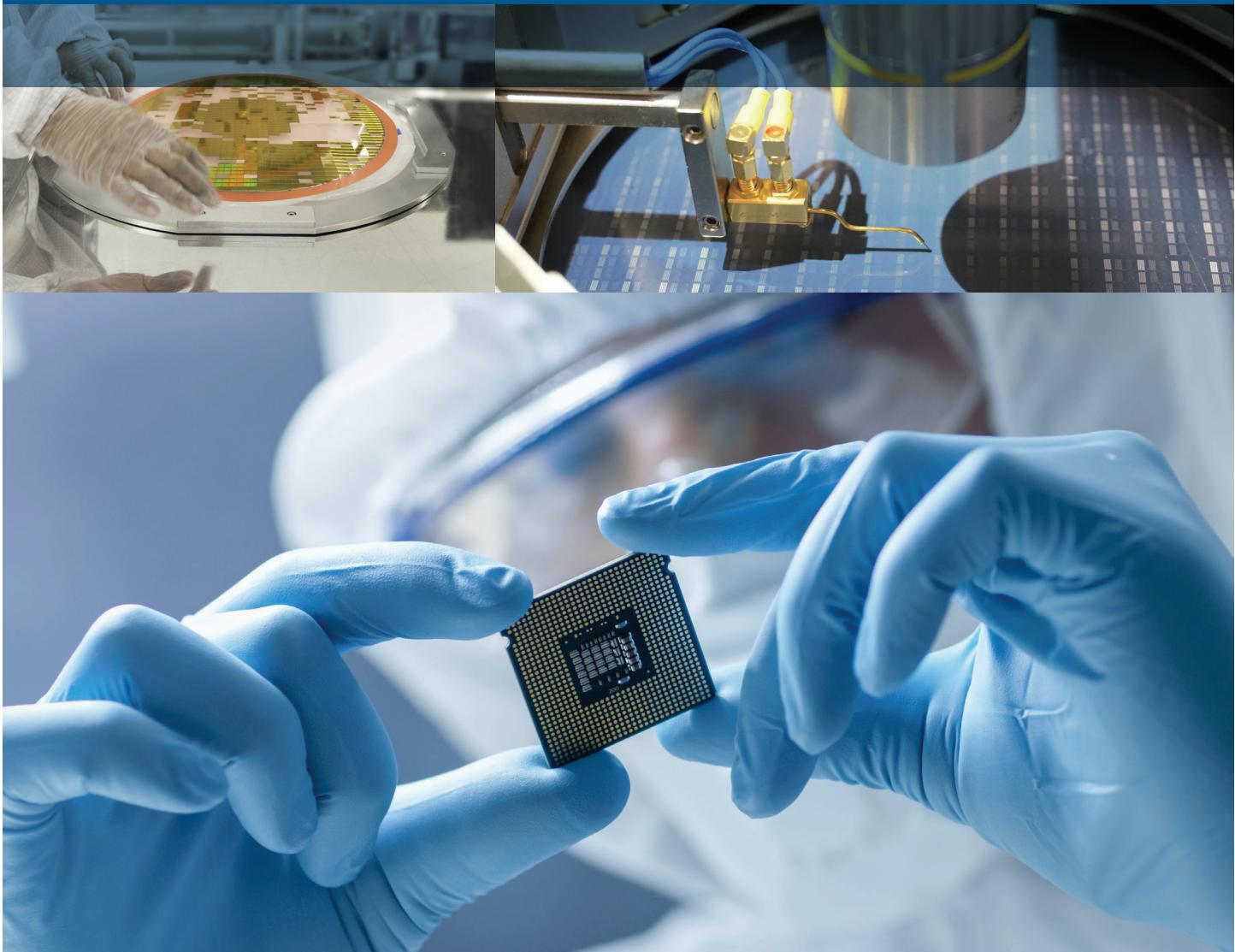
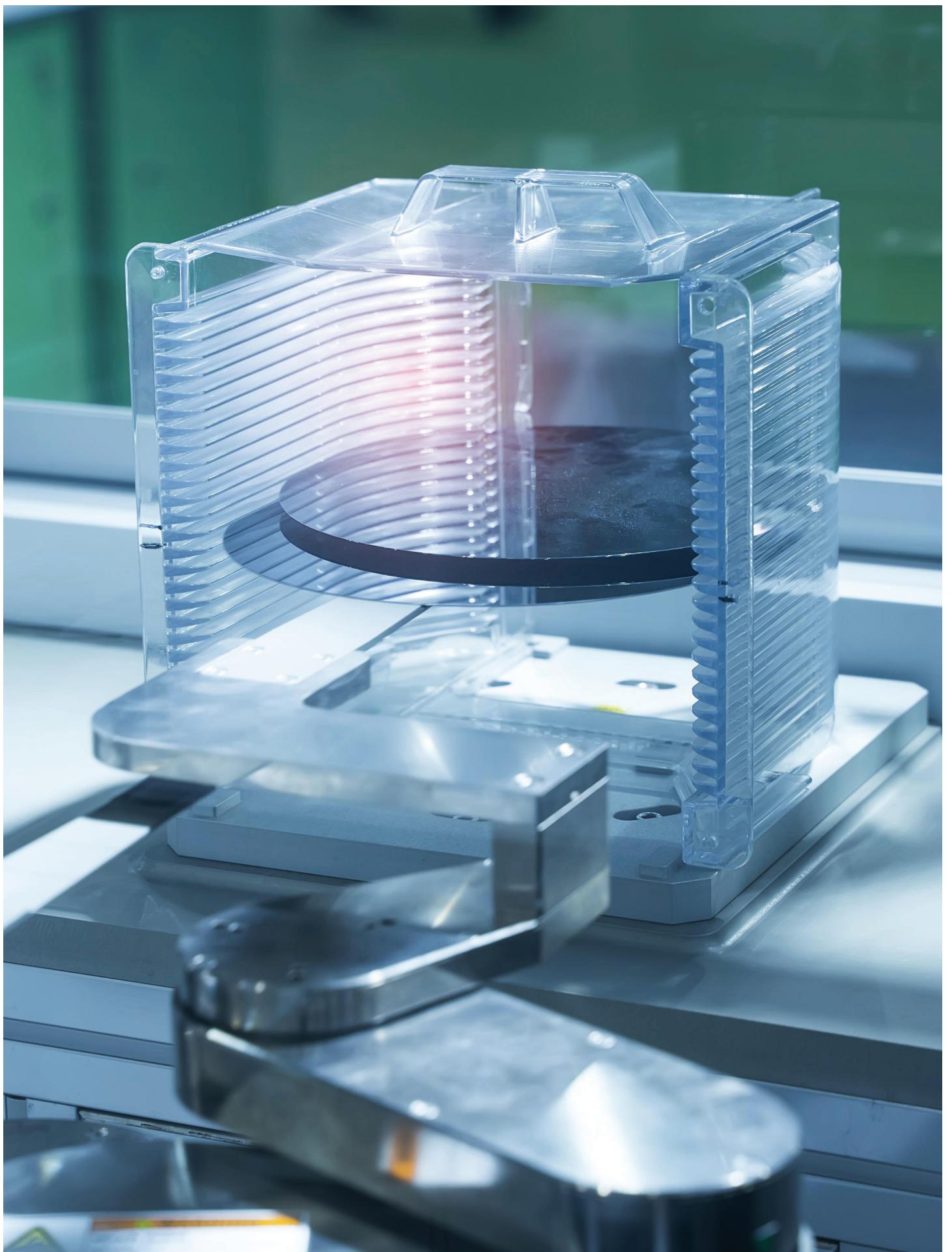


