



HORIBA

先进材料与半导体
腐蚀过程

腐蚀过程研究与分析 解决方案

探析腐蚀过程，为材料选型、结构设计
及防护工程提供科学支撑

腐蚀过程研究

腐蚀的成因与涉及领域

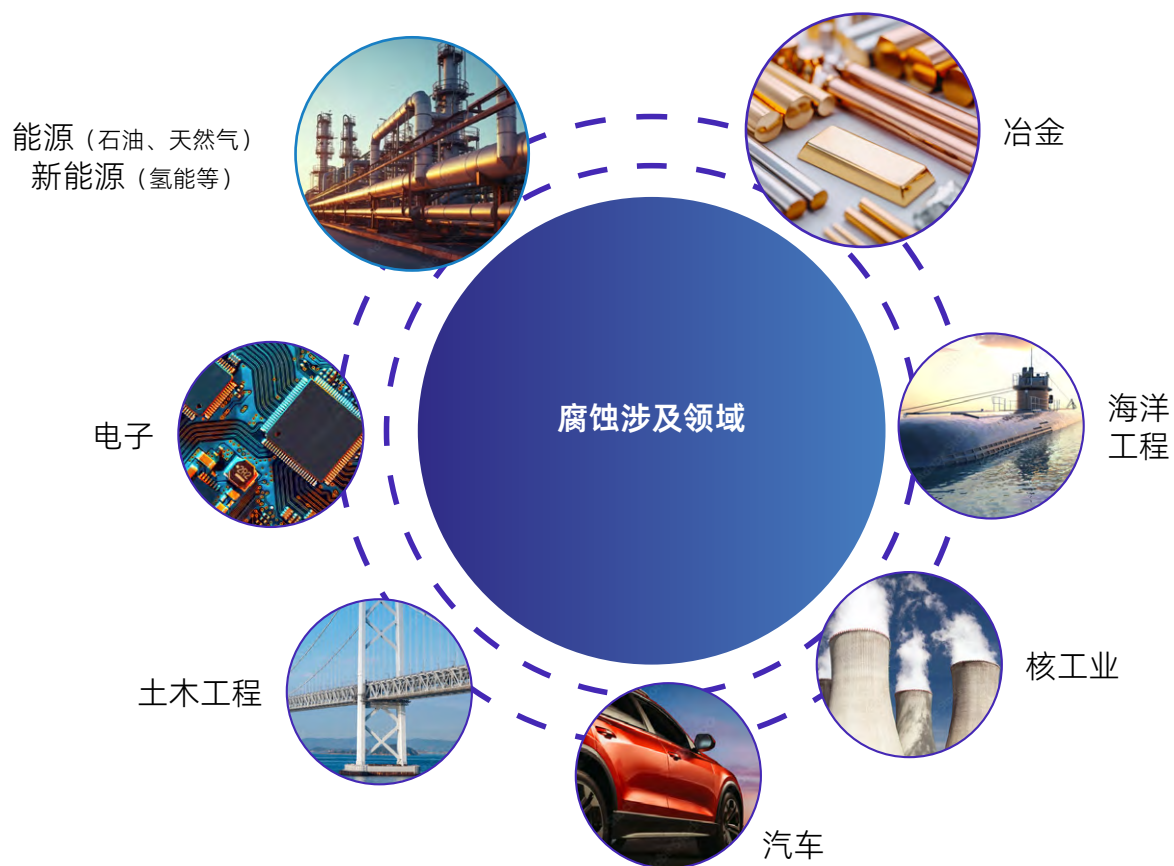
腐蚀（局部或均匀）由环境与力学因素共同驱动：

环境因素

pH 值、温度、化学物质、辐射等会加速材料降解，引发失效，威胁安全性与使用寿命。

力学因素

应力与磨损会破坏表面完整性，使金属在受力/摩擦中更易腐蚀。



什么是腐蚀？

腐蚀是金属等材料与环境发生化学反应而逐渐劣化的过程，导致材料强度下降、表面性质改变及性能衰退。探究腐蚀机理，可为科研及工业应用带来多重实用价值：

精准预测与监测

通过先进技术实现腐蚀早期预警

新材料开发

研发耐腐蚀材料与防护涂层

可持续合规

满足环保法规，推动回收再利用

腐蚀与防护涂层研究极具复杂性，需依托多元的检测技术。HORIBA 一站式解决方案可从宏观、微观至纳米尺度，全面支撑腐蚀与防护涂层研究，并深入进行腐蚀根因溯源分析，为机理探究与工艺优化提供可靠依据：

- **元素分析仪**：检测金属中氢含量
- **原子发射光谱电化学 (AESEC)**：原位实时监测表面反应
- **辉光放电光谱 (GD-OES)、拉曼光谱**：分析钝化膜/多层涂层成分、厚度及退化机制
- **X射线荧光 (XRF)、电感耦合等离子体发射光谱仪 (ICP-OES)**：控制电镀效率，检测镀液污染
- **原子力显微镜 (AFM)、拉曼光谱**：表面成像定位局部腐蚀
- **颗粒表征仪 (PCA)、分子荧光光谱**：解析转化涂层/有机涂料配方

