

附件 2：教学指导书

纳米晶体生长及形貌演变过程的微观观测 虚拟仿真实验

教学指导书

一、虚拟仿真实验的背景

大型科研仪器扫描电子显微镜价格昂贵，占地大，维护成本高，同时实验所选用的石墨晶体是在高温和易燃气体环境下生长的，现实实验危险性极高。且扫描电子显微镜由于操作流程复杂，不能对普通本科生开放使用。大型科研仪器在本科生教育教学中发挥的作用有待进一步探索。

本实验以扫描电子显微镜为载体，构建了纳米晶体生长及形貌演变过程的微观观测系列虚拟仿真实验，通过微观晶体生长的虚拟现实技术，将纳米晶体的成核、生长和大型科研仪器扫描电子显微镜有机的结合起来，呈现出一个直观立体的纳米晶体生长图像，以引导学生理解微观晶体生长的理论基础，培养学生的科学研究思维，锻炼学生操作大型仪器的能力。

本实验即可以作为大型仪器扫描电子显微镜的上机培训实验，又可以作为晶体生长的教学课程，同时，该实验也是最新的科学研究成果转化而来，实用性强。

二、实验目的

纳米晶体生长及形貌演变过程的微观观测虚拟仿真实验，聚焦大型科研仪器不能直接面向本科生教学的难点、痛点问题，采用虚拟仿真的教学形式，引导学生认识大型科研仪器，了解其工作原理，掌握大型科研仪器的调节使用基本操作流程，通过虚拟实验观察纳米晶体生长过程，掌握晶体大小、尺寸分布的实验方法，培养学生的科学研究思维。具体来说有两个目的：

1. 观察纳米晶体生长及形貌演变过程，掌握晶体的成核、生长过程原理；
2. 了解电子显微镜的工作原理，掌握扫描电子显微镜操作流程，掌握测量晶体大小、尺寸分布的实验方法。

三、实验要求

本虚拟仿真实验实现了对真实扫描电子显微镜的高度仿真，尽可能的还原了仪器、核心功能、实验原理的仿真。为更好的实现本虚拟仿真实验的效果，针对两个实验目的，具体实验过程中分为了达到更好的教学效果，实验分为教学版和考核版。

1. 在教学版模块，学生通过网上在线资源的学习，熟悉扫描电子显微镜的工作原理，通过教学版的学习，熟悉仪器旋钮功能，掌握电子显微镜的正规操作流程及实验数据测量、处理的基本方法。

在教学过程中，要强度大型科研仪器使用的基本规范，各个调节旋钮的使用顺序及方法，告诉学生，不规范的操作在实际仪器的使用中不仅会造成仪器的使用效果，有的还会导致严重的安全事故。强调在我们的虚拟仿真实验中，实验系统会针对操作者仪器的操作使用赋分，整个操作过程都是实验考核的一个重要内容，严谨规范的仪器使用习惯的培养是本虚拟仿真实验的重要设计目标。

以下是实验过程中应重点强调的实验操作截图。



图 1 真实扫描电镜仪器和对应仿真模型

如图 1 所示，从仪器上来说，本实验仿真的模型扫描电子显微镜模块是基本还原其造的。包含了扫描电子显微镜的主体仿真如电子枪、观察室、样品室以及操作面板和电脑。



图 2 真实扫描电镜操作盘和对应仿真模型

如图 2 所示，本实验仿真出了扫描电子显微镜的核心操作面板，每个旋钮都有对应的功能，如 Magnification 放大-缩小旋钮，Coarse 粗调旋钮，Fine 精调旋钮，平移旋钮等。

