

超高分辨场发射扫描电子显微镜
SU9000II

HITACHI
Inspire the Next

SU9000II

ULTRAHIGH-RESOLUTION SCANNING
ELECTRON MICROSCOPE



随着半导体器件的精细化和高集成化,纳米尺度的形态观察对于先进材料的研发必不可少。在此需求背景下,日立高新不断致力于研发亚纳米级分辨率的扫描电子显微镜(SEM)。

2011年发布的扫描电镜SU9000,以“提供持续、稳定和高通量的超高分辨观察”为理念,汇集了日立高新技术的核心竞争力,通过对高亮度电子枪和低像差透镜等基本性能进行优化改进,实现了0.4 nm的超高分辨率*¹(加速电压:30 kV)。

此次推出的SU9000II,即使在低电压下,也能达到0.7 nm的高分辨率(着陆电压:1.0 kV/选配)。此外,为了让仪器发挥出更优异的性能,稳定地进行数据采集,SU9000II配备了电子光学系统自动调整功能,并且可选配“EM Flow Creator”软件,实现自动及连续数据采集。

日立高新技术推出全新的内透镜扫描电镜“SU9000II”,助力新一代半导体器件和各种先进材料的研发与评价。

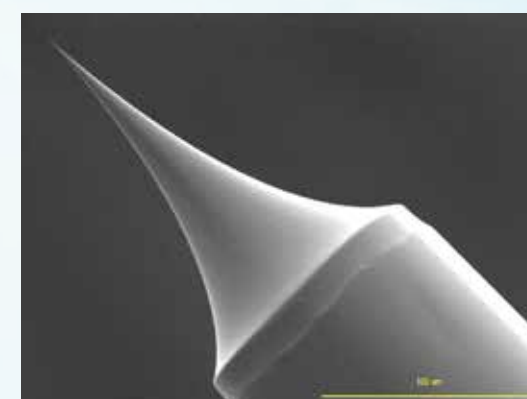


* 产品图中含选配件。*1:截至2023年5月

- 特点**
- 配备兼顾低能量分散,高亮度和探针电流稳定的冷场发射电子枪
 - 采用超高真空样品室,减少样品受到污染的影响
 - 特别设计的高强度框架和隔音罩,在多种安装环境下都有很好的性能

冷场发射电子源

自1972年具有优异的高分辨观察能力的冷场发射电子源商业化以来,日立高新便在不断追求技术创新。SU9000II采用新型电子枪,能够稳定地提供高亮度电子束。即使在低加速电压下也能够获得高信噪比的图像,还可用于长时间测试和大束流分析。

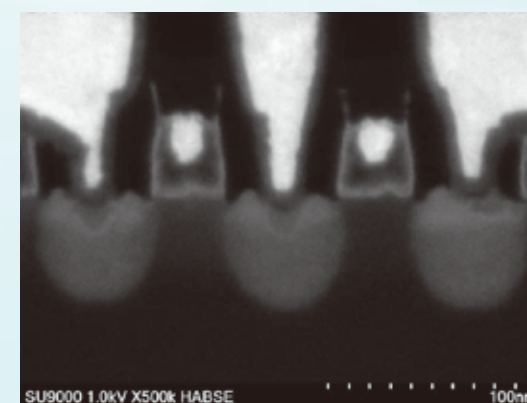


冷场发射灯丝针尖

SEM电子源的特性对比

	冷场发射电子源	热场发射电子源
电子源直径(nm)	5	20
能量分散(eV)	0.2~0.3	0.6~1.0
亮度(A/cm ² /sr)	10 ⁸	10 ⁷

低像差内透镜物镜



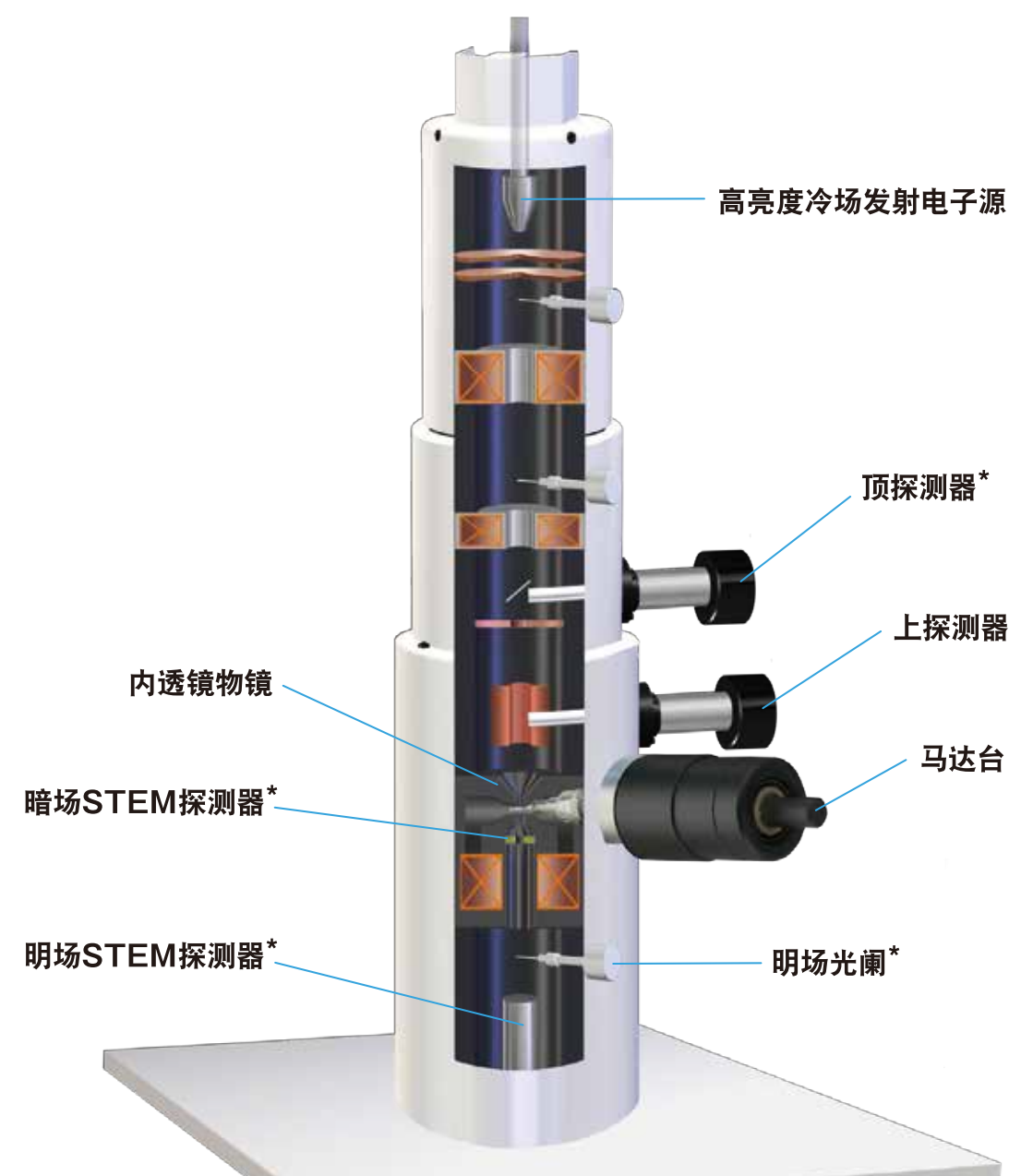
内透镜物镜的结构是通过缩短焦距,减少像差。通过减少像差提升分辨率,能够更稳定地观察数纳米以下的微细结构。

