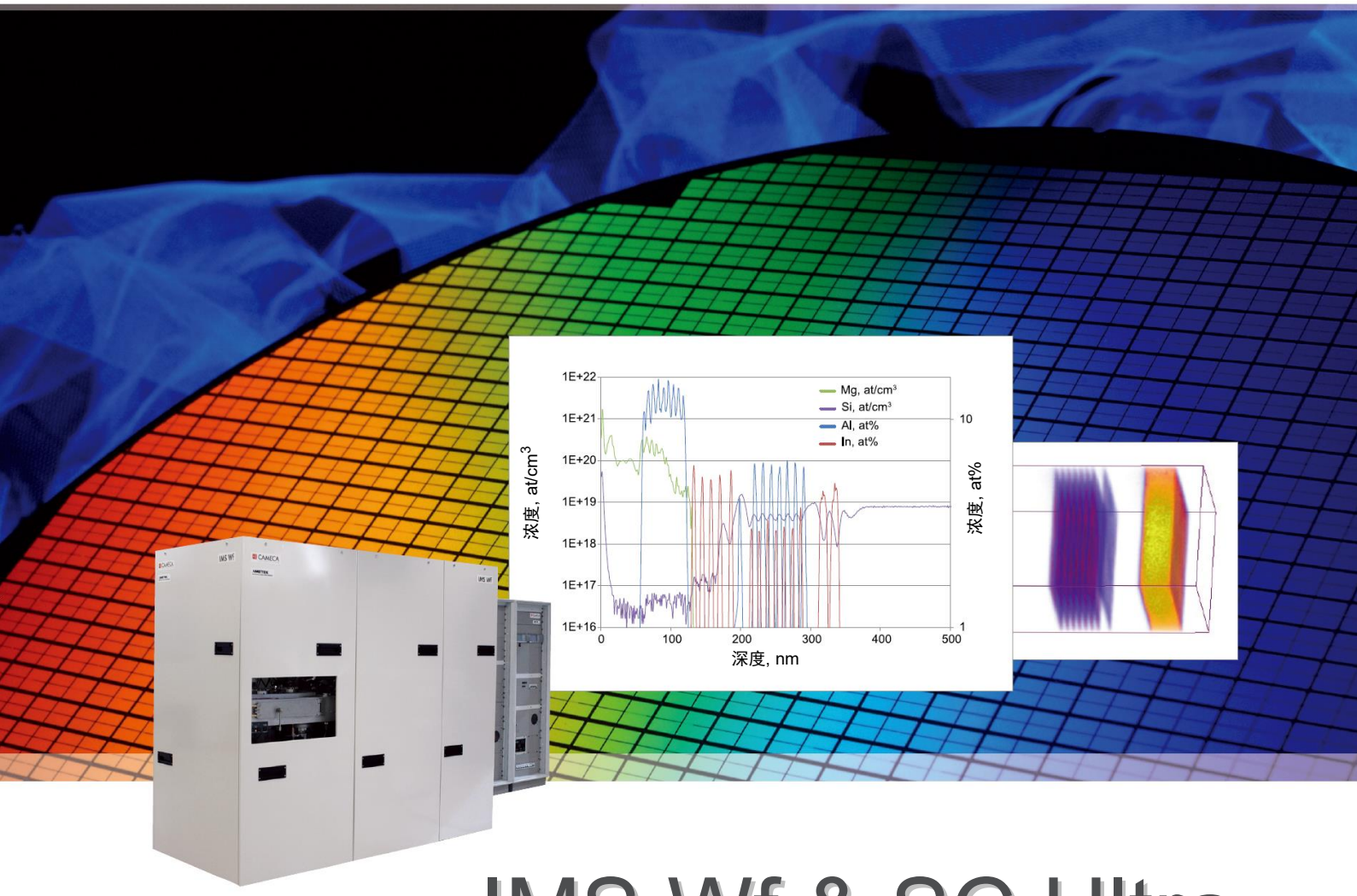
CAMECA®
SCIENCE & METROLOGY SOLUTIONS



IMS Wf & SC Ultra

用于先进半导体的高性能超低能量SIMS

AMETEK®
MATERIALS ANALYSIS DIVISION

IMS Wf & SC Ultra：*CAMECA EXLIE* SIMS*优势

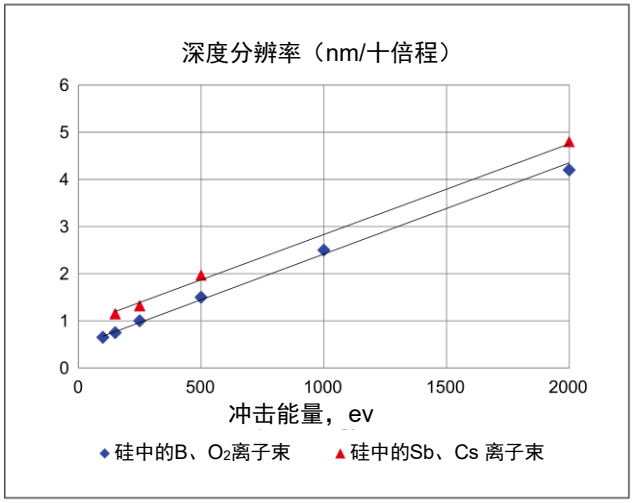
IMS Wf 和 SC Ultra 是唯一能提供大范围冲击能量（100eV 至 10 keV）且不影响质量分辨率和一次离子束密度的二次离子质谱仪，对于各种半导体材料，均可以高分析效率提供优越的分析性能。

半导体器件的不断缩小已将结深度的极限推进到10nm以下的范围，10倍率范围内的曲线斜度为1-2nm，对表征技术提出了严峻挑战。在这种尺度下，可以利用SIMS技术来监测元素和掺杂物的深度分布，前提是SIMS测量的深度分辨率小于1nm。

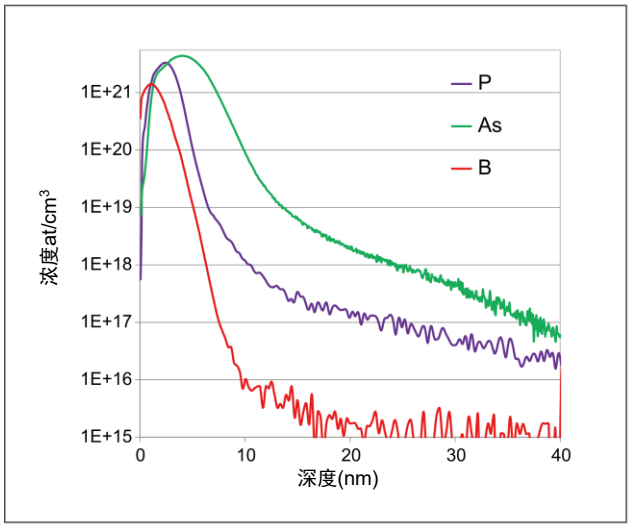
CAMECA IMS Wf 和 SC Ultra 扇形磁场SIMS配备了最先进的 Cs^+和 O_2^+ 一次离子源，可提供冲击能量非常低的优化离子束密度，150eV能量的Cs 和 O_2离子束都可达到每分钟几纳米的溅射速率，是亚纳米深度分辨率下进行高效分析的首选工具。

将不同溅射条件（Cs^+和O_2^+）下获得的SIMS深度曲线与 NRA、RBS、HR-RBS 和 ERDA数据进行比较，可评估EXLIE SIMS深度分布的准确性。参见«Advanced secondary ion mass spectroscopy quantification in the first few nanometers of B, P, and As ultra shallow implants»。A. Merkulov et al., J. Vac. Sci. Technol. B 28, C1C48 (2010).