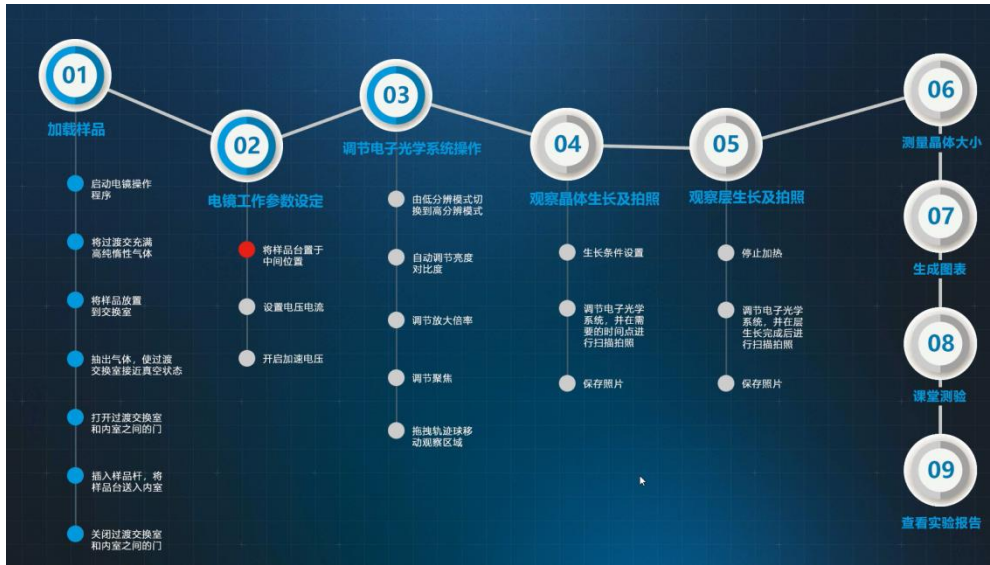


图 3 实验详细操作步骤

进入扫描电镜系统以后，开始进行电镜工作参数设定，流程较多，右下角有帮助按钮，提示所在步骤位置，总共可以分为 9 大步，如图 3 所示。



图 4 电镜工作参数设定

如图 4 所示，进入电镜工作界面后，要首先进行电镜工作参数的设定。在教学版实验操作步骤三中，强调各个功能旋钮使用调节顺序，特别是缓慢提高调节电压至 10kV，每次增加不要超过 2kV，保护灯丝模拟功能的实现，高度还原真实实验仪器的使用规定，此部分将在实际考核版中重点考核。



图 5 调节电子光学系统操作

又如图 5 所示，在教学版操作步骤四中，熟悉调节电子光学系统的操作。此步骤中要重点强调功能旋钮的使用，特别是高低分辨模式的切换，亮度、对比度的调节，电子显微镜的聚焦、扫描及图片存储等。这也是实验考核中的中点内容。

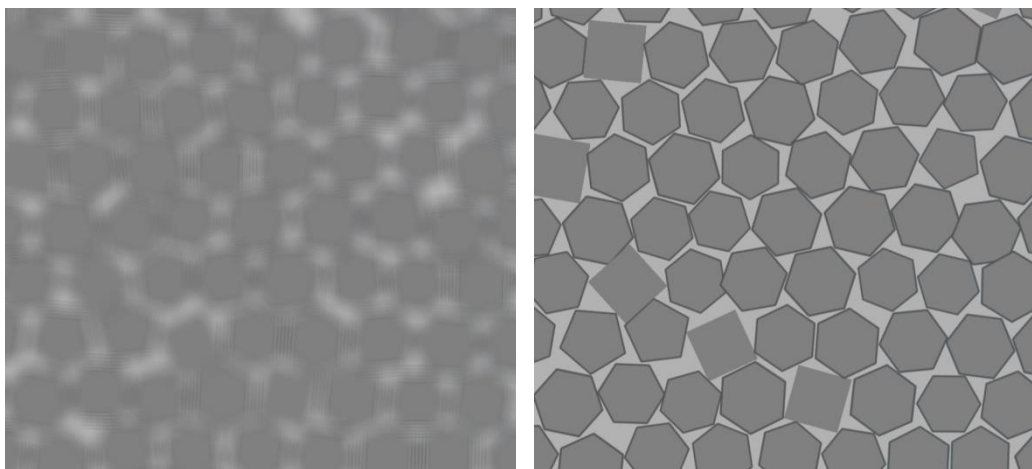


图 6 不同调焦操作下得到的不同扫描结果

在具体实验操作中有可能出现如下的实验现象，如图 6 所示，实际是进入实验操作环节后，调焦操作下，如果调焦效果没有调整到最佳，则会出现模糊的结果，如图 6 左图所示。而当调焦达到最佳效果时，可以得到清晰的图像，如 6 右图所示。因此，如果没有进行正确的操作，是无法进行粒径测量和生长观测的，这也是实验中核心交互的环节。因此，不同的实验条件和操作会产生不同的实验结果与结论。即使在调焦达到最佳效果时，在不同尺度下进行扫描同一个区域，得到的结果也是不一样的，如图 7 是同样的样品在不同尺度