# 安捷伦半导体行业解决方案





## 前言

半导体是现代电子产品的核心，应用于从智能手机到汽车等众多领域。随着半导体行业的发展，各种器件变得更快、更可靠、更强大。

为解决高昂的成本问题，半导体制造过程中的产品良率是半导体厂商最关注的问题。影响产品良率的因素有很多，污染无疑是其中最重要的因素之一。业内人士估计，污染造成约 50% 的产量损失。

从上世纪 70 年代到今天，芯片制程已经从“微米”时代，经过“纳米”时代，发展到当前的 10 纳米以下。随着元件缩小到单个纳米尺度，对污染物和杂质的控制变得越来越重要，因为即使是超痕量污染物也会降低制造产量，导致产品可靠性下降或产品故障。半导体和电子产品中的杂质分析必须贯穿整个制造过程的各个阶段，从测试晶片、原材料和工艺化学品到最终产品的质量保证 / 质量控制。另外，在半导体全产业链的装置制造、传感器制造、控制器件制造过程等先进制造环节，真空的控制也非常关键。

自 20 世纪 80 年代后期以来，安捷伦一直与领先的半导体制造商和化学品供应商密切合作，开发适用于半导体产业链的分析和监测技术，应对半导体行业的分析挑战，并始终处于创新前沿。

作为全球半导体领域的先锋，安捷伦积累了大量创新技术和卓越的服务能力。在半导体产业链的制程监测、原材料质控、无机杂质、纳米颗粒、有机杂质检测、符合环境健康和安全法规需求以及真空检漏等方面，都能够为您提供优异的分析仪器、软件、服务和支持，助您取得成功。