左图是PMOS晶体管断裂后,横截面经过离子研磨处理,得到的背散射电子图像。可以通过背散射电子信号清楚地看到器件横截面的组成信息,如e-SiGe的形状。

样品:PMOS晶体管
背散射电子图像
加速电压:1 kV
放大倍率:500 kX

- 配置能量分散小,高亮度的冷场发射电子源
- 采用有效减少像差的内透镜物镜
- 可检测二次电子信号/背散射电子信号/扫描透射电子信号

SU9000II:电子光学系统和检测系统 示意图

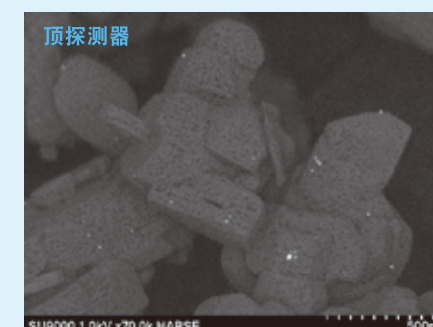


- 上探测器获取二次电子信号或低角度背散射电子信号。
- 顶探测器获取高角度背散射电子信号。搭配使用能量过滤器,可进一步提高成分衬度。
- 可加装BF/DF Duo-STEM探测器,可选择扫描透射电子的散射角。

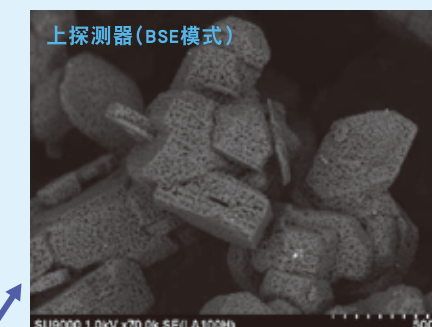
* 选配

获取块状样品的信息

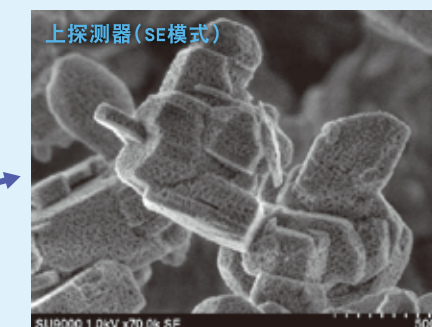
这是通过顶探测器和上探测器收集催化剂(金/氧化铝载体)电子信号的例子。
利用不同探测器收集到的电子信号,获得不同的信息。



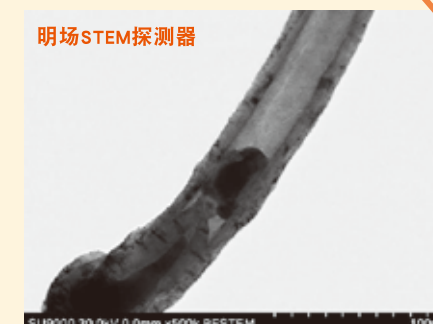
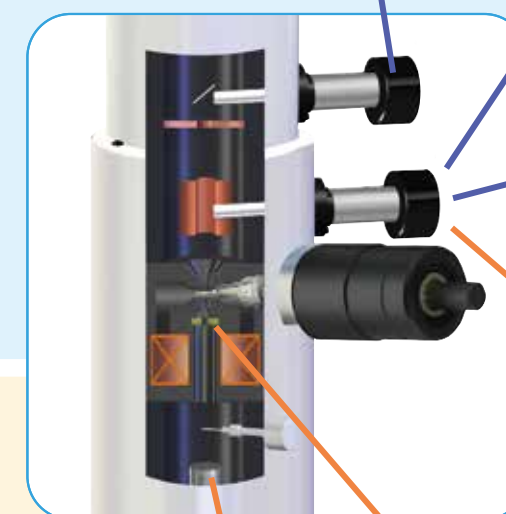
根据高角度背散射电子信号反映的成分信息,可确认金颗粒在表面的分布情况。