*极低冲击能量(EXtreme Low Impact Energy)



深度分辨率很大程度上取决于溅射离子束的冲击能量。利用掺杂层之间具有几纳米间距（5-10nm）的单层（Delta）掺杂周期结构来评估深度分辨率（氧一次束测B/铯一次束测Sb）。

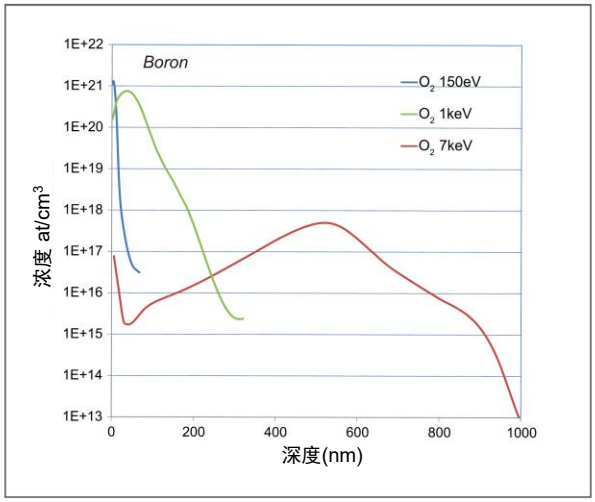


BF_2、P、As 注入的EXLIE SIMS 深度曲线。使用冲击能极低的离子束不会影响所测元素的动态范围，因此可以在较宽的浓度范围内进行定量分析。

离子注入监控：
从深注入到超浅注入

可利用的一次离子冲击能量的范围广泛，因而可从中选择适当的分析条件，以获得真正的深度浓度分布情况。在每一个深度分布图中高动态范围是高精度测量的关键。

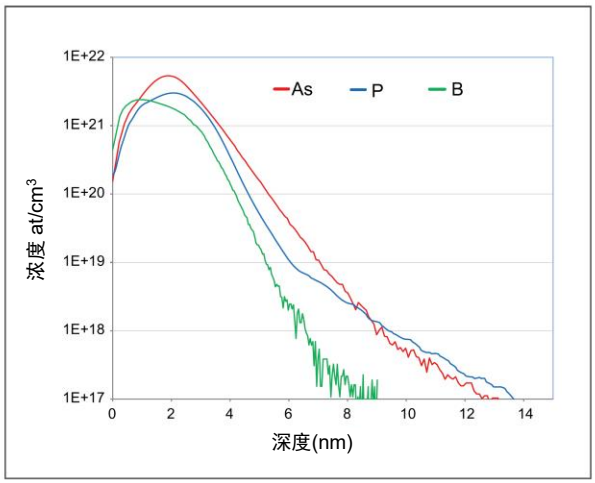
使用优化的冲击能量条件，
从深到浅对B注入进行深度分析：
B 200keV->7keV O_2,
B 10keV -> 1keV O_2,
B 500eV -> 150eV O_2.



EXLIE 条件可获得准确的分布定量分析

右边的数据表明，EXLIE方法的主要优势在于集合了亚纳米级深度分辨率和准确的近表面定量分析，提供注入掺杂物的实际分布情况。

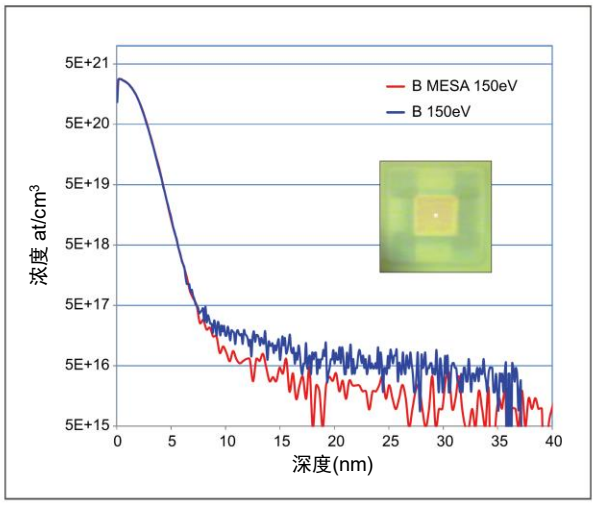
能量注入分布图揭示了前10nm 范围内的实际分布。
As：250eV - P：200eV - B：100eV



可利用 MESA 软件功能进行小图型分析

当分析横向尺寸较小的结构（例如测试图型）时，EXLIE条件的能力将进一步受到挑战。在小区域分析中，高动态范围深度分布图可能会受到溅射坑边缘的影响。然而，使用名为MESA的样品制备技术可以显著提高小图型深度分析的动态范围。

右图显示了用150eV一次离子束溅射时，100 x 100μm^{2}分析区域的改进情况。使用高能量离子束可消除图型周围的沟槽，以获得更高的效率。在IMS Wf和SC Ultra上进行EXLIE深度分析前，新的软件选项可以实现全自动MESA处理。



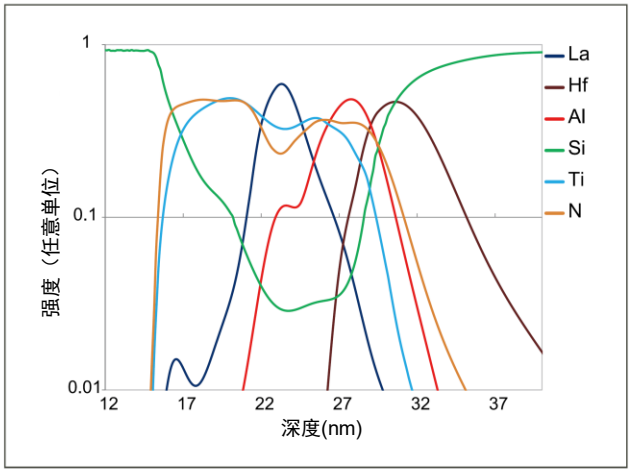
薄膜量测...