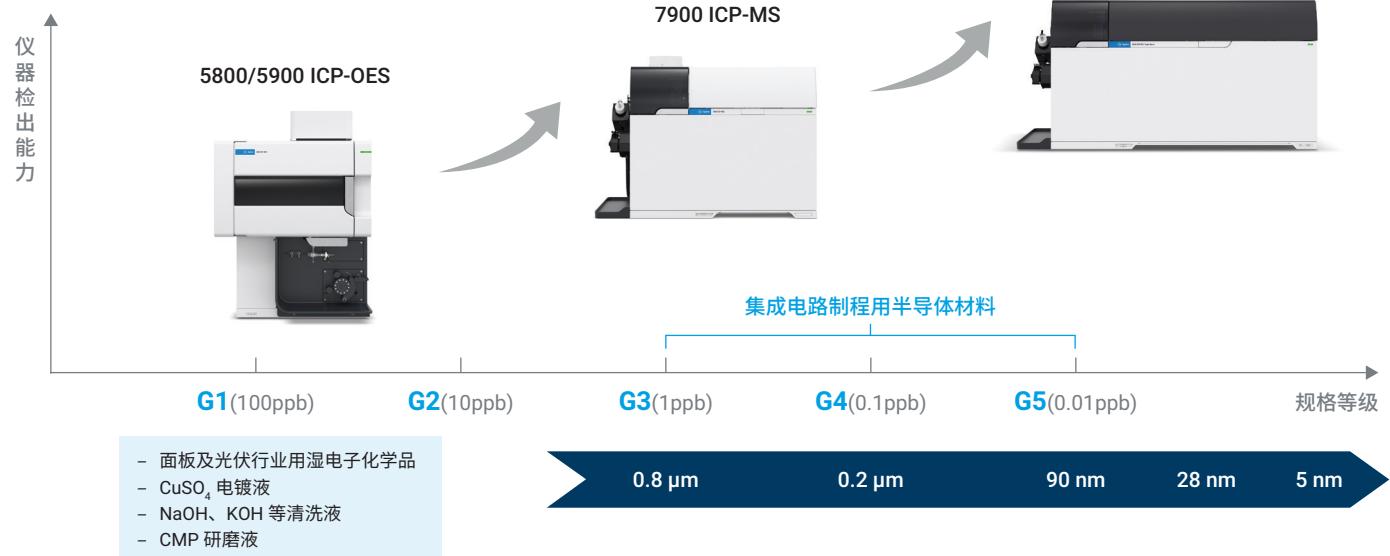
# 安捷伦半导体制造产业解决方案



## 半导体制造典型元素分析场景及安捷伦方案



- 监测清洗和蚀刻硅片过程中使用的化学品中的痕量污染物
- 监测晶圆 /IC 制造过程中使用的化学品中的污染物
- 评估硅片衬底及用于硅的相关层和涂层中的金属污染
- 化学品以及晶圆加工和清洁浴槽中的金属纳米颗粒 (NP) 分析
- 半导体供应链中电子化学品 / 特气中的金属污染物

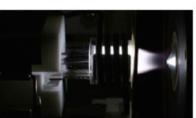


## 半导体元素分析领域 30 年的经验推动着我们不断创新

ICP-MS 作为一种金属元素分析仪器应用于半导体产业链，始于 20 世纪 80 年代。随着半导体制程的不断迭代，整个行业对 ICP-MS 的性能提出了越来越高的要求。过去 30 年来，位于日本东京的安捷伦 ICP-MS 全球研发中心与半导体产业链端客户密切合作，引领着 ICP-MS 在全球半导体产业链中的应用不断创新。

30+ 年

### 安捷伦 ICP-MS 在半导体行业的创新之路



安捷伦针对半导体行业推出冷等离子体 (Cool plasma) 技术，4500 ICP-MS 作为安捷伦推出的小台式 ICP-MS 开始出现在各大半导体厂的无尘室。



采用全不锈钢底座并在无尘室制造组装的 7700s ICP-MS 进入半导体行业，实现了个位 ppt 的检出能力。



安捷伦将单纳米颗粒多元素分析应用于半导体行业的化学品管控。

1992 年

2003 年

2009 年

2012 年和 2016 年

2020 年

安捷伦推出半导体专用型 7500cs ICP-MS，并结合碰撞 / 反应池技术，助力半导体制程从 μm 阶段进入 nm 阶段。



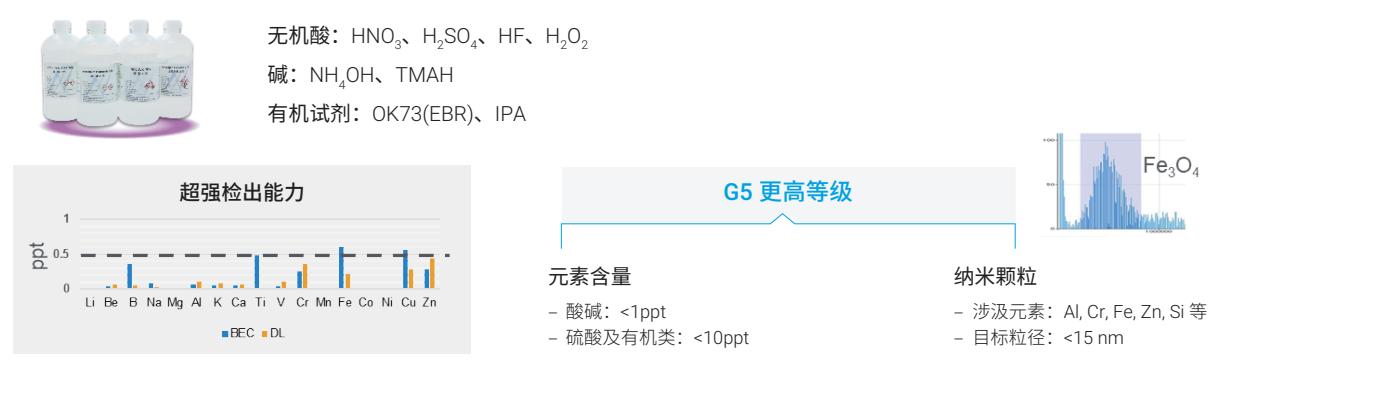
安捷伦分别推出第一代和第二代 ICP-MS/MS，以其超强的去干扰能力，被全球前沿半导体企业广泛应用于先进制程的污染控制和良率提升。



