 二维轴对称模型



(b) 三维模型

图 10: 建模结果

操作过程2

对材料 (Perfect Vacuum) 和物理场 (静电和带电粒子追踪) 进行设置 (图11)。

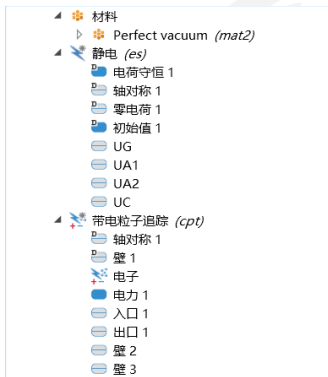


图 11: 物理场设置

操作过程3

对研究进行设置（图12(a)），其中瞬态的输出时步经过预实验后选定了以0.01ns为步长共10ns（图12(b)）。

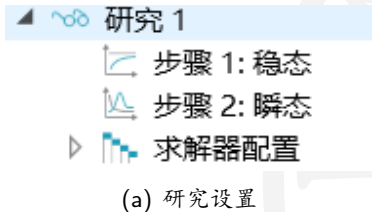


图 12: 研究设置

双向耦合粒子追踪




- ▲  所选物理场接口的预设研究
 - ▲  带电粒子追踪
 -  双向耦合粒子追踪

图 13: 双向耦合粒子追踪

- ① 绪论
- ② Simion电子光学模拟
- ③ Comsol Multiphysics电子光学模拟
 - 操作过程
 - 模拟结果
 - Pierce电子枪的模拟



电子轨迹

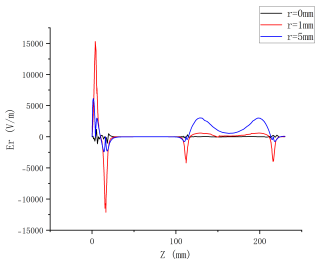
二维轴对称模型的电子轨迹

三维模型的电子轨迹

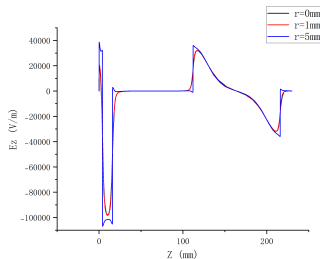


近轴电场分布

- E_r 导致：聚焦 \implies 发散 \implies 聚焦（图6）
- E_z 导致：加速 \implies 减速 \implies 加速（动画25）



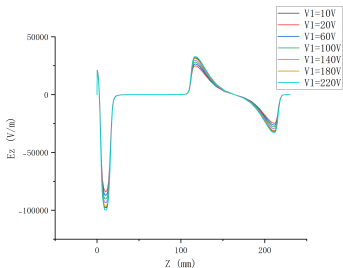
(a) 近轴r场分布



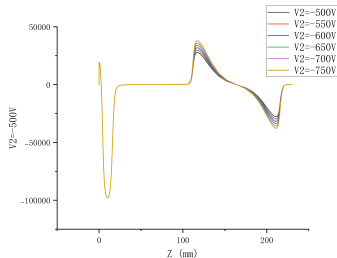
(b) 近轴z场分布

图 14: 近轴电场分布

z场随电势大小的响应



(a) z场对第一阳极电势的响应



(b) z场对第二阳极电势的响应

图 15: z场随电势大小的响应

- ① 绪论
- ② Simion电子光学模拟
- ③ Comsol Multiphysics电子光学模拟
 - 操作过程
 - 模拟结果
 - Pierce电子枪的模拟



Pierce电子枪

- $V = V_a \left(\frac{r}{d}\right)^{4/3} \cos \frac{4\theta}{3}$,
- $V = 0$ 的解为直线 $\frac{4\theta}{3} = \frac{\pi}{2}$,
- $V = V_a$ 的解为曲线 $r = d \left(\sec \frac{4\theta}{3}\right)^{3/4}$

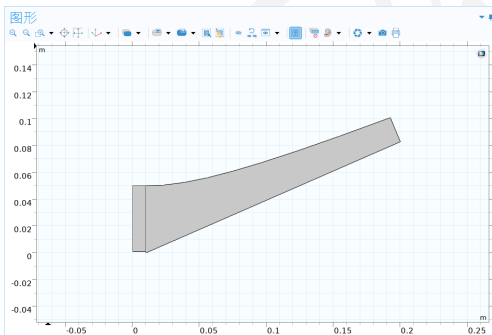


图 16: Pierce电子枪

$|x| < 0.01m$ 部分电场线与y轴平行

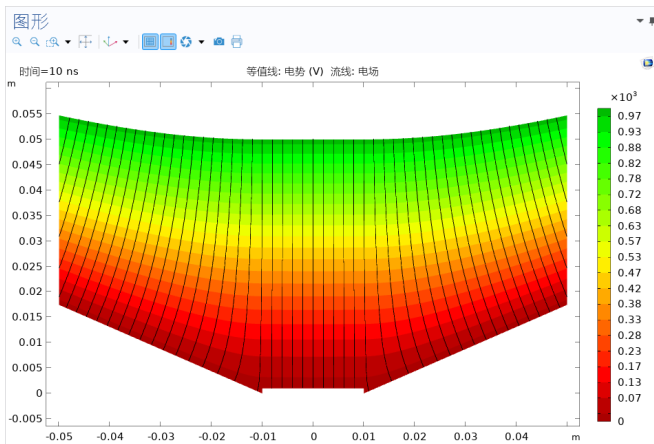


图 17: 电场分布

电子轨迹

电子运动为直线运动

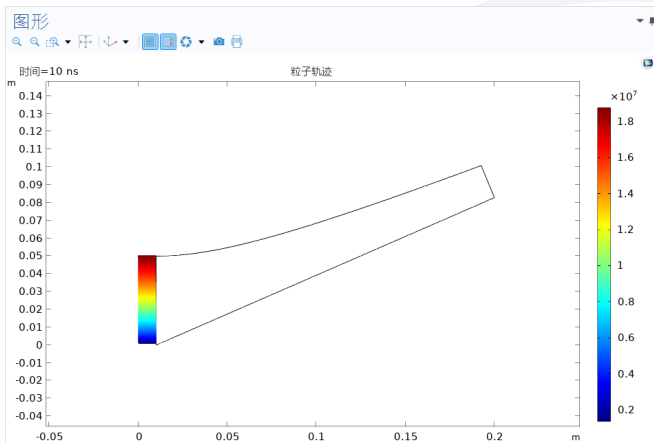


图 18: 电子轨迹

Thanks!