HKMG

用原子层沉积(ALD)方法生长的高介电常数金属栅极（HKMG）是非常薄的多层结构（几纳米）。随着栅极尺寸的延长，厚度进一步减小，导致堆叠层中出现单原子层。

IMS Wf和SC Ultra以亚纳米深度分辨率提供高效深度剖析，解决了此类复杂器件制造和质量控制中的所有问题。

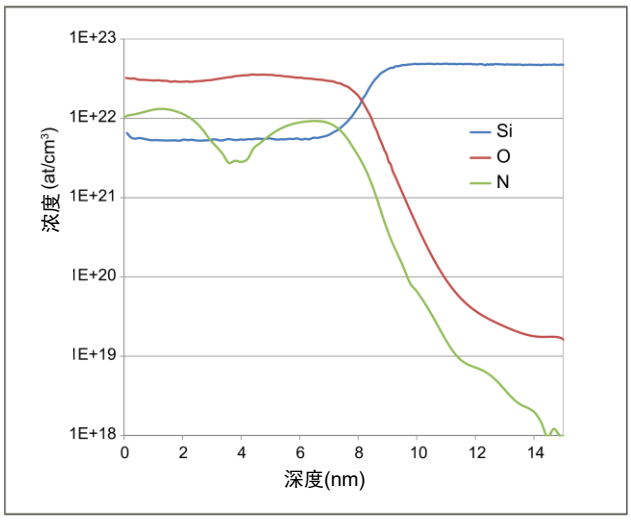
用 250eV Cs离子束获得的 HKMG 的高分辨率深度分布图。



SiON

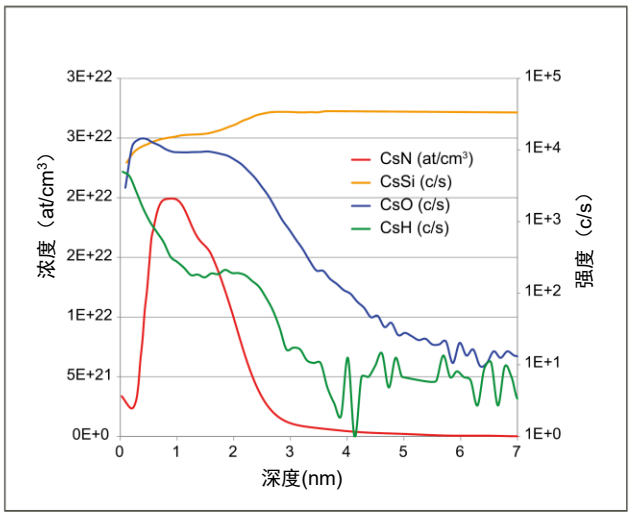
在现代半导体器件制造业中，将氮氧化硅作为栅介质的应用已经很成熟。相比二氧化硅，氮化物的含量可略微提高介电常数，并为掺杂物创造了扩散屏障。优化这些层的生产和质量控制需要复杂的计量方法。只有 EXLIE SIMS能够给出三个主要参数：氮的浓度，层厚以及氧、硅和氮的深度浓度分布。

用 250eV Cs离子束获得的 SiON 结构的定量分布图。



虽然对厚仅几纳米、原子浓度上限为百分之几、浓度下限低几个数量级的结构进行分析是一大挑战，但得益于具有极低冲击能量的一次离子束、高效的二次离子提取光学器件以及真空度极高(10^{-10}mbar)的分析室环境，IMS Wf 和 SC Ultra 足以应对这一挑战。凭借这些优势，IMS Wf 和 SC Ultra可以以极高的动态范围和深度分辨率对 SiON 结构进行深度分析。

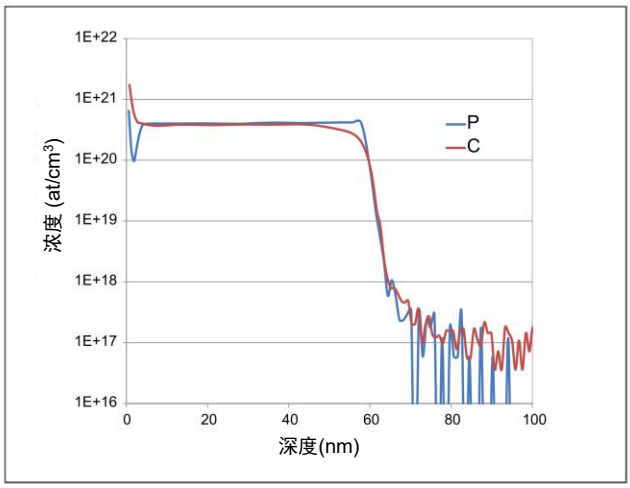
用 250eV Cs 离子束获得的 2nm SiON 浅层结构的氮深度分布图。



最高灵敏度及最好深度分辨率

Si:C:P

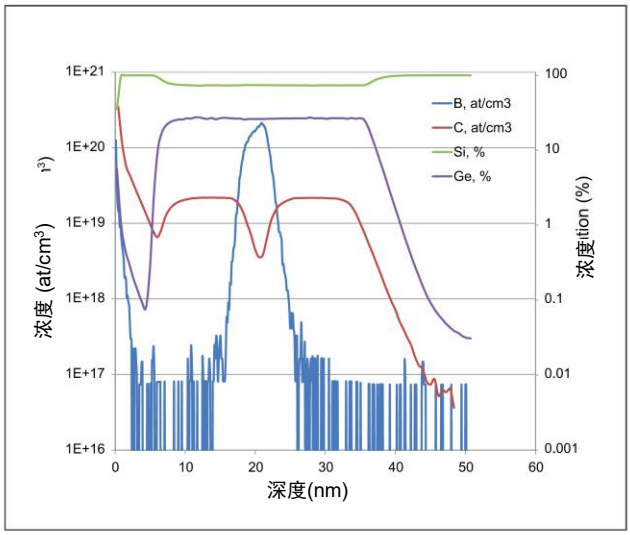
精确控制界面处的磷和碳分布对于监控磷和碳向浅层Si:C:P/SiGe结构的扩散至关重要。IMS Wf 和 SC Ultra 凭借一次离子束低冲击能量和高质量分辨能力，可达到市场上该应用的最佳检出限和最高分析效率。



