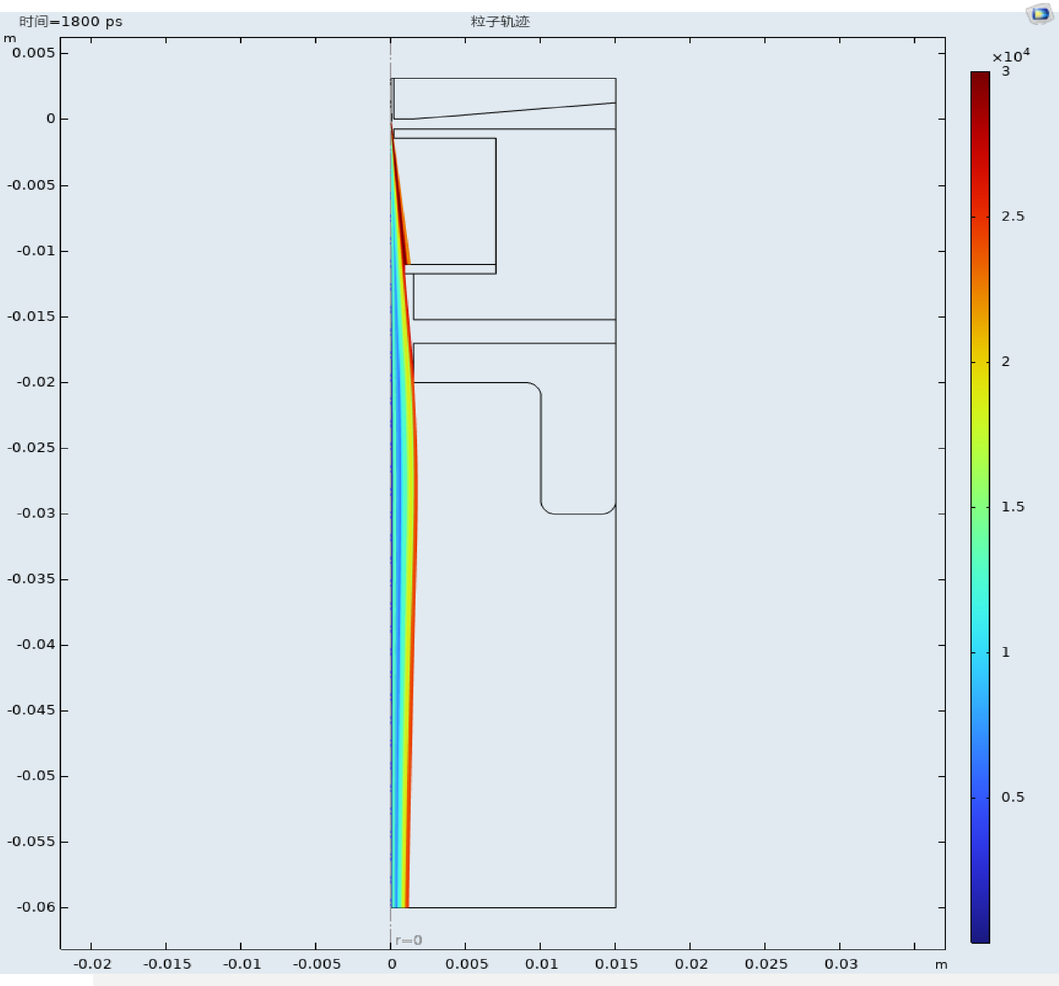


场发射电子枪发射仿真

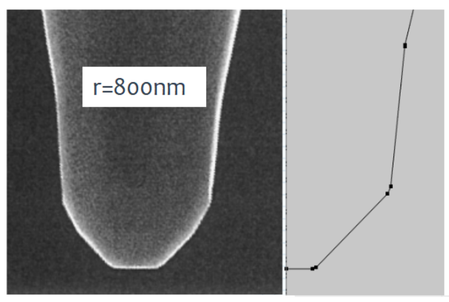
场发射电子枪是先进电子束设备中的主流电子束源，其在1800K的工作温度下通过数kV的提取电压与数百nm针尖共同形成的提取电场（~10^9V/m）促进电子自针尖发射，而后电子在提取、聚焦、加速极的电场下加速聚焦形成可供使用的聚焦束。

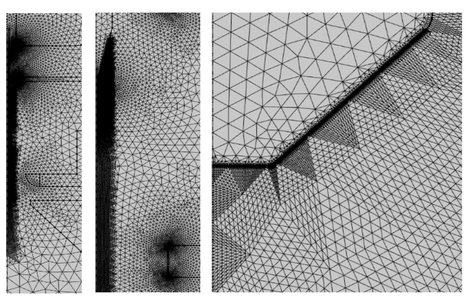
韩康知，宋学锋

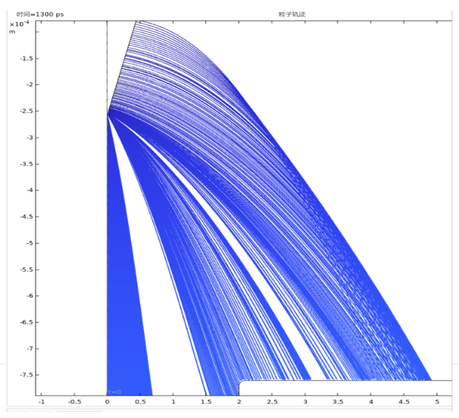
深圳国际量子研究院，深圳，广东，中国

摘要

场发射电子枪是先进电子束设备中的主流电子束源，其在1800K的工作温度下通过数kV的提取电压与数百nm 针尖共同形成的提取电场（~10^9V/m）促进电子自针尖发射，而后电子在提取、聚焦、加速极的电场下加速聚焦形成可供使用的聚焦束。本研究在COMSOL中对该过程进行了仿真模拟，通过AC-DC模块求解静电场，使用线探针功能结合发射公式设置总发射束流和发射束流的分布，再使用粒子追踪功能对电子自阴极表面至阳极的路径进行求解，而后通过数据后处理获取电子束的束斑半径、发射角、束流分布、亮度等关键信息。