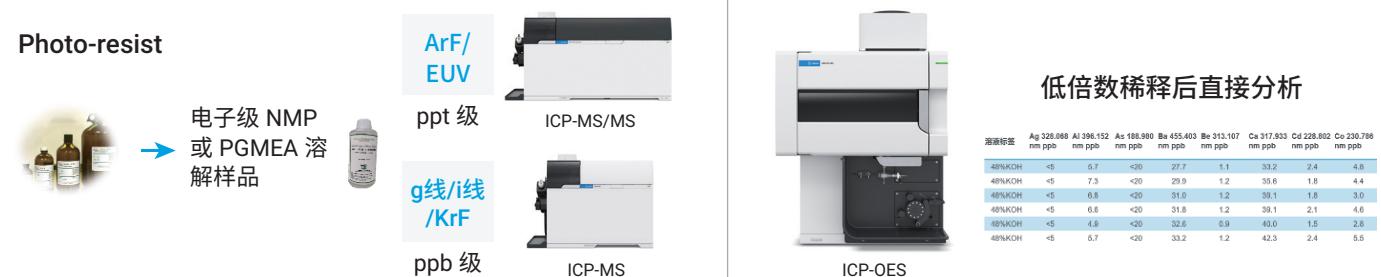
## 半导体行业元素分析解决方案 典型案例



## 超纯化学品



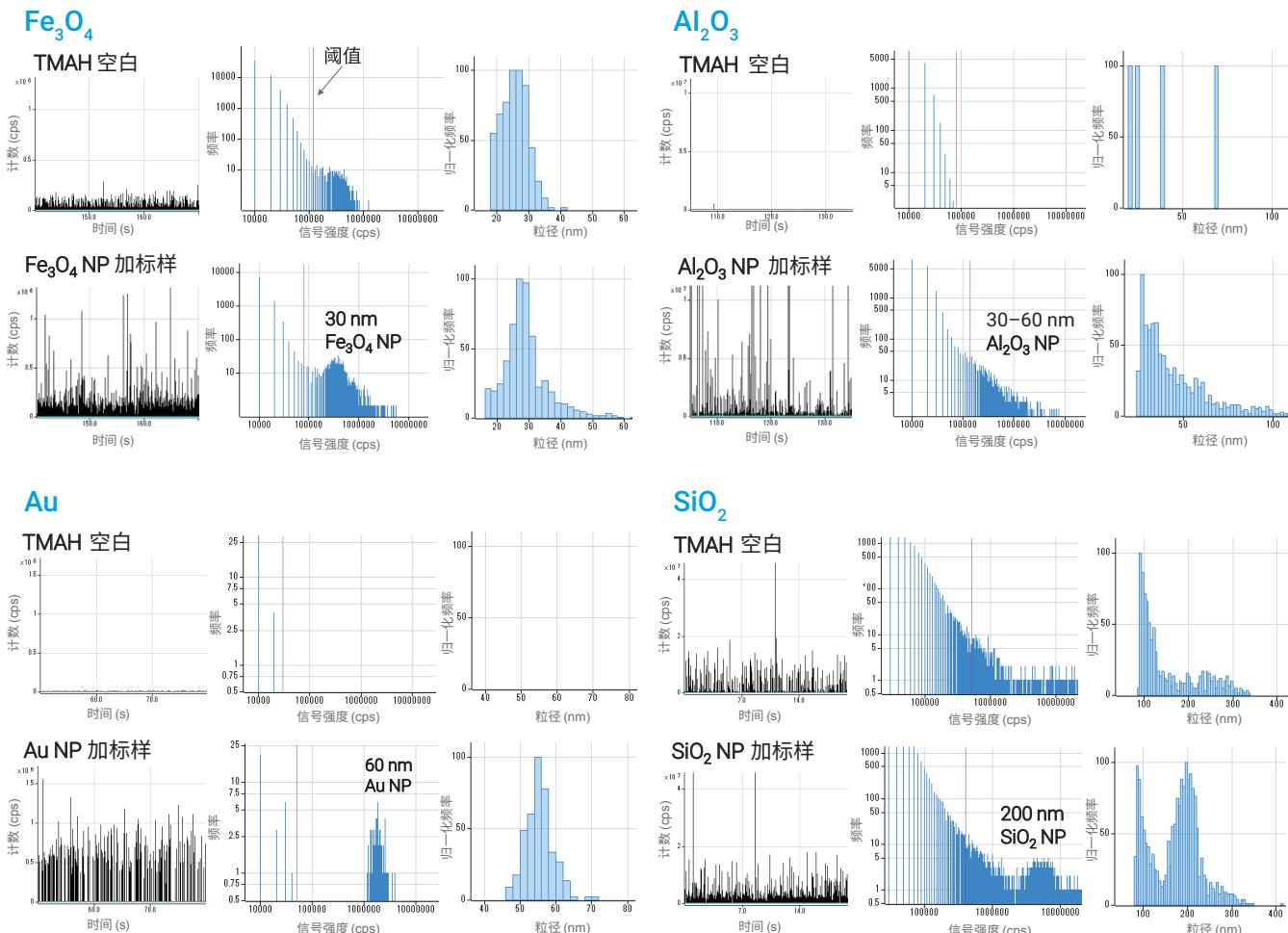
## 半导体级光刻胶及其配套试剂



安捷伦 ICP-MS 的日本研发团队在 30 多年来不断创新，引领半导体领域的无机元素分析水平从 ppt 级进入了亚 ppq 级。伴随半导体产业链的数次迁移，安捷伦台湾和大陆地区率先在行业内打造专注于半导体应用和售后支持的团队。

## 利用单颗粒 ICP-MS (spICP-MS) 测量半导体化学品中的纳米颗粒

- 通过纳米颗粒 (NP) 的多元素分析，研究颗粒污染的起因
- 监测化学品、晶圆衬底和器件表面、清洁浴槽中的金属 NP
- 在半导体级化学品中的多元素 NP 分析中，MS/MS 方法可实现低背景、高灵敏度和干扰控制
- 安捷伦快速多元素纳米颗粒分析软件，可在单次样品分析中连续采集多达 16 种 NP 的数据



- 使用 Agilent 8900 ICP-MS/MS，在多元素 spICP-MS 模式下测定 1% TMAH 中的多元素纳米颗粒；
- Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Au 和 SiO<sub>2</sub> NP 的时间分辨信号、信号分布和粒径分布图如上所示；
- Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 和 SiO<sub>2</sub> NP 的结果表明，本研究中分析的空白 TMAH 溶液中包含这两种 NP；
- 在溶液中含有大颗粒（例如 200 nm SiO<sub>2</sub> NP）的情况下，仍可测量小颗粒（例如 30 nm Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> NP）。