通过 250eV Cs 低能量离子束获得的 Si:C:P 结构的深度分布图。

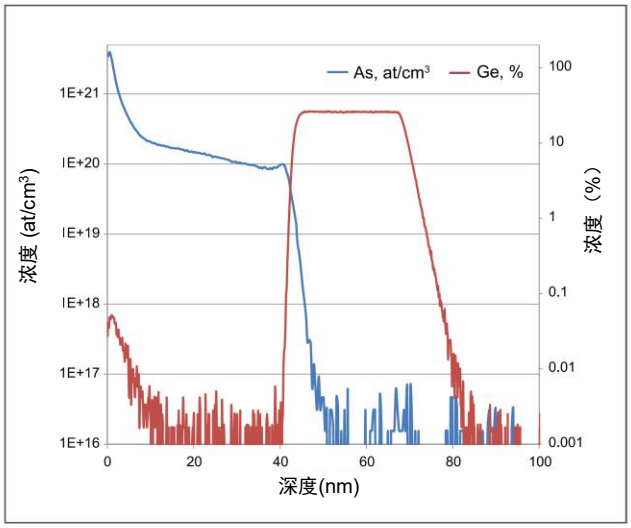
SiGe

如今，SiGe基半导体广泛应用于快速开关器件中。提高此类器件的频率需要精确控制低维晶体管结构（例如HEMT或HBT）中的P型和N型掺杂。IMS Wf和SC Ultra为此类具有挑战性的多层结构的研发和制造控制提供了可靠的数据。



通过 500eV O2离子束获得的SiGe:C:δB结构的高分辨率成分/浓度深度分布图。

准确表征SiGe界面处的砷分布对于控制As向浅层SiGe结构中的扩散至关重要。IMS Wf和SC Ultra将低冲击能量溅射条件和高质量分辨率集于一身，为该应用提供了最佳的检测极限和检测效率。

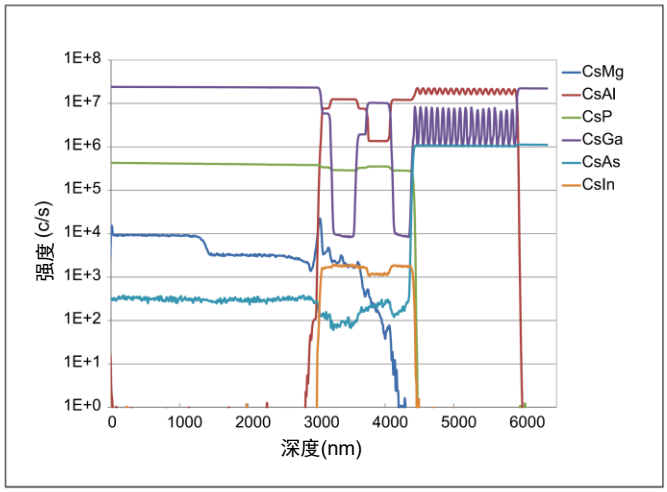


通过500eV Cs离子束获得的高掺杂 poli-Si / SiGe层结构中的高质量分辨率 (MRP = 10,000) 砷浓度深度分布图

光电器件与LED 器件开发

生产高效的光电器件（PV、III-V化合物基LED ...）需要在不同成分的量子空间层之间形成清晰的界面。

IMS Wf 具有高的深度分辨率和良好的检测灵敏度，是控制这些复杂结构中的层界面质量、掺杂和杂质的首选工具。其全自动晶圆处理功能还可以确保卓越的数据处理效率，这对于大批量生产需求至关重要。

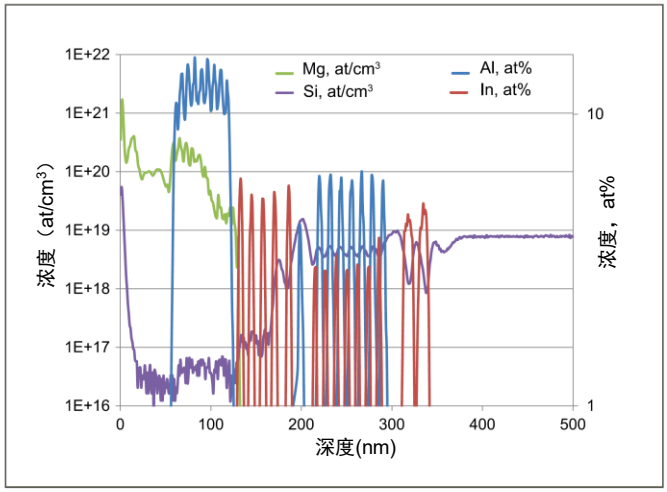


AlGaInAsP:Mg/GaAs 光电结构中的深度分布图证明了达6um深的高动态范围和出色的深度分辨率。

掺杂和结构成分检测

对于基质和掺杂元素，通常需要获取深度分布数据。选择实验条件是为了提供p-型和n-型掺杂物的最佳检测极限，并确保最大程度提高仪器的分析效率和易操作性。

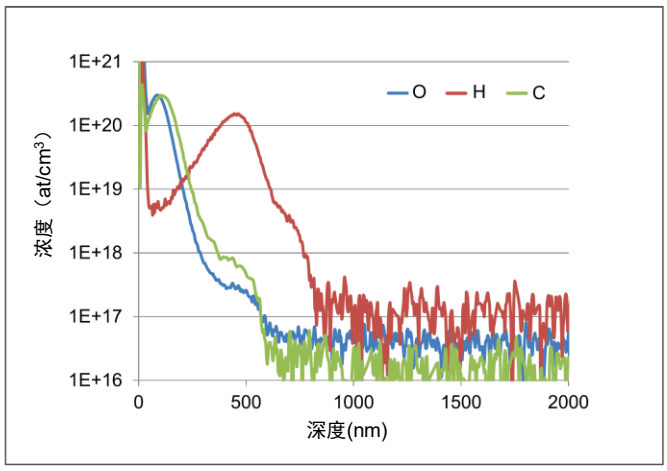
LED 结构。 用1keV Cs 离子束获得的Mg、Si、Al、In深度分布图显示了出色的深度分辨率以及Mg 和Si 掺杂剂的检测极限。



杂质控制

IMS Wf和SC Ultra分析室中可达到超高的真空度，并采用高强度一次离子束进行轰击，因而在轻质元素方面的分析能力远超市场上的其它所有仪器，O、H、C 的检测极限是最佳的。

用 15keV Cs离子束获得的GaN中轻质元素的深度分布图证明了该仪器对于O、H 和C杂质具有优异的检测性能。



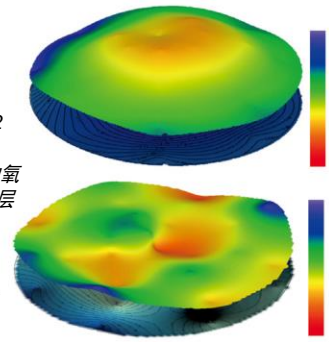
优异重复性的全晶圆分析...