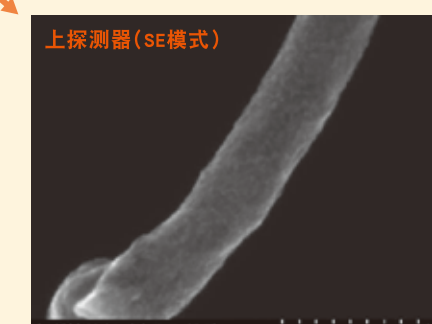
根据低角度背散射电子信号反映的成分和形貌信息,可确认载体的孔隙大小。



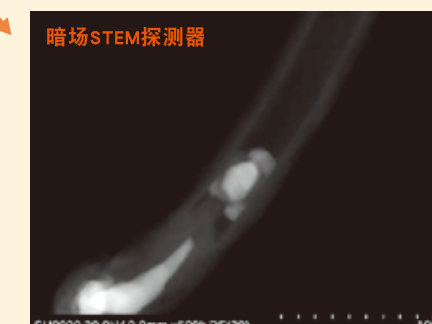
通过二次电子信号可确认表面的微观形貌。



通过检测明场扫描透射电子信号可确认内部的微观结构。



通过二次电子信号可确认纳米管表面的微观形貌。



通过检测高散射角的扫描透射电子信号,可确认CNT内部的金属催化剂分布状态。

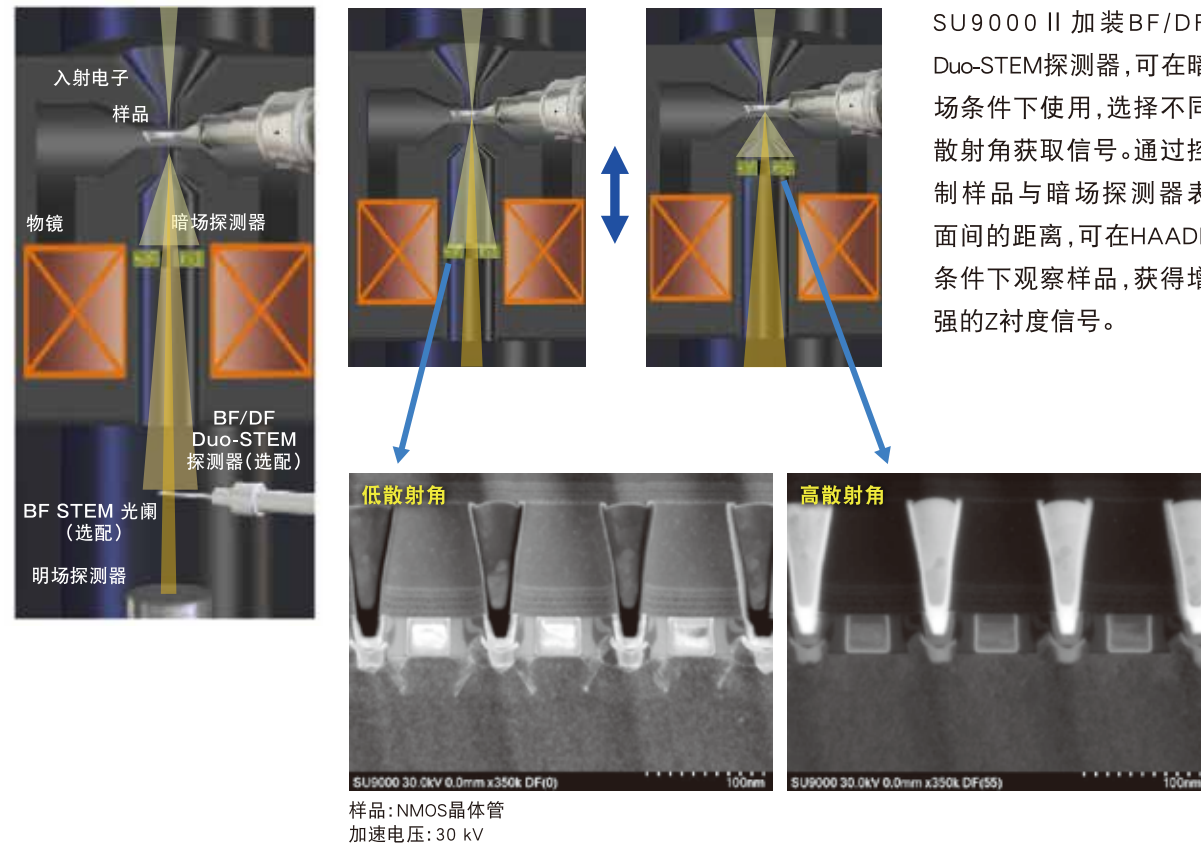
获取纳米材料/薄膜的信息

除表面信息外,还可以获得扫描透射电子信号信息。
多壁碳纳米管的二次电子/扫描透射电子
同时观察案例展示。

开创低电压STEM的新可能

选择不同散射角的暗场STEM图像

- BF/DF Duo-STEM探测器* -

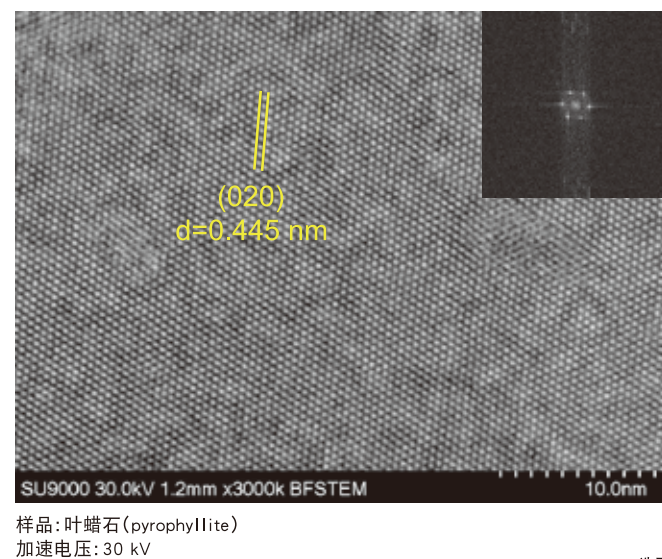


通过SEM/STEM进行晶格像观察

SU9000 II 配置的低像差内透镜物镜及适合STEM观察的电子光学系统结构,扩展了SEM/STEM的观察方法。

可通过控制照射电子束的会聚角,使透射电子在检测面上产生干涉条纹,观察STEM模式*的晶格像。

右图为叶蜡石(pyrophyllite)的明场STEM图像。观察到(020)的晶面间距为0.445 nm。



* 选配

使用SEM/STEM进行EELS分析

EELS探测器*

SU9000IIEELS探测器示意图

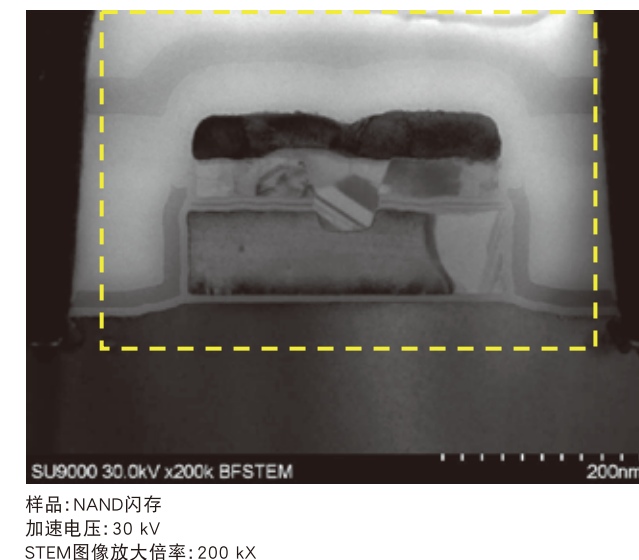


SU9000 II 可以在SEM/STEM模式下实现EELS分析(电子能量损失谱)。在观察薄片等样品时,电子束穿过样品到达镜筒下方的扇形分光器内,经过分光,获得电子能量损失谱和特定能量损失范围的图像以及元素分布图像。

检测单元由一个光谱探测器和一个含三个光电探测器的面分布探测器组成,利用面分布探测器的3-window法可获得元素分布图像。

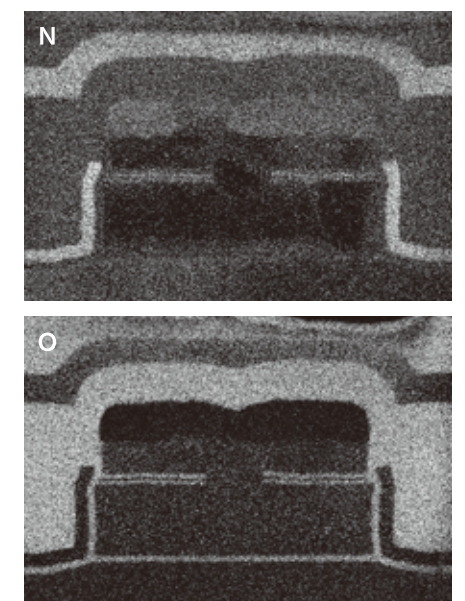
下图为NAND闪存的PMOS晶体管明场STEM图像(左),和对黄色虚线框内区域使用3-window法构建的N、O元素面分布图像(N:右上,O:右下)。