# 硅片中金属污染物的自动化分析

安捷伦 ICP-MS 系统能够与所有领先的自动化 VPD 扫描仪集成，实现对硅片表面污染的全自动化分析。

## 气相分解

清洁、蚀刻氧化物生长和离子注入过程可能会在半导体器件中引入金属污染。痕量污染物也可能来自用于生产块状多晶硅的石英岩（砂）以及切割晶圆的纯单晶硅锭。石英岩中的主要污染元素是铁、铝、钙和钛，而在将石英岩转化为 98% 纯硅的碳热还原过程中可能引入其他元素。然后利用气相纯化和化学气相沉积去除大部分杂质，得到纯度约为 8 个 9 的二氧化硅。

切割和抛光晶圆也可能引入痕量元素，例如来自化学机械平坦化（或抛光）浆液。最受关注的元素是过渡金属和碱性元素，但是它们未必均匀分布在晶圆中。铁可能通过硅块衬底扩散到表面氧化层中，而钛杂质水平可能因单晶 Si 键熔化和冷却过程中的偏析而变化。

为确保金属污染物不会对 IC 器件产生不利影响，必须对晶圆表面上痕量金属的浓度进行测定。当暴露于大气中的氧气和水时，晶圆表面上的裸硅层迅速氧化为  $\text{SiO}_2$ 。该自然氧化层的厚度约为 0.25 nm（一个  $\text{SiO}_2$  分子）。如果 IC 设计需要绝缘膜，则在  $\text{O}_2$  或水蒸气存在下将晶圆加热到 900–1200 °C，从而在晶圆表面上形成更厚的氧化层。该热氧化层的厚度可达 100 nm (0.1  $\mu\text{m}$ )。对于天然和热氧化的  $\text{SiO}_2$ ，可使用气相分解 (VPD) 与 ICP-MS 相结合来测量氧化物层中极低浓度的痕量金属。

安捷伦 ICP-MS 和 ICP-MS/MS 仪器可兼容所有主流的 VPD 系统，包括：

- 日本 IAS Inc.
- 德国 PVA TePla AG
- 韩国 NvisANA Co. Ltd
- 日本 NAS GIKEN



韩国 NvisANA 的 WCS M300 自动化 VPD 扫描仪系统

## 将 ICP-MS 与气相分解相结合

VPD-ICP-MS 是一种经过验证的测量硅片中痕量金属污染的方法。VPD 晶圆采样方法具有良好的灵敏度，因为它可将晶圆较大表面区域氧化层中的金属浓缩至单个液滴进行测量。

该过程（可实现全自动化）包括四个步骤：

1. 将硅片置于 VPD 室中，并暴露于 HF 蒸气中以溶解自然氧化物或热氧化的  $\text{SiO}_2$  表面层
2. 将提取液滴（通常为 250  $\mu\text{L}$  的 2% HF/2%  $\text{H}_2\text{O}_2$ ）置于晶圆上，然后以精心控制的方式倾斜，使得液滴在晶圆表面上“扫掠”
3. 随着提取液滴在晶圆表面上移动，它会收集溶解态  $\text{SiO}_2$  与所有污染物金属
4. 将提取液滴从晶圆表面上转移至 ICP-MS 或 ICP-MS/MS 系统中进行分析

## ICP-MS 或 ICP-MS/MS 与 VPD 联用的优势

可手动执行 VPD，但是经验丰富的操作人员才能从  $\text{SiO}_2$  层中获得一致的溶解态金属回收率。VPD 还可以与各种元素分析技术联用，以定量分析金属污染。但是，使用 ICP-MS 或 ICP-MS/MS 能够为所有必需的分析物提供高灵敏度和低检测限优势，同时自动化 VPD 过程可确保一致性并降低污染的可能性。

Agilent 7900 和 8900 ICP-MS 仪器均可与 VPD 系统集成，对硅片中的金属杂质进行全自动化分析。两种系统均可提供分析热氧化  $\text{SiO}_2$  所需的良好的基质耐受性，其中提取液滴中的  $\text{SiO}_2$  基质浓度可高达 5000 ppm（取决于氧化物层的厚度）。8900 还具有 MS/MS 操作的优势，相比任何 ICP-MS，其能提供最有效的干扰去除，实现更低的检测限和更高的准确度。



与 Agilent 8800 ICP-MS/MS 集成的由 PVA TePla 制造的 Munich Metrology 晶圆表面测量系统 (WSMS)



与 Agilent 8800 ICP-MS/MS 集成的由 IAS Inc. 制造的全自动 VPD-ICP-MS 系统 Expert PS。

图片由法国克罗勒的 ST Microelectronics 提供



## 创新从未止步 — 安捷伦：气相色谱领域的先锋

### 半导体行业有机分析解决方案

- 晶圆表面或其他半导体材料（例如光刻胶、气体和化学品）中的有机污染物
- 化学品中未知有机物痕量杂质鉴别，协助成分分析 / 配方剖析
- 过滤器等半导体工艺部件的污染物控制
- 半导体超净室内的挥发性有机污染物分析
- 按照法规要求（例如 RoHS、REACH 等）测定电子电气中的有害有机物