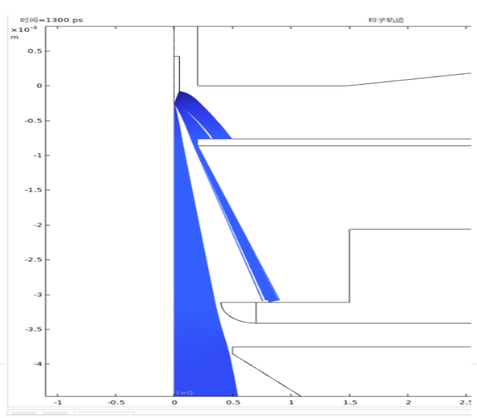


图1.场发射的几何、网格设置与发射束流的粒子轨迹。

方法

电子枪的各级结构通常都为旋转对称结构，为节省计算资源，我们采取了二位轴对称模型。几何模型上采取50kV电子枪的已有商业化结构模型。网格设置时初始采用依赖于物理模型的"较细"档位，在轴线、电极、针尖等区域分别细化，需要注意的是最终网格尺寸需小于对应区域特征长度的1/10。各级电势可按需设置，示例依据主流商用电子枪的电势设置。

场发射仿真的实现则采取以下思路：在针尖的各发射面分别设置面积分探针，依据场发射的肖特基公式将面上电场转化为场发射电流；在粒子追踪模块采用“ 入口”依据发射探针与发射函数设置总束流与粒子分布；最后进行电场下的粒子追踪即可仿真出发射束流，再通过全局计算以及数据导出计算可以获取束斑半径、发射角、束流分布与亮度。例如计算束斑半径可在全局计算中通过cpt.max(qr)函数获取；束流分布可通过输出最后时刻粒子位置信息再绘图后处理。

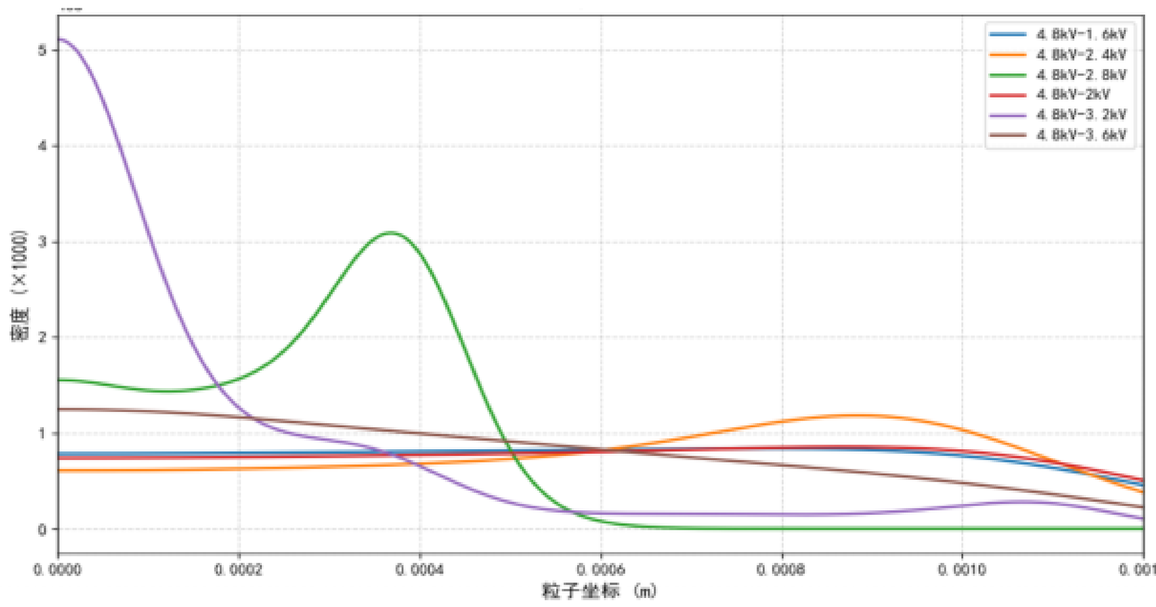


图2. 不同枪透镜电压下的阳极处束流分布曲线

结论

本模型可以对电子枪任意电极形状与电势参数下的电子束场发射情况进行仿真模拟，通过COMSOL内数据处理与导出后处理可以获得电子束的束斑半径、发射角、束流分布、亮度等关键信息。为电子枪的工程设计与工作参数选取提供重要参考。

参考文献

1. Orloff J. Handbook of charged particle optics [M]. CRC press, 2017.
2. Herrmannsfeldt W B, Becker R, Brodie I, et al. High-resolution simulation of field emission[J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 1990, 298(1-3): 39-44.