NAND闪存的明场STEM图像



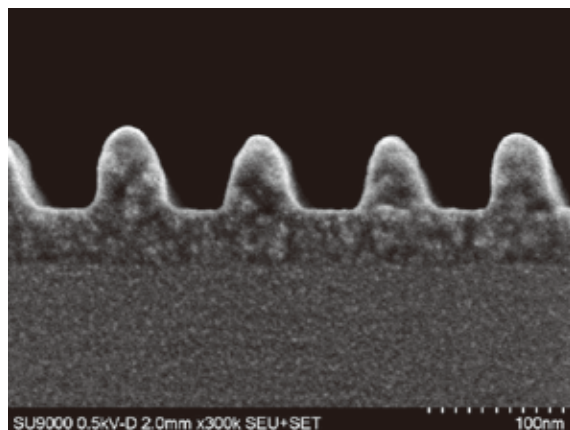
BF/DF Duo-STEM探测器与EELS不可同时安装。

EELS元素面分布图像



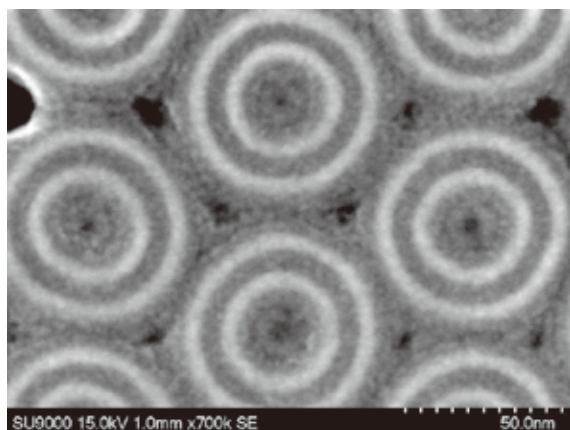
* 选配

光刻胶：形状观测

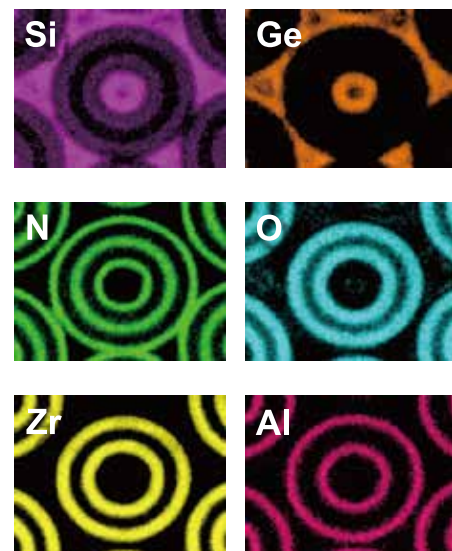
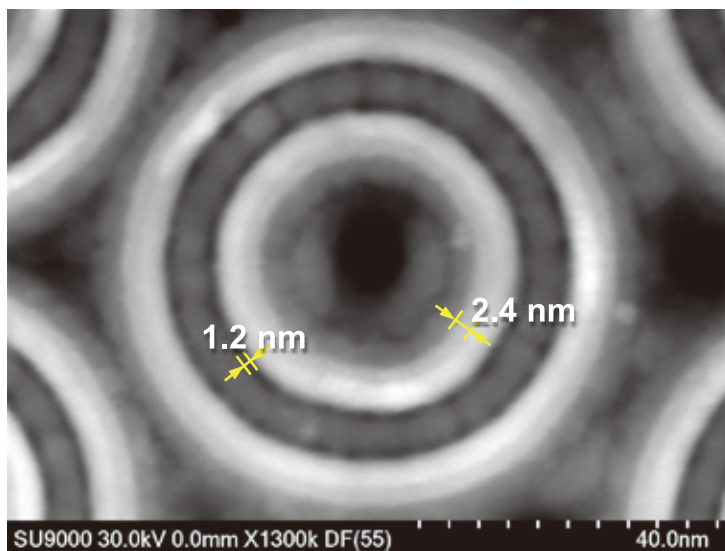


这是一个在低电压下观察光刻胶横截面的例子。在0.5 kV低着陆电压下，可以清楚地观察到光刻胶的横截面形状，而且可抑制样品电子束照射损伤。SU9000 II 可以使用对样品施加偏压的样品台，在减速条件下观察样品，提高低电压时的分辨率。（样品经Pt镀膜处理）

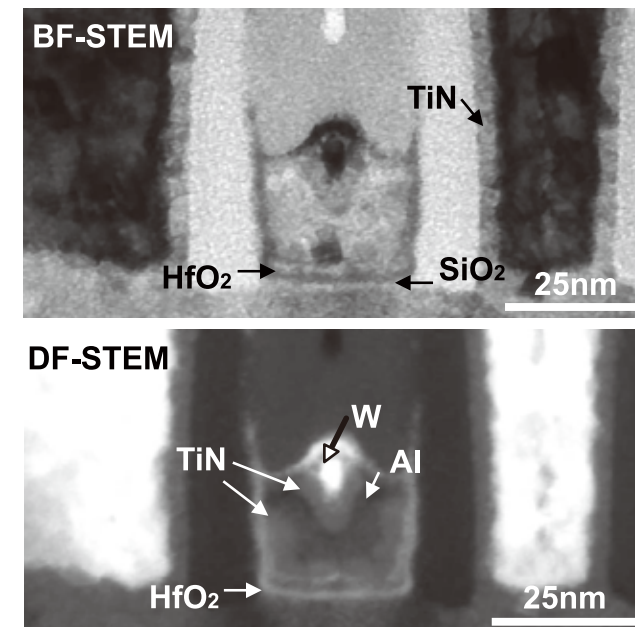
DRAM中的电容平面：形状观测与成分分析



这是一个观察DRAM电容部分的例子，观察区域通过离子研磨处理暴露出来。在左上的SEM二次电子图像中，可以看到圆形电容内部有同心圆形的多层结构，每层厚约6 nm。左下图将相同样品减薄后进行STEM观察，可清楚地观察到层厚约1 nm到数nm不等的多层结构。右下的EDS元素面分布图像，呈现宽度约1~6 nm的结构，可看到多层膜的每层是由SiGe、TiN、ZrO₂等组成。