HORIBA 仪器可全面表征材料、界面及工艺，优化产品设计与防护体系。



腐蚀研究中的分析需求



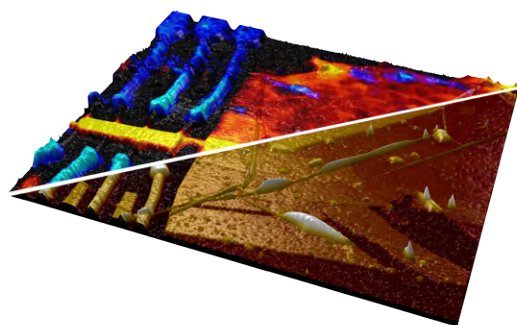
材料选型中的元素分析

材料元素组分、剖面分布及涂层成分，直接影响耐腐蚀性能。HORIBA 电感耦合等离子体 (ICP)、X 射线荧光光谱 (XRF) 等技术，可为选材、防腐设计提供可靠依据。

- **元素组成检测：**遵循行业标准进行精确测定
- **深度剖面分析：**采用 HORIBA 脉冲射频辉光放电光谱仪 (**GD-OES**) 可实现纵深成分扫描，辨析腐蚀环境下出现的元素表面迁移
- **防护涂层表征：**对纳米级至数十微米厚度的防腐涂层开展元素分析



分子与结构研究



探究材料分子与结构特征，是解析腐蚀成因、完善防护体系的关键。HORIBA 拉曼光谱 (Raman)、原子力显微 (AFM) 及粒径表征技术可实现：

- **分子结构检测：**无损获取微区分子与结构信息，借助探头远程实时观测腐蚀过程
- **表面形貌分析：**实现多模态成像，识别易引发腐蚀的局部不均匀区域
- **颗粒分析：**通过粒径分布、表面电位及比表面积，评估材料腐蚀敏感性与防护效能



环境交互作用研究

材料与环境的相互作用是诱发腐蚀的关键因素，开展相关研究可深度解析腐蚀发生机制。HORIBA 可提供高效检测方案，助力机理探究：

- **原位监测：**追踪流动电解液环境下材料表面的动态变化
- **产物分析：**完成腐蚀溶解产物的化学检测
- **变量研究：**针对时间、温度、pH、压力等参数开展离线调控实验