最新智能互联 GC 系统

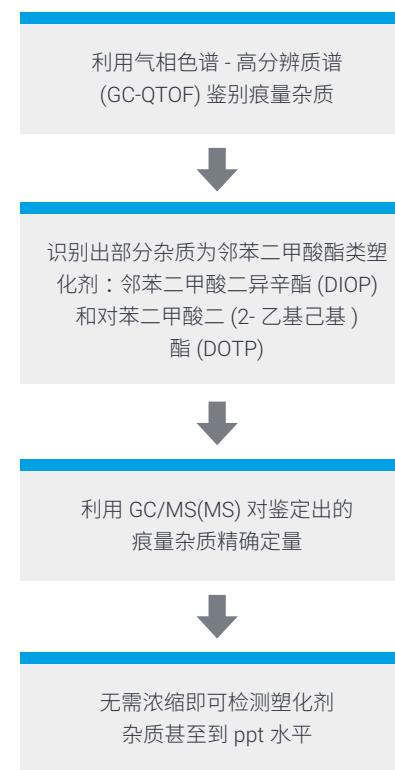
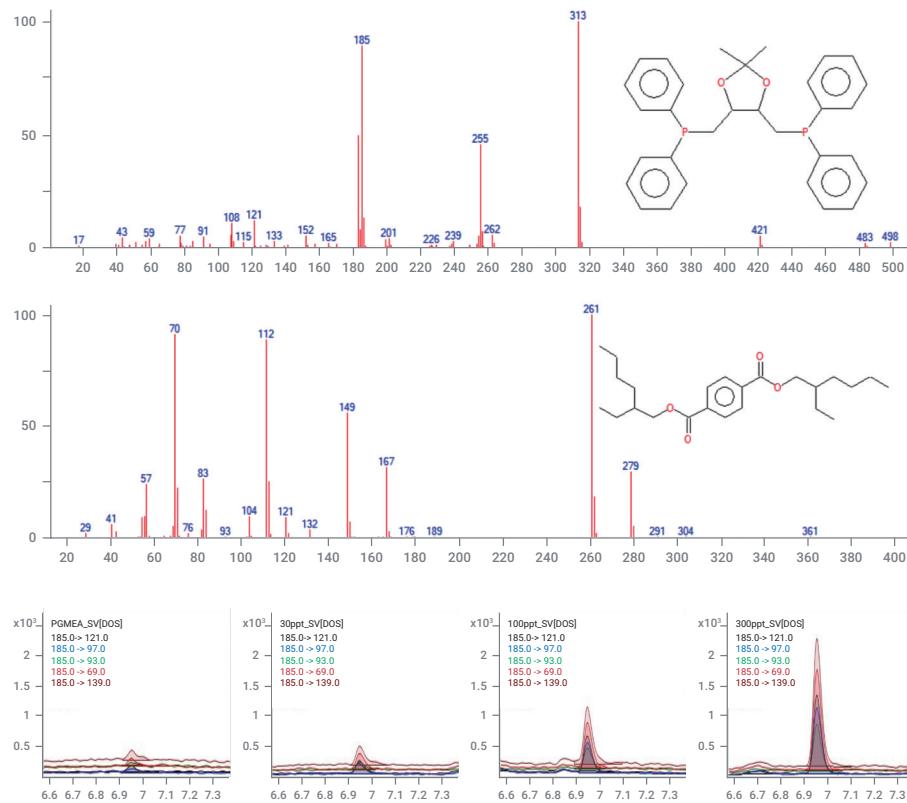
### 有机分析的常规手段