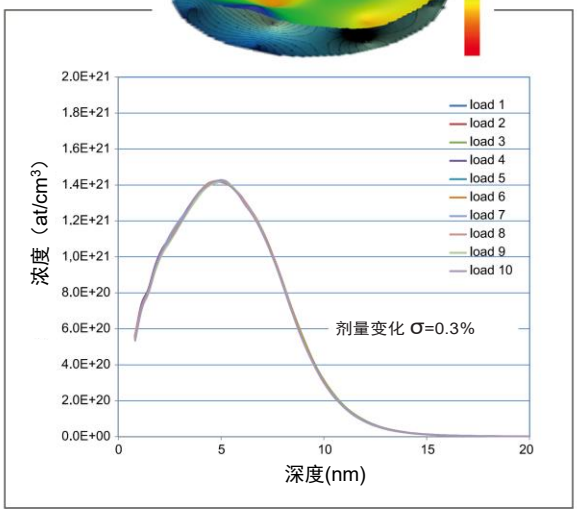
高精度和全晶圆 SIMS 仪器广泛用于在晶圆制造中，以检验注入机和薄膜生长工艺的质量：SIMS 用于揭示无图案晶圆或测试焊点上的剂量/浓度的不均匀性。

CAMECA IMS Wf提供完整的300毫米晶圆成像分析能力以及前所未有的分析精度。晶圆传输是通过一个机器人和适用于所有晶圆尺寸的传送装置进行的。

IMS Wf凭借在不同的窗口和/或多样品载台上所具有的出色的短期和长期稳定性，已成为半导体工业应用的重要参考工具。该仪器已最大程度地减少了仪器因素（装载效果、样品载台或晶圆上的位置）的影响，并通过广泛的重复性测试进行了验证。并且，在大范围的离子注入和薄膜生长工艺中保证了亚百分比精度。

300mm 晶圆上 25 个点的图像：上图：注入2keV BF2 的 B 剂量
下图：2nm 的氧氮化物 SiON 层中的 N 剂量





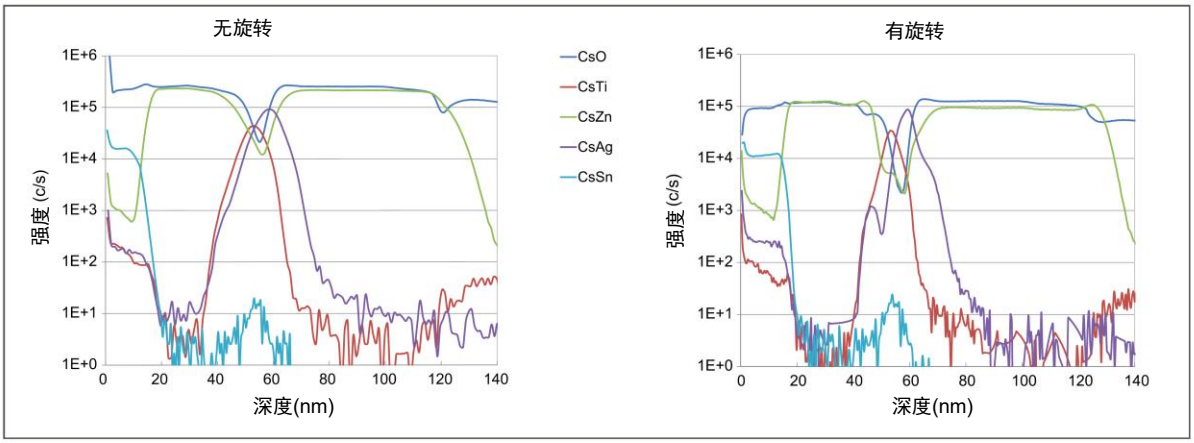
在 4keV As 注入的晶圆中测得的 As 剂量的重复性测试结果（10 次加载/卸载

金属薄膜分析

溅射过程中的表面粗糙度极大地限制了多晶材料进行深度分析的分辨率，即使使用低冲击能量离子束也是如此。

为IMS Wf和SC Ultra配备完全偏心的旋转台可以显著降低这种影响。

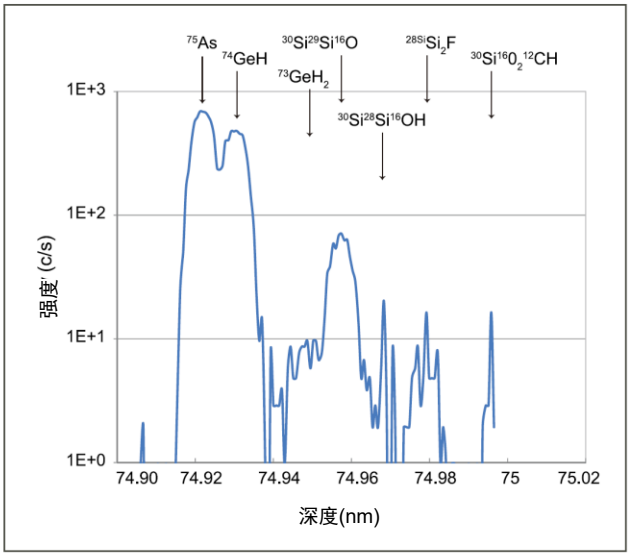
不带偏心旋转台（左）和带偏心旋转台（右）情况下，使用 500eV Cs 离子束在玻璃结构上获得的深度分布图。



IMS Wf & SC Ultra：

独特的 SIMS 设计满足半导体行业需求

CAMECA 凭借基于磁扇区原理设计的独特 SIMS 仪器已成为全球SIMS技术领域的领导者。IMS Wf和 SC Ultra系统是专门为满足先进半导体对动态SIMS测试日益增长需求而开发的，并且是市场上唯一一种能够提供亚纳米级深度分辨率、又不影响灵敏度、质量分辨率和分析效率的分析工具。



在SiGe层中获得的 ^{75}As$^-$ 质谱峰。需要高质量分辨率以区分 ^{74}GeH和 ^{30}Si^{29}Si^{16}O 对 ^{75}As的大量质量干扰。

灵活的一次离子腔配置

IMS Wf和SC Ultra可同时配备两个一次离子腔：

- 浮动式一次离子腔：与样品表面法线成 60° 安装，配备铯离子源。
  冲击能量：150 eV 至 13 keV
- 标准一次离子腔：与样品表面法线成36°安装，配有双等离子体源或以加速-减速模式运行的射频等离子体离子源。
  冲击能量范围：100eV至10 keV, 取决于离子源。