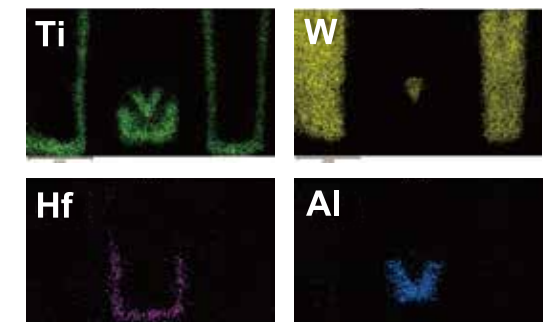


FinFET器件：形状观测和成分分析

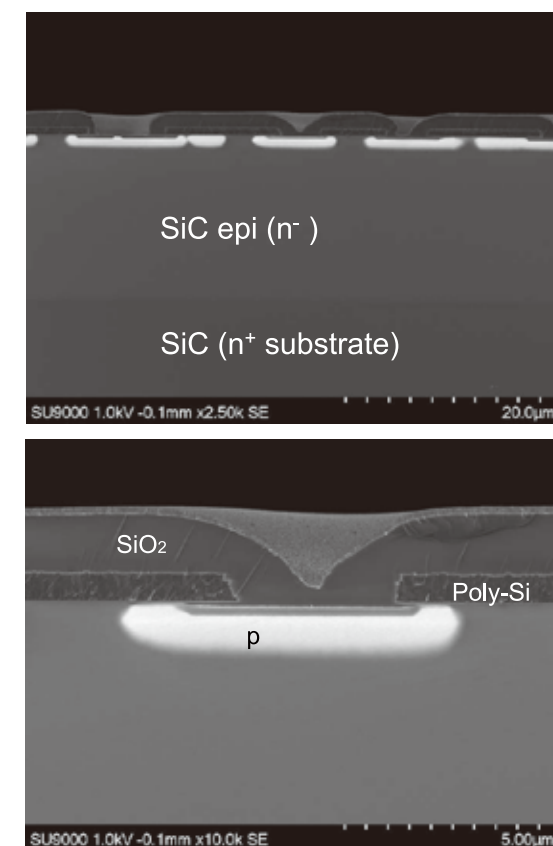


STEM图像放大倍率：1,200 kX
加速电压：30 kV

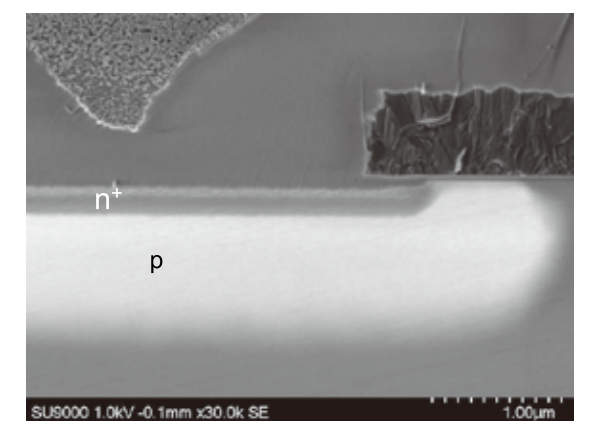
这是STEM进行FinFET器件形状观测，并使用EDS分析成分分布的例子。在BF-STEM图像（左上），可清晰观察到约1.5 nm的HfO₂、SiO₂以及约3 nm的TiN阻挡层金属。此外，在DF-STEM图像（左下），可以观察到金属栅周围轻金属之间的成分衬度，结合右侧EDS定量面分布结果，能够了解纳米级的微区元素分布情况。



SiC MOS FET：掺杂物分布观察



这是在1 kV的低电压下观察SiC的MOS FET裂片后截面掺杂物分布的例子。左上图，可以看到SiC基底和外延层的电位差衬度。左下图，可以看到p-n结处的p层掺杂物分布，并且衬度非常明显。右下图，进一步放大同一视野，可观察p层和SiO₂之间的n⁺层。

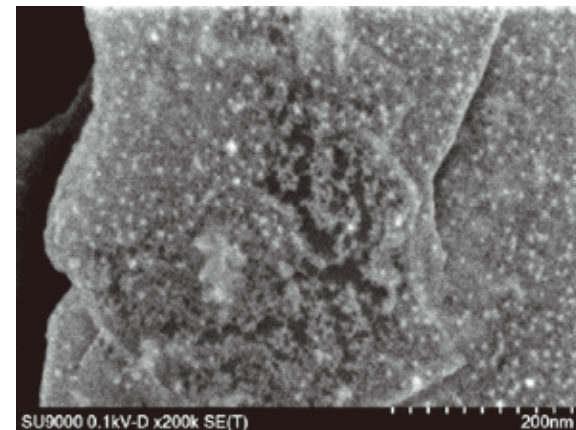
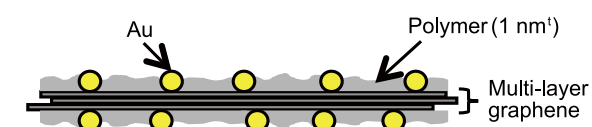


有聚合物包覆的石墨烯: 包覆状态观察

这是一个观察石墨烯的例子,其表面包覆有非常薄的聚合物,目的是作为载体在表面负载金纳米颗粒。聚合物的膜厚仅为1 nm,因此选择在0.1 kV的低着陆电压下观察。

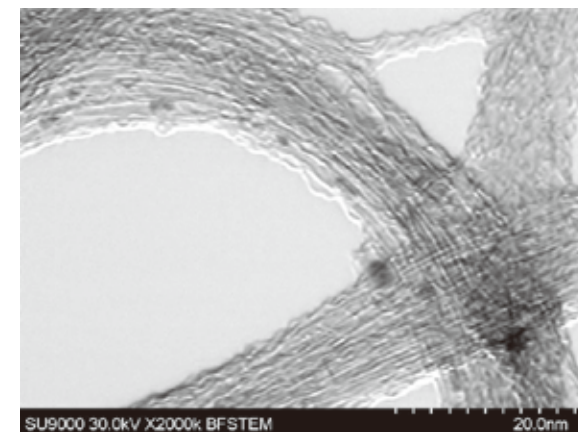
由于聚合物和石墨烯的二次电子发射效率不同,可观察到石墨烯暴露区域颜色较暗。

样品示意图



样品提供:九州大学研究生院 应用化学系 副教授 藤谷刚彦

单壁碳纳米管(SWCNT): 催化剂的位置观察

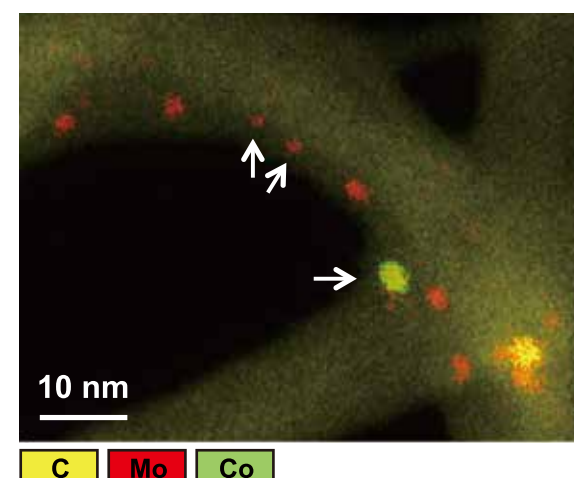
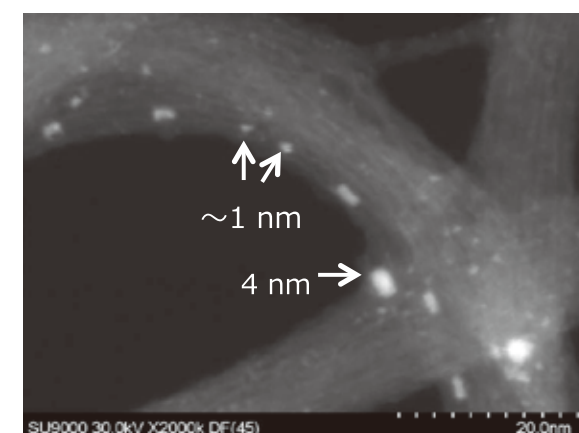


这是通过STEM观察与EDS分析SWCNT催化剂分布的例子。

在200万倍下对样品进行STEM观察,从暗场图像观察到1 nm~5 nm左右的催化剂残留。(左上:明场STEM图像、左下:暗场STEM图像)

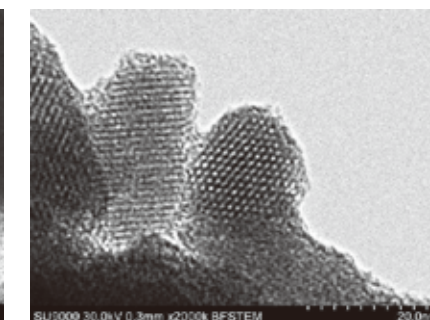
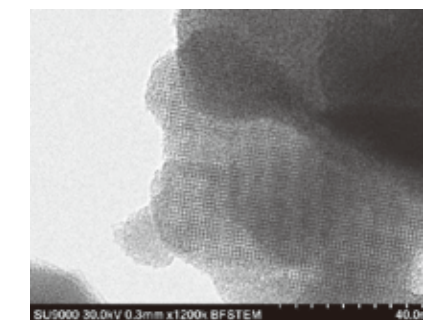
通过EDS分析证明存在约1~3 nm的Mo颗粒以及约4 nm的Co颗粒。(右下:EDS元素面分布图像)