原位显微拉曼光谱仪



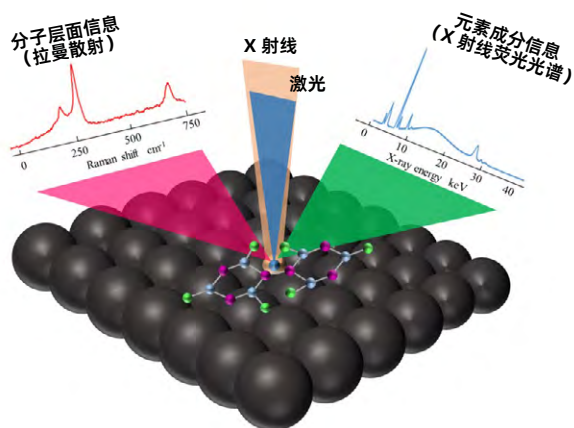
紧凑型 PH 计



多技术联用分析

单一检测技术存在局限，需搭配多维分析手段综合研判。HORIBA 仪器可灵活对接各类主流分析技术，实现协同检测：

- **技术兼容：**可搭配扫描电镜（SEM）、X 射线光电子能谱（XPS）等表面分析设备联用
- **组合分析：**GD-OES 结合拉曼光谱，在溅射坑不同深度进行元素-分子联合剖面分析
- **跨平台共定位分析：**依托微区 X 射线荧光光谱（ μ -XRF）、显微拉曼及 navYX 定位系统，实现跨仪器同点位精准复测



腐蚀研究解决方案

原子发射光谱电化学 (AESEC)

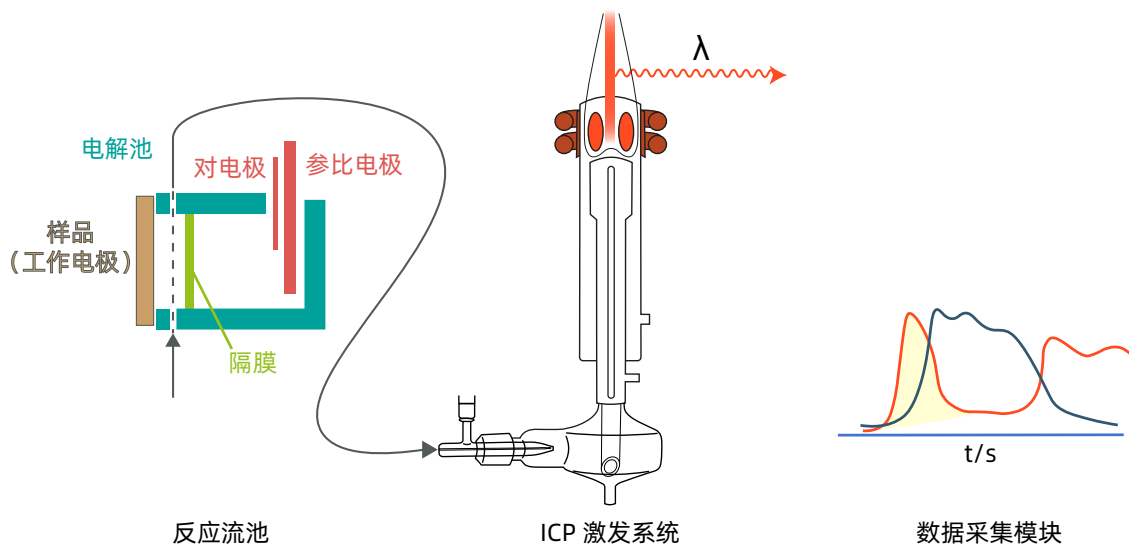
AESEC 技术将电感耦合等离子体 (ICP) 与电化学相结合，用于研究电化学反应过程中元素的变化规律。

- 电化学反应过程中元素变化的实时监测
- 超快、高分辨率、宽动态范围检测
- 痕量元素的高灵敏定量分析
- 复杂混合物中不同元素的具体识别与定量分析

AESEC 可通过监测腐蚀过程中的金属离子析出，研究金属及合金的腐蚀行为，同时也能分析金属在电极表面的沉积过程。

该技术可解决：

- 金属/合金 (Cu、Fe、Al、Ni、Ti、Zr、Cr 及 Mo 等) 腐蚀行为解析；
- 合金组分的选择性溶解机制；
- 溶解与成膜化学计量比测定。



AESEC 系统原理框图

文献来源: CORROSION, 2019, 75(12):1398-1419

辉光放电光谱 (GD-OES)