质量稳定、可靠的特定解决方案

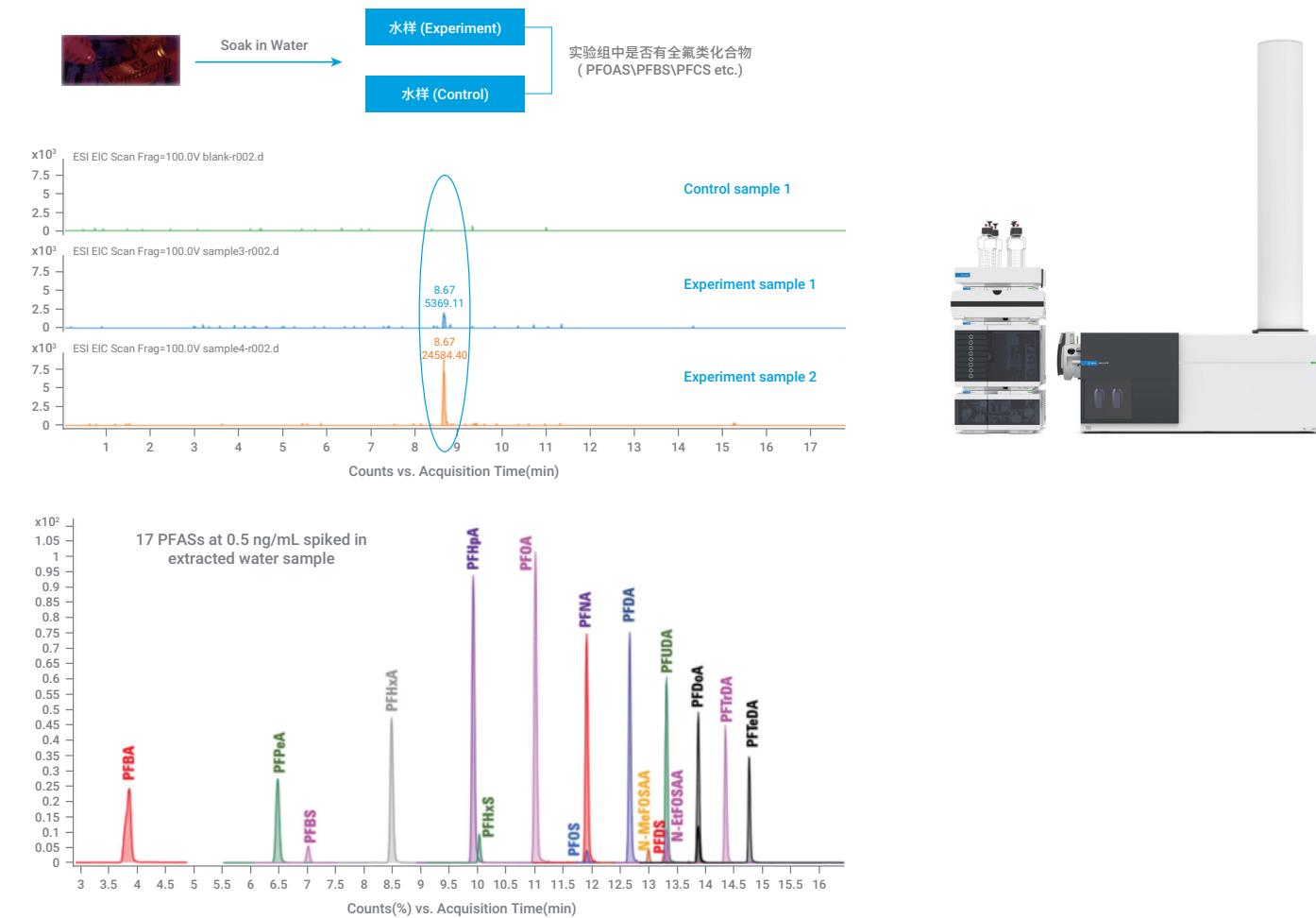
## 半导体行业有机分析解决方案 — 典型案例 1

- 高分辨率、高灵敏度色谱、质谱助力未知杂质鉴别
- 丙二醇甲醚 (PGME) / 丙二醇甲醚醋酸酯 (PGMEA) 中杂质的定量控制



## 半导体行业有机分析解决方案 — 典型案例 2

- 浸没式 ArF 光刻胶在水中迁移物质的研究
- 光刻胶中造成有害迁移的主要物质是光致酸产生剂 (PAG)，其阴离子主要为 PFAS 类化合物
- 其迁移物量过高会造成良率下降 (如水印、T-topping 效应) 以及光刻机镜头损坏
- 利用 LC-MS/MS 进行 PFAS 类产酸剂的定性定量分析



### Instruments



Agilent Ultivo  
Triple Quadrupole  
LC/MS (LC/TQ)



Agilent 6495C Triple  
Quadrupole LC/MS



Agilent 6546 LC/Q-TOF

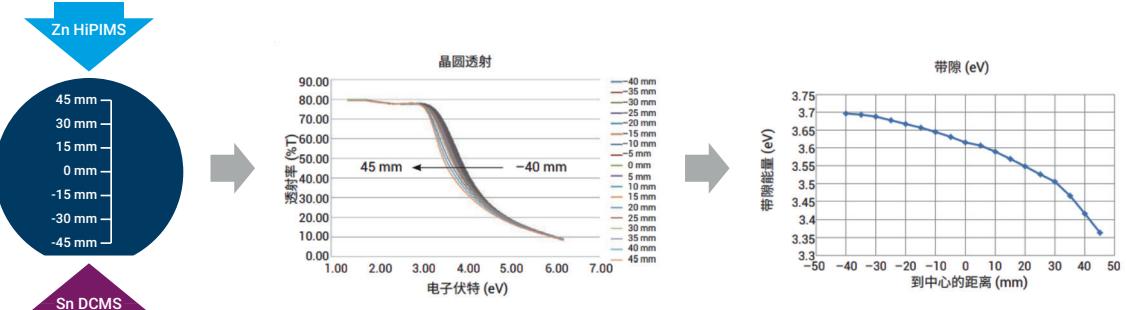
### Consumables



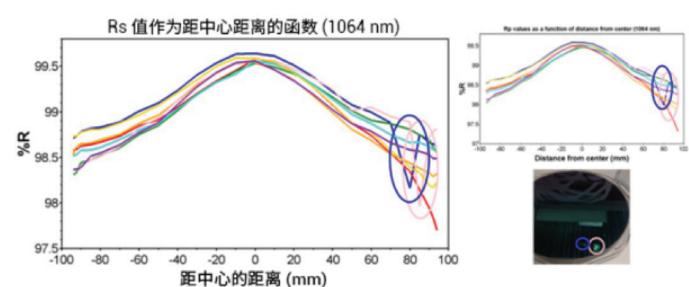


## 半导体材料光学性能分析

- CPU、RAM 等终端设备中镀膜硅片透射 / 散射 / 反射等光学性能测试
- 晶片涂层表面的光学性能表征，评估涂层均匀性等性能
- 借助光学性能测试结果，确定并克服涂层工艺中潜在的变异性



- 使用配备固体自动进样器的 Agilent Cary 7000 全能型分光光度计 (UMS) 对涂层晶圆的光学性能进行分析
  - 沉积方向示意图和晶圆方向的坐标系统。Sn 采用 DCMS 方式沉积，Zn 采用 HiPIMS 方式沉积。以 5 mm 的间隔对 -40 mm 至 45 mm 区间进行光谱测量，获得整个晶圆直径上 11 个位置的透射光谱
  - 通过采集透射光谱，将 ZTO 基底的带隙能量映射到晶圆的整个直径范围内
  - 数据显示出一些差异，例如沉积过程造成晶圆顶部的 Zn 浓度最高，因而频率较低



- 使用 Cary 7000 UMS 在 1064 nm 下对光学晶片进行的反射率测试
- 从光学晶片测量点到中心的距离绘图，结果表明：
  - 从晶片中心到边缘的反射率均有所下降，各条曲线之间的高度相似性和一致性表明晶片具有中心对称的光学轮廓
  - 随后通过目视检查，可将 90° 弦线上 80 mm 直径处以及 67.5° 弦线上 85 mm 处的 Rs 和 Rp 异常值直接归因于晶片表面的污染