SU9000II可以使用高倍图像观察时的WD进行EDS分析,实现0.7 sr的X射线接收立体角,从而实现纳米尺度颗粒的分析。



沸石的多维度表征

人工合成沸石的孔隙观察

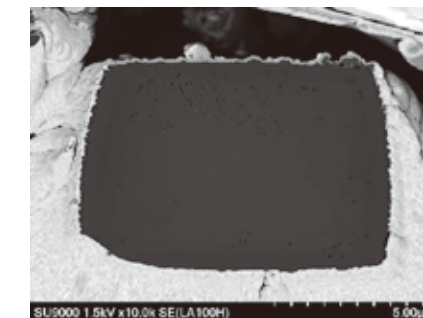


通过STEM观测人工合成沸石(ZSM-5)的孔隙。
左图:观察到的规则排列。
右图:孔径小于1 nm。

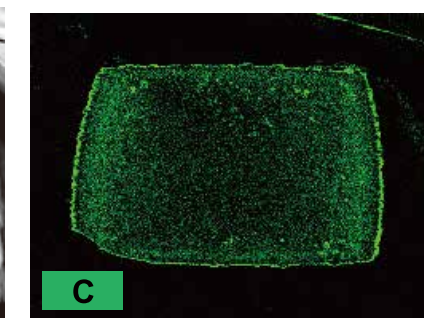
STEM图像放大倍率:
1,200 kX(左)、2,000 kX(右)
加速电压:30 kV

催化反应前后的焦炭分析

- 块状样品的横截面观察与成分分析 -
催化反应后的沸石截面



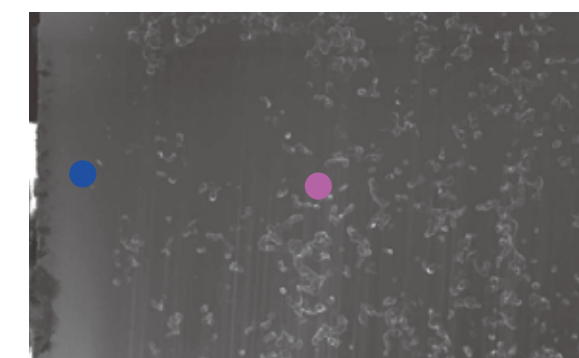
背散射电子图像



EDS/C面分布图像

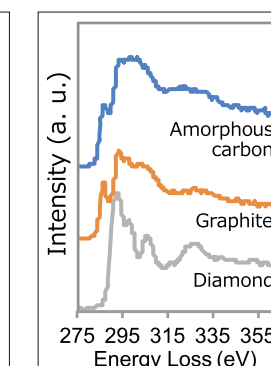
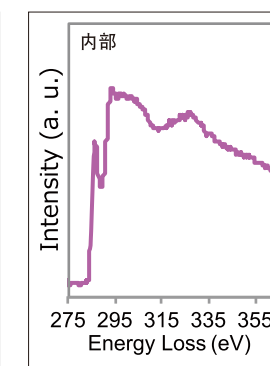
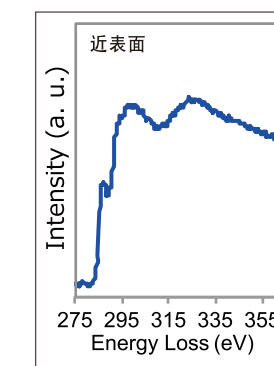
催化反应后的沸石截面EDS面分布图像显示,焦炭的主要成分-碳分布在表面及内部。

- 薄片样品的STEM观察及EELS分析 -



对样品进行减薄处理后,获得近表面及内部的电子能量损失谱,分别从近表面(●)获得无定形碳的K-edge谱图,从内部(●)获得石墨的K-edge谱图,此结果揭示了化学键合状态的变化。SU9000II支持从块状样品的元素分布到薄片样品的化学键合状态分析等多维度表征。