GD-Profiler 2™
辉光放电光谱仪

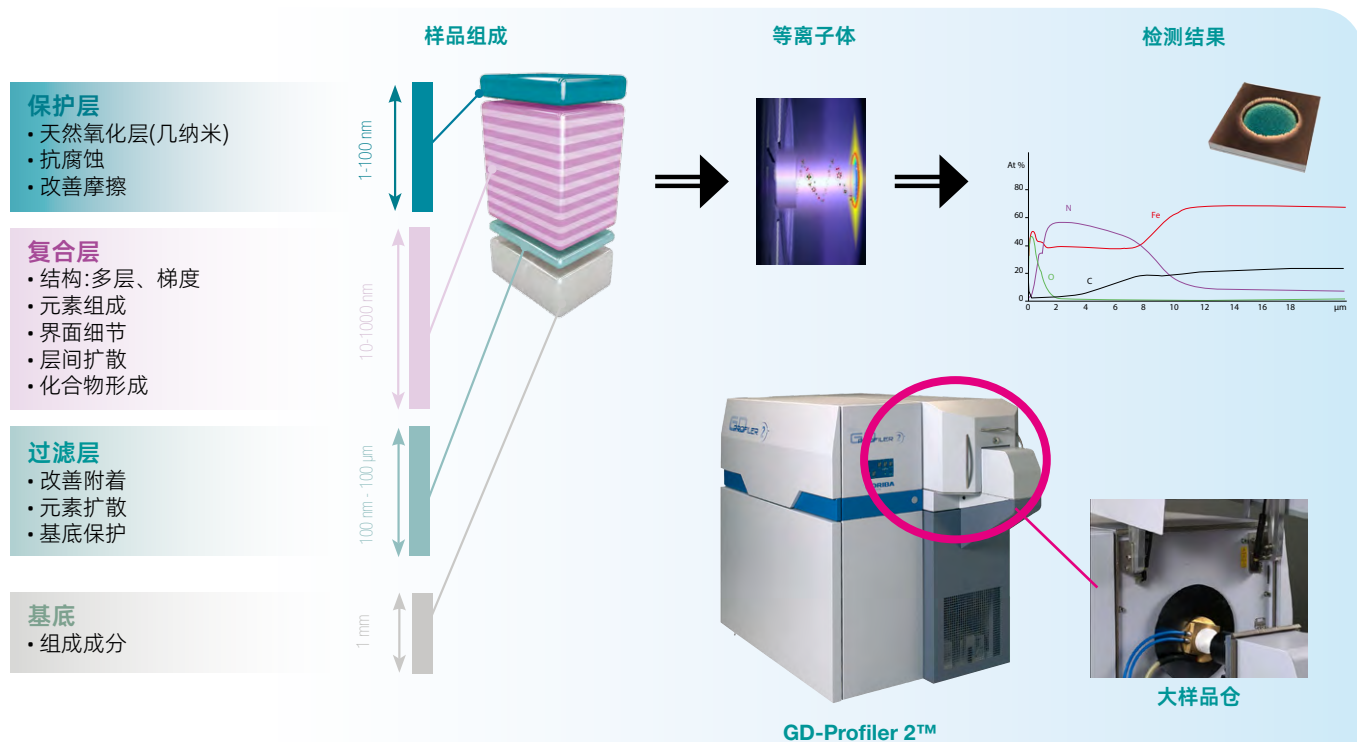
辉光放电发射光谱 (GD-OES) 可提供材料表面及亚表层的元素组成的详细信息。