快速简便的处理样品

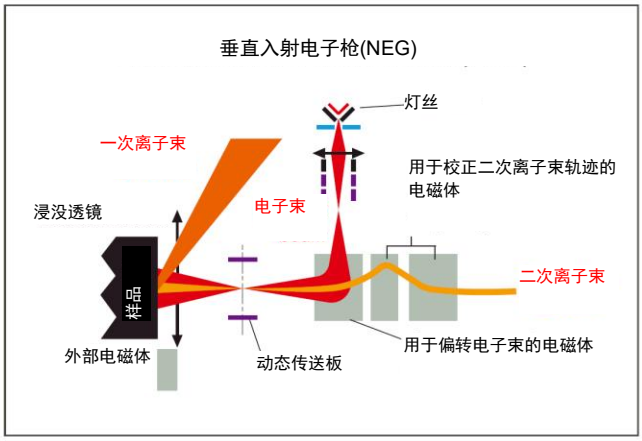
- IMS Wf：它的进样系统、样品台和分析室可适用于300 mm的晶圆。在多个样品传送装置的协助下，一个批次可以装载多达100个样品，样品存储室和分析室之间的传送操作全自动进行。
- SC Ultra：进样系统和样品台可以容纳一个样品载台，其有效面积为75mm x 75mm、具有不同的窗口配置以容纳大量样品（最多25个）。样品载台的传送操作手动进行。

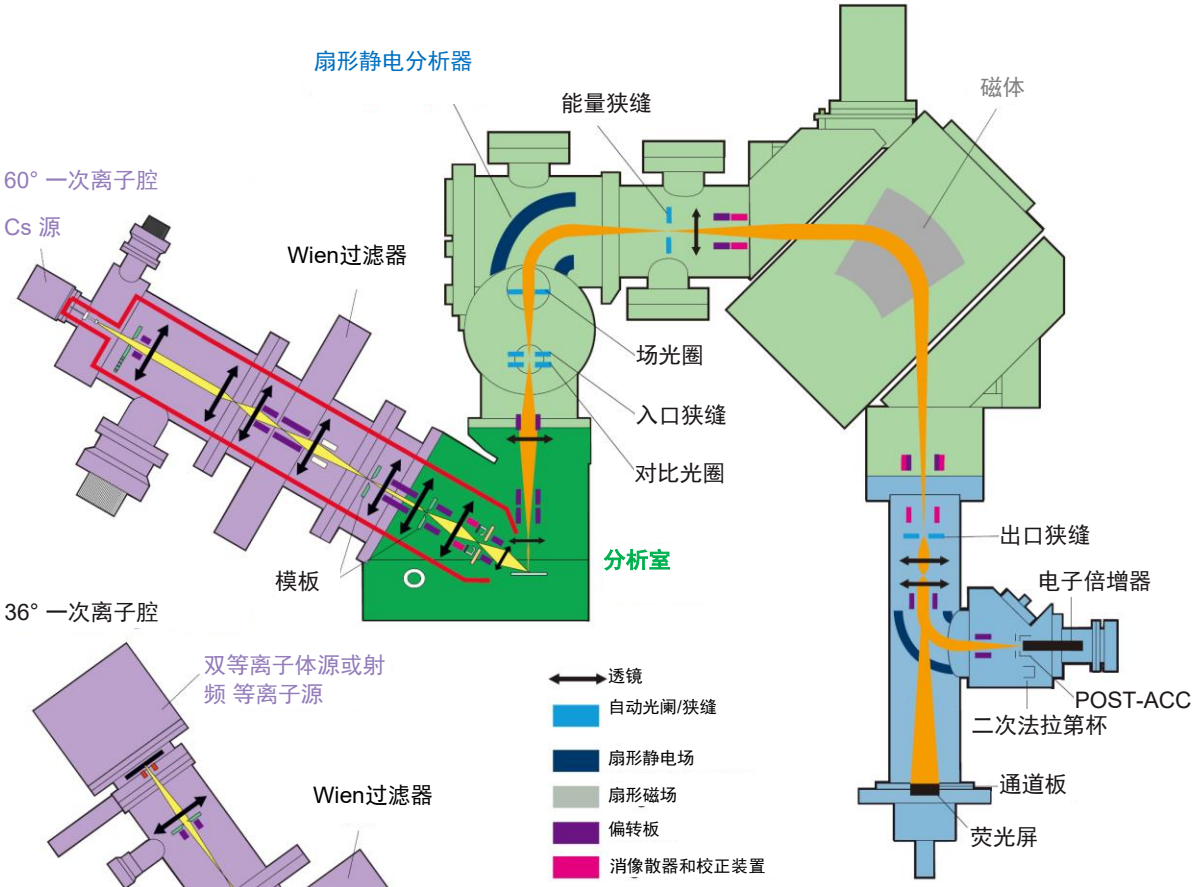
标准配置（•）和可选配置（○）

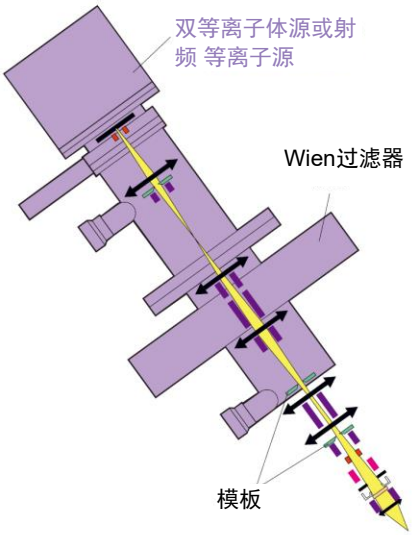
	IMS Wf	SC Ultra
60° 浮动式腔	•	•
36°腔射频等离子体离子源	○	○
36° 腔双等离子氧源	○	○
电动隔板和狭缝	•	•
XYZ轴, 75mm样品台		•
XYZ轴, 300mm样品台	•	
传输机器人	•	
注氧	○	○
优化排气的快速进取样品	○	

最先进的质谱仪和检测系统

- 正入射电子枪 (NEG) 确保对所有类型的绝缘材料进行简单且可重复的分析。可提供低能电子 (几个电子伏特) 和自动补偿模式进行负二次离子分析。
- 具有快速峰值切换能力的磁扇双聚焦质谱仪。
- 检测系统结合了一个法拉第杯和一个电子倍增器，可提供具有十个数量级动态范围的计数系统。
- 快速抽气样品存储室配备了可编程加热灯丝，为需要最好真空度的分析应用提高了分析效率。