## 真空解决方案

服务于半导体市场以及其上游供应商的整个产业链。提供真空泵（油泵、干泵）、检漏仪、真空计、真空管路配件、阀门等产品，适用范围包括：

- 半导体制造、封装设备、检测设备
- 晶体生长、外延设备
- 高纯气体管路检测及安全性保障
- 传感器气密性检漏

### 真空泵

安捷伦为多个知名品牌的质谱仪器提供真空系统。作为检测仪器无油化的先锋，安捷伦已经将无油干式真空泵应用于 GC/MS、GC/QQQ、LC/MS 等仪器。同时，我们也为实验室及各种工业应用提供从粗真空到高真空、超高真空的多种真空获得和测量设备。



### 真空检漏

HLD 系列检漏仪将彩色触摸屏操作的简易性和智能化高级专家系统完美结合。其中配置干式前级泵的干式检漏仪方便运输、易于保养，是高频次氦气检漏的必备工具。

### 真空测量

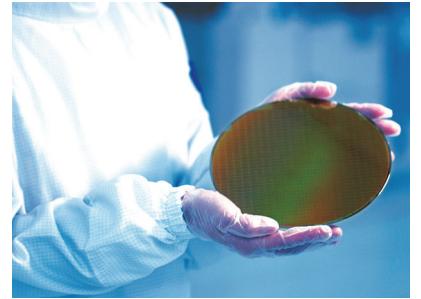
安捷伦提供多种主动式和被动式真空计以及控制器，可在大气压到 UHV/XHV 范围内进行精确、可靠的真空控制和测量。其中包括热电偶 (TC)、B-A 型 (BA)、皮拉尼、反磁控 (IMG) 和热灯丝 (HFIG) 真空计。安捷伦真空计控制器与安捷伦真空计及同类厂商的真空计均可兼容，最多可处理 12 个通道。安捷伦控制器配备多个通讯接口，包括 Profibus、以太网和 RS-232/485（其他接口可根据需要索取）。

# 安捷伦半导体完整解决方案合辑



## 半导体无机杂质分析方案

Semiconductors & Electronics Testing Applications



### 晶圆和半导体材料杂质分析

晶圆、CMP 研磨液。REE 材料，以及光刻胶化学品等材料的痕量污染物监控很关键。

[了解更多](#)



### 半导体制程化学品杂质分析

痕量污染物对半导体制程影响巨大。点击了解半导体制程化学品杂质分析相关更多信息半导体工艺。

[了解更多](#)



### 电子气体杂质分析

创新、高效的电子气体中杂质直接分析法。

[了解更多](#)

## 半导体与电子测试等方案

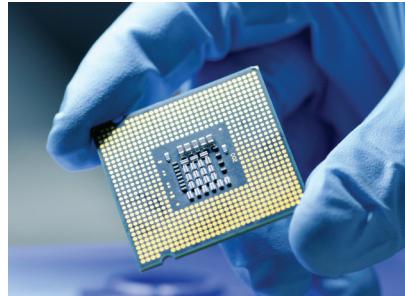
Semiconductors & Electronics Testing Applications



### 半导体无机杂质分析

对晶圆、溅射靶材、制程化学品、光刻胶及电子特气等材料中的痕量及超痕量金属杂质进行监控。

[了解更多](#)



### 半导体有机杂质分析

对半导体制造过程中相关的痕量有机杂质进行监控。

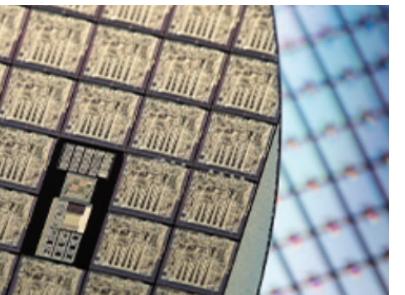
[了解更多](#)



### 材料的环境健康与安全合规性

安捷伦提供环境健康与安全 (EH&S) 测试技术以帮助企业符合 EH&S 法规。

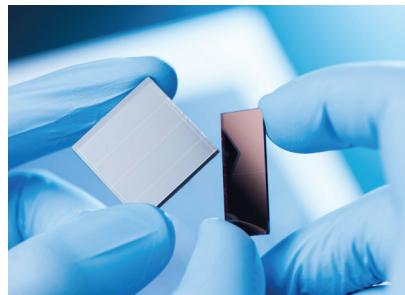
[了解更多](#)



### 半导体中的颗粒分析

用于监测化学品以及晶圆加工和清洗中的金属纳米颗粒 (NPs) 和溶解性金属杂质的解决方案。

[了解更多](#)



### 光学器件和组件分析

安捷伦紫外 - 可见和紫外 - 可见 - 近红外分光光度计提供完整的光学器件和组件分析方案。

[了解更多](#)



### 半导体和电子行业中的真空及真空检漏方案

真空泵、真空测量，以及精确、耐用、易用的真空检漏方案助您节省时间和成本。

[了解更多](#)

查找当地的安捷伦客户中心：

[www.agilent.com/chem/contactus-cn](http://www.agilent.com/chem/contactus-cn)

免费专线：

800-820-3278, 400-820-3278(手机用户)

联系我们：

[LSCA-China\\_800@agilent.com](mailto:LSCA-China_800@agilent.com)

在线询价：

[www.agilent.com/chem/erfq-cn](http://www.agilent.com/chem/erfq-cn)



微信搜一搜

安捷伦视界

**[www.agilent.com](http://www.agilent.com)**

DE. 89595162

安捷伦对本资料可能存在的错误或由于提供、展示或使用本资料所造成的间接损失不承担任何责任。

本文中的信息、说明和技术指标如有变更，恕不另行通知。

© 安捷伦科技（中国）有限公司, 2022  
2022年8月, 中国出版  
5994-4747ZHCN