STEM图像放大倍率:35 kX
加速电压:30 kV



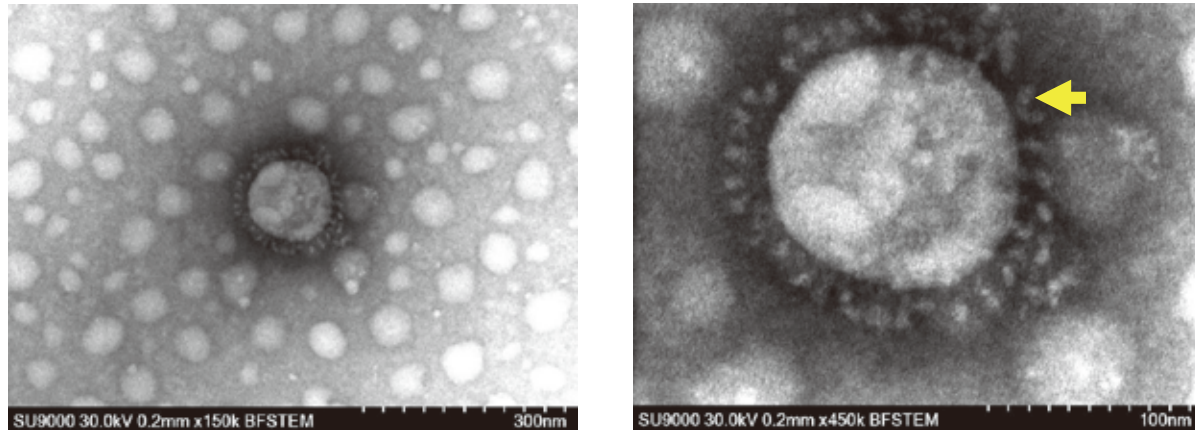
上图:减薄处理的沸石截面
BF-STEM图像

下图:近表面及内部获得的电子能量损失谱
(对应STEM图像中的相同颜色)。

参考:碳材料的EELS谱图

样品提供:东京工业大学 横井俊之 先生

新型冠状病毒观察案例



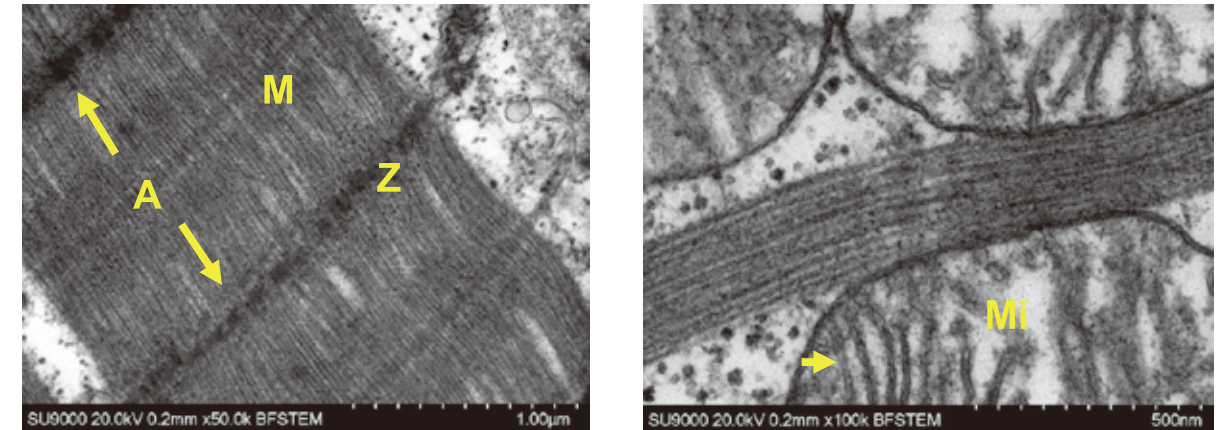
这是负染色的新型冠状病毒进行STEM观察的例子。

左图所示,病毒直径约为150 nm。

放大图(右图)可清晰观察到作为受体结合位点的刺突糖蛋白(箭头)的微观形貌。

STEM图像放大倍率:150 kX(左)、450 kX(右)
加速电压:30 kV

小鼠心肌细胞切片的观察案例



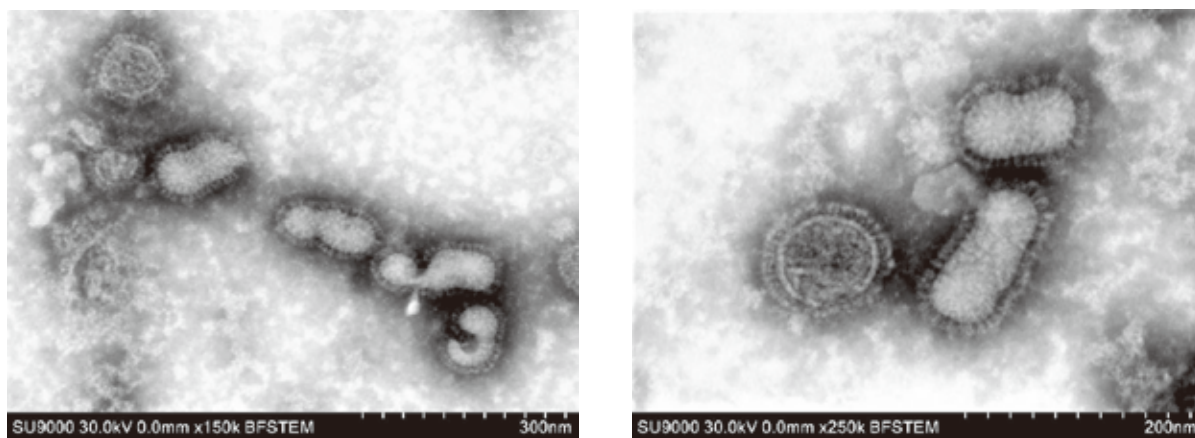
这是小鼠心肌组织切片STEM观察的例子。

左图中,心肌的肌层结构清晰,可以看到A区、M线和Z线。

右图中,分布在肌纤维束之间的线粒体(Mi)嵴(箭头)的双层结构也清晰可见。

STEM图像放大倍率:50 kX(左)、100 kX(右)
加速电压:20 kV

流感病毒的观察案例



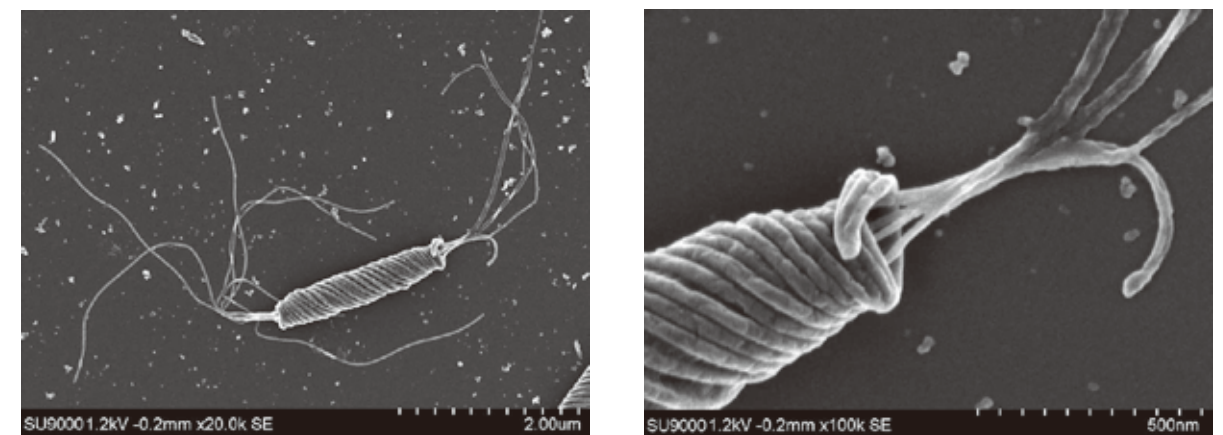
这是负染色的流感病毒进行STEM观察的例子。

表面的刺突结构清晰可见。

STEM图像放大倍率:150 kX(左)、250 kX(右)
加速电压:30 kV

样品提供: NBC Meshtec Inc.

细菌的观察案例



这是使用低电压观察胆型螺旋杆菌的例子。

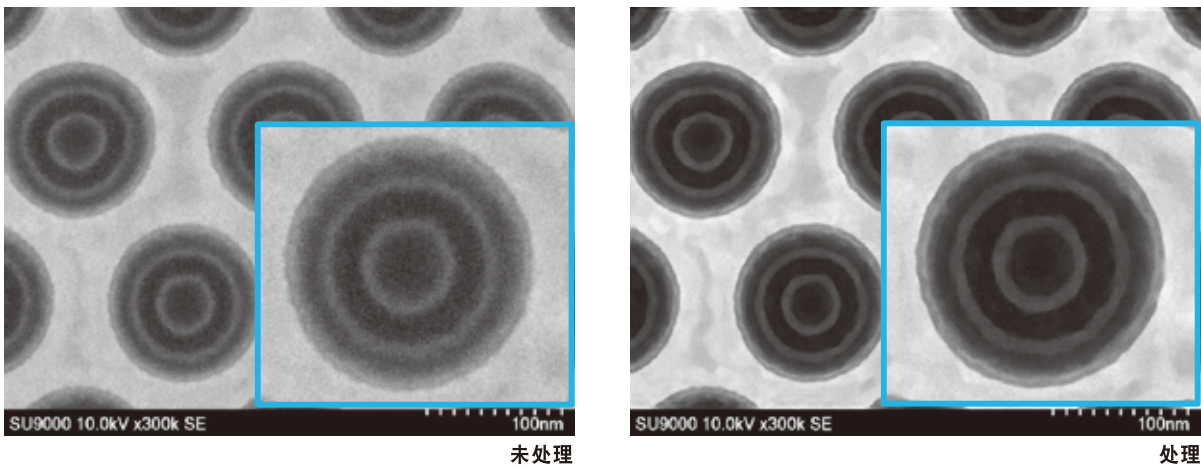
除细菌结构外,还可以看到鞭毛及其扭曲的姿态。

SEM图像放大倍率:20 kX(左)、100 kX(右)
加速电压:1.2 kV

样品提供: 爱知学院大学药理学系 河村好章 教授

提高图像质量

实时图像处理功能*



该功能可在观察过程中对图像进行各种实时处理,如降噪。
可以根据观察需求,获得特定要求的实时图像,如上图所示增强界面边缘的图像等。
图像处理功能同时适用于实时图像和拍摄图像。