灵活的一次离子源选择

根据应用领域，每个一次离子腔都将配备一个特定的离子源组合：

- 60° 铯源一次离子腔；
- 36° 双等离子氧源或射频等离子氧源一次离子腔。

全自动运行

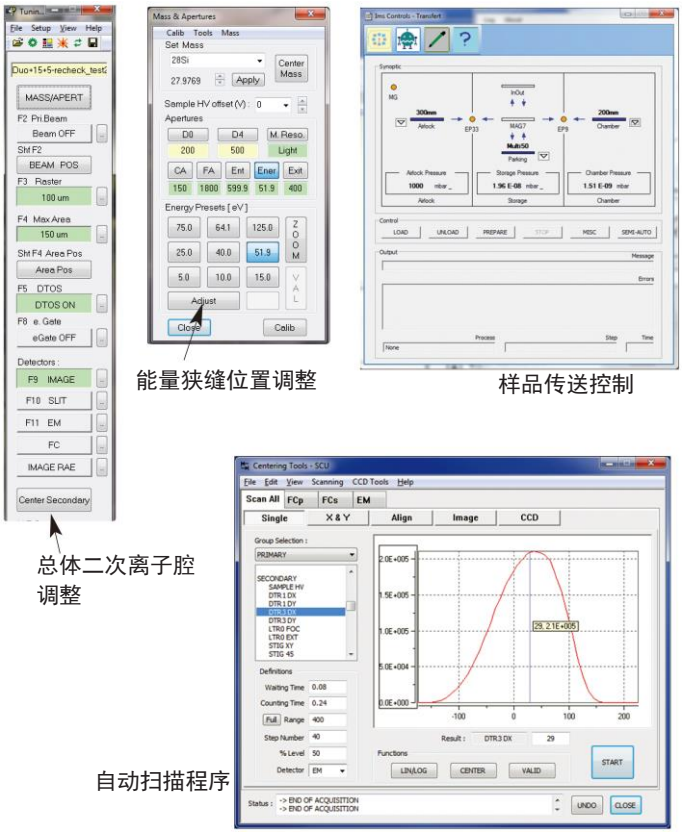
简单、自动化的仪器操作

IMS Wf 和 SC Ultra 提供了方便仪器设置的功能软件：完全加载并保存仪器设置和分析程序；自动化、无人值守的链式分析模式。

IMS Wf 配备了带机器人的存储室。存储室和分析室之间的交换操作是完全自动的。可对多个载台进行链式、无人值守的分析，极大地提高了仪器的分析效率。

还可以从远程 PC 进行监控：检查在自动进行的链式分析中获取的数据，启动新的分析序列——确保了高分析效率，并允许多个远程用户访问该设备。

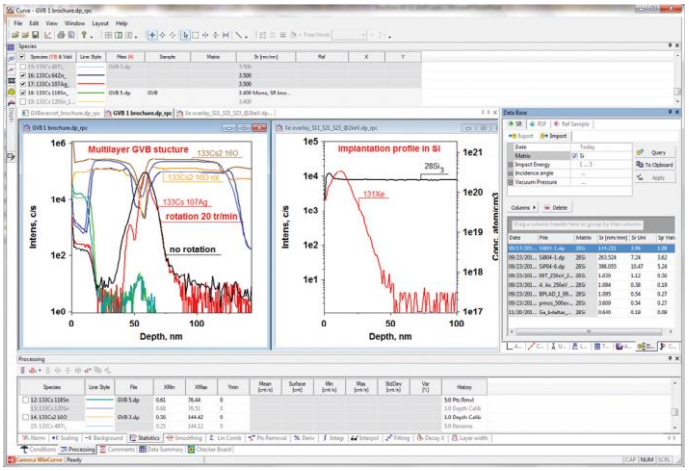
提供了新的基于扫描序列的自动调整程序：



SmartPro WinCurve 软件套件

以数据库为中心的工作流程可帮助操作员完成整个 SIMS 分析过程：

- 可轻松在工具校准、数据采集、分析程序数据库中进行选择。
- SmartPro 链式批处理功能可自动应用选定的数据采集条件，可快速完成自动化分析。
- SmartPro 数据库可轻松挖掘 SmartProchain 采集的数据。
- WinCurve 支持多种数据可视化功能。
- 软件算法经过特别研发，可解决半导体行业的分析问题，如离子注入、层生长、块状样品及超薄层结构样品（包括多层结构样品）。
- 只需几次单击操作，即可创建报告。



WinImage 在用户友好、可定制的界面中提供了强大的数据处理和可视化功能。

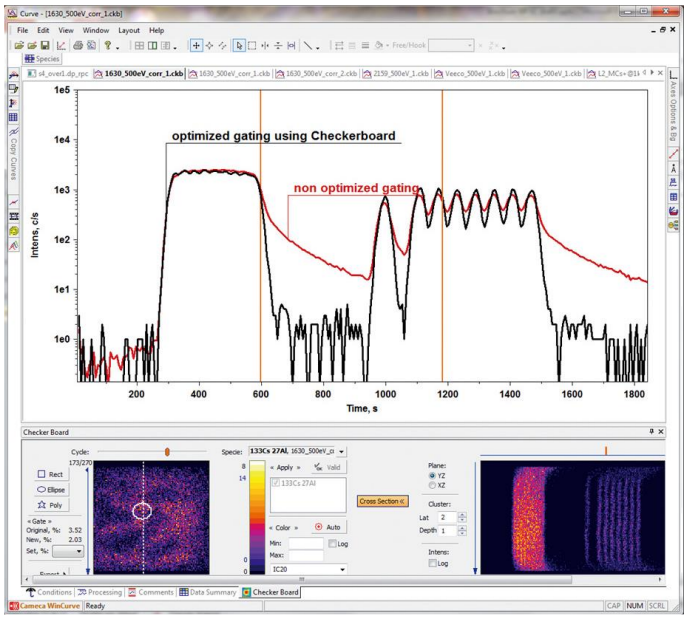
… 用户友好的软件

用于优化深度分布曲线的 Checkerboard功能

Checkerboard是一种采集和处理功能，在IMS Wf 和 SC Ultra 的“Analysis”和“ WinCurve”软件包中实现。它结合了深度分析和扫描离子成像模式的优点。

Checkerboard 功能允许操作员在执行初始测量后修改Gate的形状、尺寸和位置，从而优化抑制溅射坑边缘效应和底部存在的灰尘颗粒的影响（如有）。在进行小区域分析时，它对于选择测试区域非常有用。