- 检测所有元素 (含 O、H、D、Cl 及 S 等轻元素)
- 超快深度剖面分析
- 专利实时深度测量技术 (DIP) [1]
- 聚合物/碳层的专利高速溅射模式 (UFS) [2]

GD-OES 样品制备简单, 检测快速灵敏, 依托高精度深度剖面分析, 可有效解析腐蚀机理。

该技术可解决:

- 氧化层成分与厚度测定
- 大批量样品快速统计评估
- 环境作用下涂层元素迁移规律



[1] DIP 专利号: On-line Interferometer, JP60729849, WO2015/166189A1, FR3020684A1

[2] UFS 专利号: JP 50829322, EP 2434275 A1

腐蚀研究解决方案

拉曼光谱技术

拉曼光谱利用激光与材料的相互作用来研究腐蚀，可以在不损坏样品的情况下提供详细的分析信息。

- 微米级腐蚀膜层结构与分子组成分析
- 原位表征能力
- 光纤探头 (SuperHead) 支持远程在线监测

拉曼光谱可对腐蚀产物进行高分辨 Mapping 分析，解析成分与结构变化；同步光致发光（PL）检测能非破坏性地定位腐蚀位点、监测涂层状态；搭配 SuperHead 还可实现远程 / 在线观测，为腐蚀研究提供多维度支撑。

该技术可解决：

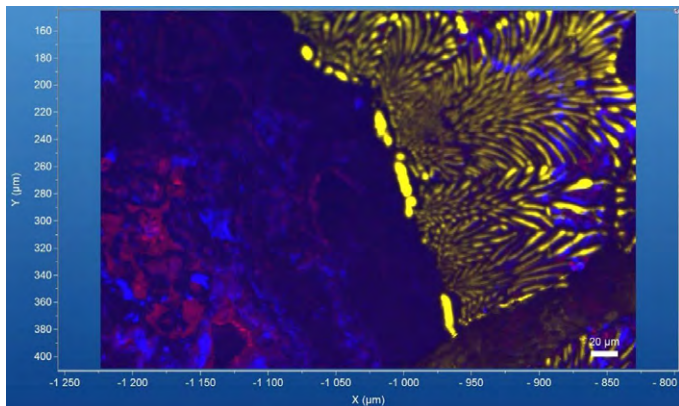
- 判断材料成分是否符合其规格要求
- 确定材料表面形成的腐蚀产物的种类
- 判断材料和涂层之间的界面处是否发生相变
- 明确腐蚀速率随时间的变化规律



LabRAM Soleil
高分辨超灵敏智能拉曼成像仪



SuperHead
光纤探头



PL 测量例：
通过发光特性差异区分相同物相但氧化程度不同的腐蚀产物（如共晶赤铜矿未腐蚀/腐蚀态鉴别）

黄色：共晶铜
蓝色：共晶铜腐蚀
红色：铜腐蚀

氧氮氢分析技术



EMGA-Expert
氧氮氢分析仪

EMGA 氧氮氢分析仪是一款专用设备，可精确测定各类材料中的氧、氮、氢含量。

- 氧、氢元素精准测量的参考级技术
- 测量范围宽，可实现从亚 ppm 级到百分之几十含量的高精度分析
- 搭配自动化进样系统，可有效节省检测时间。

EMGA 氧氮氢分析仪依托惰性气体熔融技术，精确测定氧、氮、氢含量，为腐蚀研究、材料及涂层优化提供依据。设备样品制备简便，取样量小，可快速分析无机芯片、器件引脚、粉末等样品。

该技术可解决：

- 通过氧含量数据进行氧化物类型判定
- 升温熔融过程中的物相转变分析
- 氢脆风险量化评估

AR-637	样品重量 (克)	氧含量 (ppm)
1	0.1016	21.6
2	0.1015	20.6
3	0.1019	23.4
4	0.1008	21.5
5	0.1007	21.7
6	0.1016	22.8
7	0.1004	22.5
8	0.1013	21.0
9	0.1014	22.3
10	0.1015	20.7
平均 (ppm)		21.81