下扫描的图片，显然放大的图形测量粒径也会误差较小。

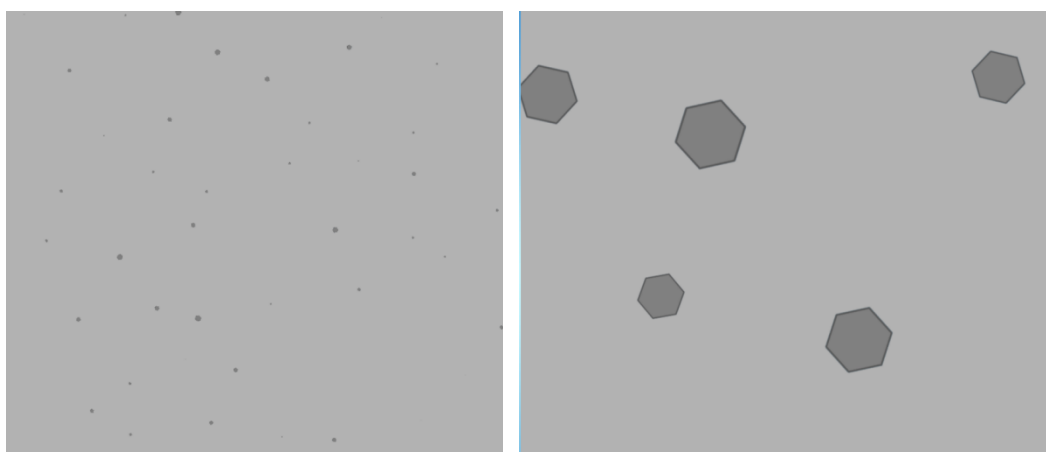


图 7 不同调焦操作下得到的不同扫描结果

2. 在考核模块中，其模块的基本操作及流程与教学模块相同，只是在考核版中去掉了操作提示，用于考查仪器的使用操作的掌握程度。在具体实验操作 12 个互动性步骤中，运用教学版学习获得的仪器使用知识及晶体生长观察方法，完成晶体生长规律的探究实验。由于相关要点在教育版中均以强调，再此不再赘述。

需要强调的是，由于考核版中，仿真仪器操作的要点及操作流程将不再提示，在学习过程中要牢记仪器的操作使用顺序，掌握仿真图片扫描、存储、处理的关键要点。学生需要在规定时间点测量晶体大小、尺寸分布，获得晶体生长与时间的对应关系。如图 8 为仿真图片，仿真程序真实反映了实际晶体生长过程及晶粒分布特征。左图为真实扫描图片，右图为仿真图片。我们捕捉了其随机取向，大小波动，局部不规则的特点进行了随机的虚拟仿真，保持了整体的生长规律。

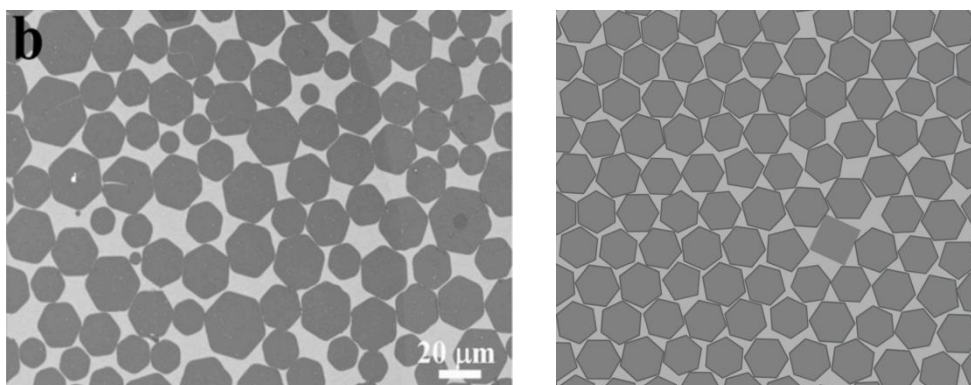


图 8 真实扫描图片和对应仿真图片

最后，学生需要在三个不同的温度下分别获得晶体生长的实验数据，通过实验系统处理数据，得到实验数据曲线，如图 9 所示，获得晶体生长与外界实验条件的关系。

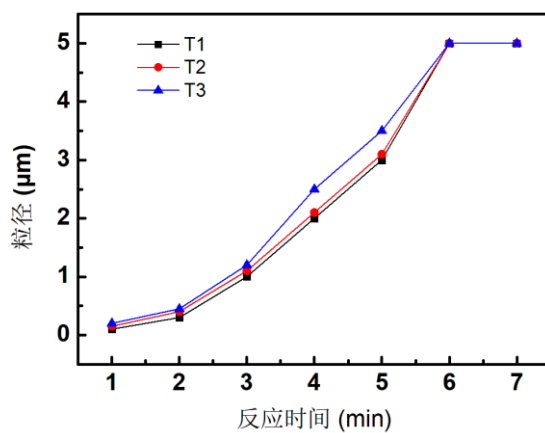


图 9 不同反应温度下生长速率统计图