* 选配

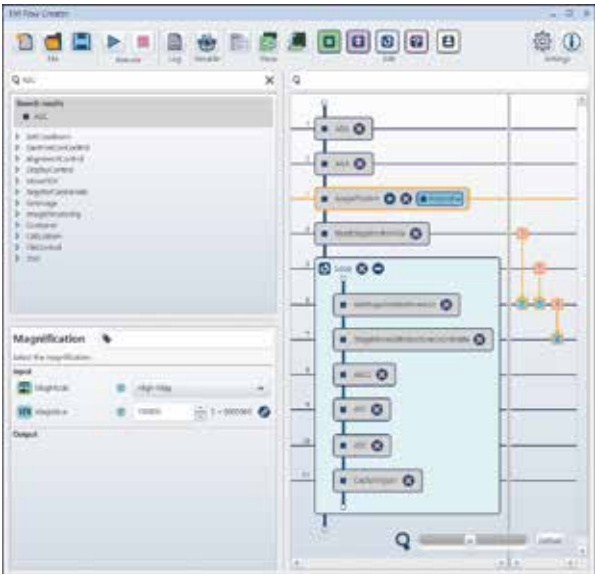
支持自动化数据采集

电子光学系统自动调整功能

使用SEM时,需要根据样品与测试需求设置各种参数。
SU9000II配备自动电子光学调整功能,可减少手动调整操作的工作量。
除传统的自动聚焦、自动像散校正、自动亮度/对比度调整外,还可自动执行电子束对中、光阑对中、像散对中,
减少手动调整电子光学系统操作的工作量。

EM Flow Creator*

EM Flow Creator可实现连续图像采集等自动化操作。
SEM的功能如放大倍率、样品台移动等条件设置、
以及聚焦/对比度调整等,都可以组合使用,编辑并
创建成一系列观察流程菜单。
可以通过拖拽模块创建菜单,像创建流程图一样。
当执行菜单的操作时,即开始自动观察。
该功能可实现如多点自动拍摄等工作,可减少人工
操作工作量。



EM Flow Creator 菜单创建界面

* 选配

主要参数

项目		内容
二次电子分辨率		0.4 nm(加速电压:30 kV)
		1.0 nm(加速电压:1 kV)
		0.7 nm(着陆电压:1 kV*)
STEM分辨率*3		0.34 nm(加速电压:30 kV/扫描透射电子像的晶格像)
加速电压		0.5~30 kV
着陆电压*		0.1~2 kV
光学系统移动范围		±5 μm(Sample Height=0.0 mm)
样品台可移动范围		X:±4.0 mm、Y:±2.0 mm、Z:±0.3 mm、T:±40 °
最大样品尺寸	平面样品台	5.0 mm × 9.5 mm × 3.5 mm(高)(最大)
	载面样品台	2.0 mm × 6.5 mm × 5.0 mm(高)(最大)
	专用样品台*3	载面样品台: 2.0 mm × 12.0 mm × 6.0 mm(高) 大型载面双倾样品台: 0.8 mm × 8.5 mm × 5.5 mm(高)

仪器功能

	项目	内容
放大倍率	低倍模式*2	80~10,000 x
	高倍模式*2	800~3,000,000 x
光学系统	束闸	配置与扫描信号同步的高速束闸
图像显示	全屏显示	1,280 × 960 像素
	1画面/2画面显示	800 × 600 像素/800 × 600 像素 × 2
	4画面显示	640 × 480 像素 × 4
	保存图像尺寸	640 × 480, 1,280 × 960, 2,560 × 1,920, 5,120 × 3,840 像素
	保存图像数据管理	SEM 数据管理系统 (包括图像数据管理、缩略图显示、多种图像处理功能)

仪器配置

	项目	内容
光学系统	电子枪	冷场发射电子源
	透镜系统	3级电磁透镜系统
	物镜光阑	可动式光阑(加热型、可从真空外4孔切换及微调)
样品台	马达台	侧插式测角台
	样品杆支架	标准样品杆支架(附带1个)
	样品台	附带6种×1个
探测器	探测器	二次电子探测器(SE/BSE信号 探测比例可变)
		顶探测器*3
		BF/DF Duo-STEM探测器*3
		能谱仪(EDS)*3
		EELS探测器*3
控制系统	操作系统	Windows® 10 *4
	显示器尺寸	24.1英寸宽屏LCD(显示像素:1,920×1,200)
	操作界面	PC显示器上的GUI、显示语言切换(日文/英文)
	操作台	鼠标、键盘、专用旋钮板、样品台控制器
		(轨迹球和操纵杆)

*1:使用减速功能单元(选配)时。
1 kV分辨率数值为使用减速平面样品杆/顶探测器(选配)时的数值。
*2:127 mm × 95 mm (4×5英寸宝丽来底片尺寸)为基准的倍率。
*3:选配
*4:Windows®是微软公司在美国和其他国家的注册商标。
*5:从客户设备连接时
*6:当水箱空时

安装条件

项目	内容
温度	15~25 °C
湿度	低于60 % (无结露)
电源(SU9000II)	5 kVA、AC100 V±10 %、50/60 Hz(M6压线端子)
电源(冷却循环水)*3	1.5 kVA、AC100 V±10 %、50/60 Hz(M6压线端子)
地线	D种接地
冷却水	推荐使用专用冷却水循环装置*3
空压机*5	400~500 kPa(Rc1/4锥形内螺纹)*3
氮气供给设备*5	10~20 kPa(Rc1/4锥形内螺纹)*3

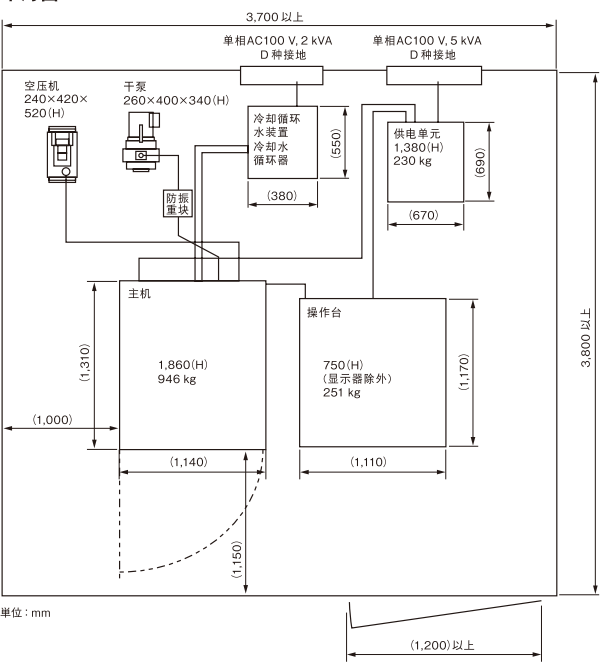
尺寸&重量

项目	宽(mm)	深(mm)	高(mm)	重量(kg)
主机	1,140	1,310	1,860	946
操作台	1,110	1,170	750	251
供电单元	670	690	1,380	230
干泵*3	260	400	340	25
空压机*3	240	420	520	16
防振重块	200	320	180	25
冷却水循环器*3	380	550	620	50*6

其他选配附件

干泵 / 空压机 / 防污染冷阱 / STEM样品杆 / 变压器 / 法拉第杯 /
视频放大单元 / 光电倍增管供电单元

布局图



单位: mm