钛合金氢含量检测结果
AR-637 参考值：25 ± 4 ppm

腐蚀研究解决方案

多模态联用系统 AFM-Raman



SignatureSPM
化学原子力显微镜

化学原子力显微镜（SignatureSPM）可通过高分辨表面成像，观测腐蚀起始、表面粗糙度与结构完整性的演变。与拉曼光谱结合，可进行：

- 材料表面形貌与腐蚀演化表征；
- 腐蚀作用机理深度解析；
- 防腐涂层防护效能评估。

SignatureSPM 是基于自动化 AFM 平台打造，可以集成拉曼与光致发光光谱仪的多模态表征系统。

该技术可解决：

- 表面形貌与纳米化学信息的获取
- 物理和化学的共定位测量

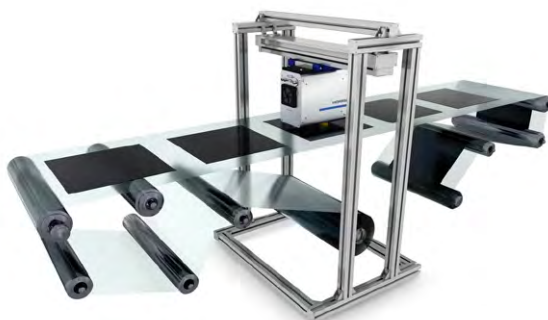
微区/在线 X 射线荧光光谱技术 XRF

X 射线荧光光谱可获取材料精细元素分布图谱，并测定涂层 / 材料厚度。

- 无损元素 Mapping
- 实时连续监测涂层厚度
- 横向分辨率达 10 μm (XGT-9000)
- 燃料电池/电解槽卷对卷 (R2R) 涂层质检 (XV-100)



XGT-9000
微区 X 射线荧光分析仪



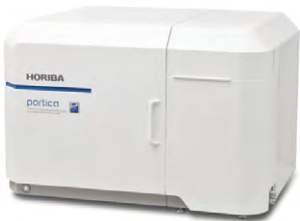
XV-100
CCM/MEA 催化剂涂层质量在线监测仪

更多其他分析技术

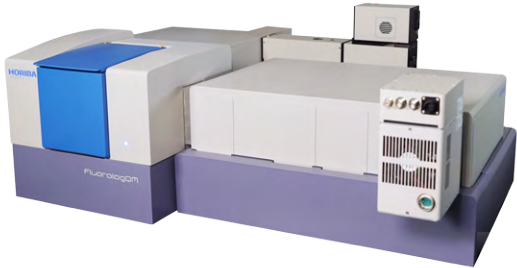
应用场景	应用方向	HORIBA 解决方案
在液相环境中分析薄膜特性	超薄膜表征	椭圆偏振光谱仪 UVISEL Plus
	钝化膜/润滑膜	
根据颗粒的尺寸分布、表面电位和表面积了解腐蚀环境	环境腐蚀性评估	颗粒表征仪 LA-970
	缓蚀剂效能分析	
	涂层配方开发	
	降解产物研究	
无损分析腐蚀产物与过程，实现分子级腐蚀表征	腐蚀产物特异性识别	分子荧光光谱 Fluorolog-QM
	缓蚀剂荧光标记追踪	
	腐蚀进程时序监测	



UVISEL Plus
研究级经典型椭偏仪



LA-970
激光粒度分析仪



Fluorolog-QM
科研级荧光光谱仪

HORIBA

☎ 400-888-0287
✉ info-corp.cn@horiba.com
🌐 www.horiba.com/chn



官方公众号



产品咨询

若产品规格型号发生变化，恕不另行通知。未经许可，禁止拷贝本手册部分或全部内容。（本手册仅供参考）| HCT-Materials-2026-V1