Checkerboard避免了重复测量，大大提高了深度分布数据的质量和仪器的分析效率。

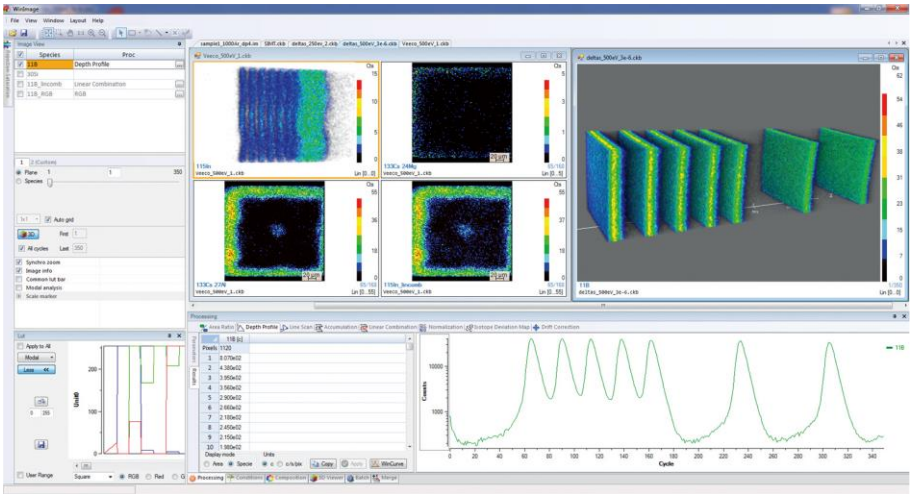


Checkerboard对LED结构的数据进行后处理，显示出了铟基多量子阱层的图像。使用 Checkerboard, 通过优化gate的尺寸和位置使得深度分辨率显著提高
左下方：2D 溅射坑视图和gate 右下方：溅射坑横截面

WinImage

WinImage 在用户友好、灵活的界面中提供强大的图像可视化、处理和打印功能。

- 图像显示：同时显示1至64辐图像，抑制-饱和，Lin-Log,…
- 图像输出：具有新选项和高灵活性的导出图像
- ROI重建数据：深度分布曲线，线扫描，面积比
- 数据处理：周期累加，线性组合，归一化，颜色+黑白叠加，RGB（红绿蓝）叠加，散点图
- 批处理模式：可自动对多个数据文件执行给定的处理程序
- 3D图像重建

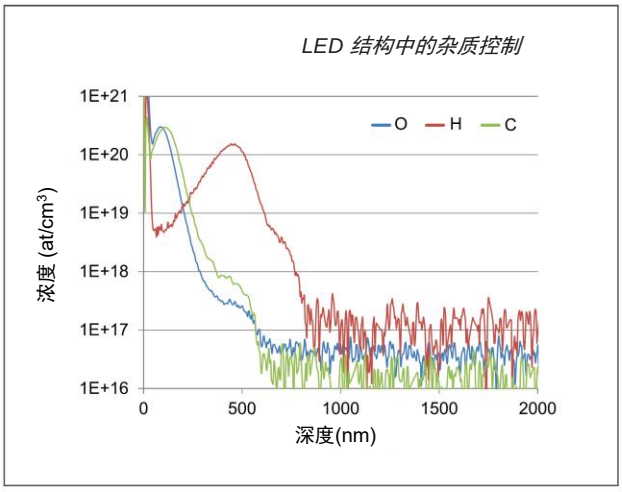


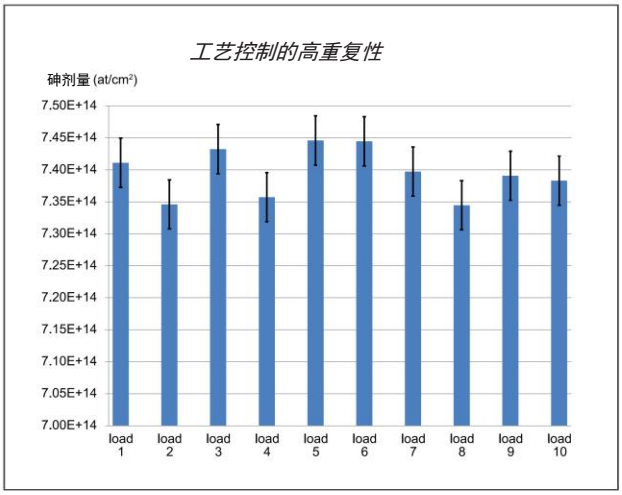
WinImage 软件提供了数十种强大的SIMS 图像处理功能（包括一套Aphelion™图像库）。.

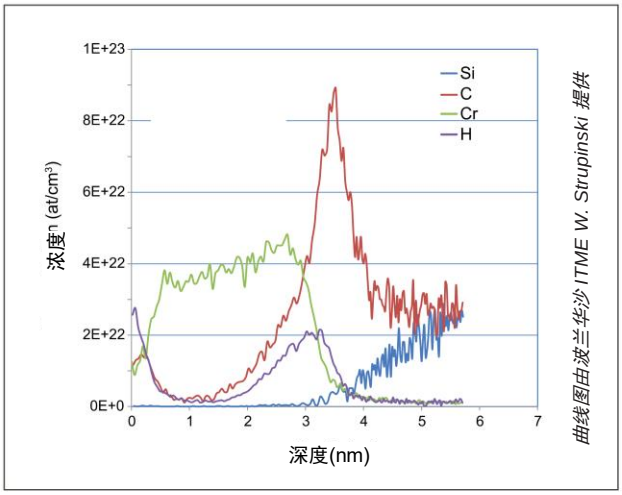
IMS Wf & SC Ultra

SIMS Excellence 可应对最具挑战性的半导体行业分析难题。

CAMECA IMS Wf 和 SC Ultra 集极低冲击能量 (EXLIE) SIMS 功能、高质量分辨率、高灵敏度、高自动化水平和高生产率于一身，可解决半导体行业中最具挑战性的分析和过程控制问题：超浅和高能量离子注入 • 超薄氮氧化物 • HKMG • 金属层 • SiGe掺杂层 • Si:C:P 结构 • PV和 LED 设备• 石墨烯







曲线图由波兰华沙 ITME W. Strupinski 提供

CAMECA（公司总部）
29 Quai des Grésillons
92622 Gennevilliers Cedex - France
Tel: +33 1 43 34 62 00
cameca.info@ametek.com

CAMECA原子探针技术中心
5470 Nobel Drive
Madison, WI 53711 - USA
Tel: +1 608 274 6880

CAMECA中国：
E-mail: nancy.zhuge@ametek.com
Tel: +86 21 5868-5111；+86 18513783381

欢迎关注CAMECA微信公众号

元素和同位素微量分析计量解决方案的全球领先供应商。我们可提供最先进的科学和计量解决方案，并可通过综合全面的 AMECARE PERFORMANCE SERVICES 计划为客户提供无与伦比的支持和维护服务。

www.cameca.com
www.cameca.com.cn

IMS Wf &SC Ultra 手册。 2020 年 3 月 更新。
非契约型文件。

CAMECA 保留更改其产品规格的权利，恕不另行通知。
所有提及的商标均归其各自所有者拥有。

CAMECA SCIENCE & METROLOGY SOLUTIONS

AMETEK MATERIALS ANALYSIS DIVISION