



复纳锂电池行业综合解决方案

表面形貌·成分分析·内部结构·安全把控·原材料改性

目录

飞纳台式扫描电镜 + 离子研磨仪 ----- P3 - P9

- 极片异物分析
- 锂电池材料真空转移及原位表征
- 裂纹 AI 自动识别



原子力显微镜系列 ----- P10 - P13

- AFM-SEM 电镜式原子力显微镜
- icspi 台式原子力显微镜



Neoscan 显微 CT 无损检测 ----- P14 - P15

- 电池材料研究、失效分析、工艺优化



ParticleX 锂电清洁度检测 ----- P16 - P19

- 安全把控问题 - 金属异物



ALD 包覆改性 ----- P20 - P25

- Forge Nano 全新电极材料 ALD 包覆改性方案
- SparkNano 锂电池极片 ALD 工业化方案



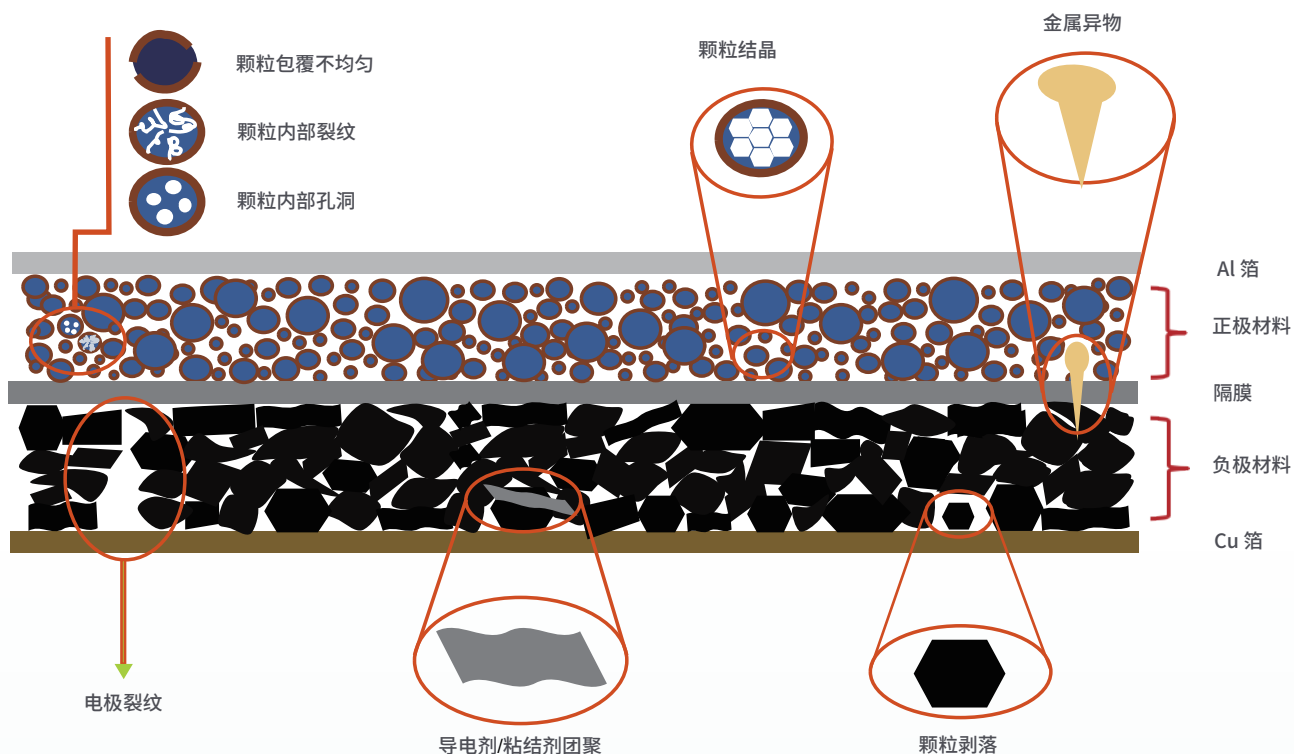
DENSsolutions TEM 原位样品杆 ----- P26 - P27

- 原位气相杆
- 原位热电杆
- 原位冷冻杆
- 原位加热杆

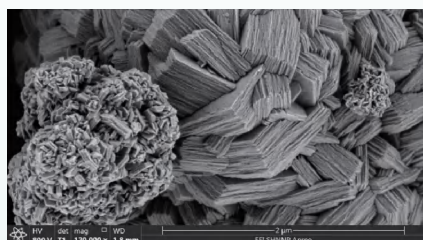


扫描电镜

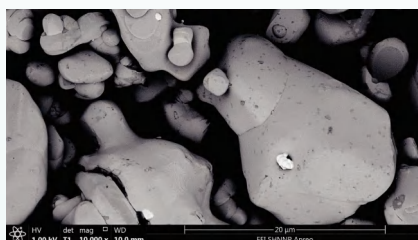
锂电池由正极、负极、隔膜、电解液等材料构成，每一个材料的改变都会对电池性能及安全性带来影响；在生产时，调整工艺参数、提高电池优率以及分析异常情况往往将花费一定时间并损耗大量物料，扫描电镜可快速表征极片形貌，轻松观测新材料的纳米级形貌变化缩短分析时间，以获得极高的生产效率。



扫描电镜可用于观测正极、负极、隔膜、铝箔等原材料，也可以用于观测极片中浆料、导电剂、粘结剂分散情况，观测辊压前后材料开裂，也能分析失效极片的黑斑区、穿刺处的形貌和元素成分，这些检测对锂电池性能提升、生产效率提高和电池安全性的改善都有重要意义。



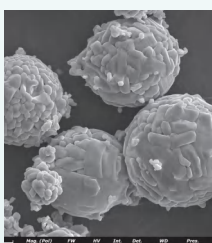
镍钴锰三元前驱



钴酸锂



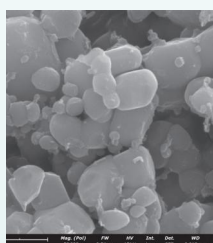
石墨负极材料



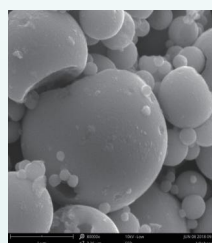
正极粉体



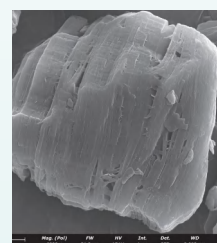
正极粉体



磷酸铁锂



纳米Fe₃O₄微球

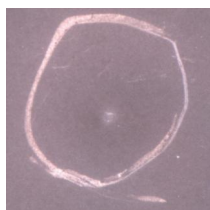


负极粉体

极片异物分析

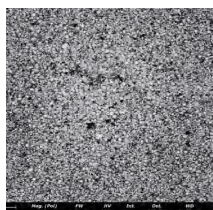
案例1:极片异物分析

光镜下发白位置



背散射成像

此处颜色更亮,推测正极颗粒较为密集



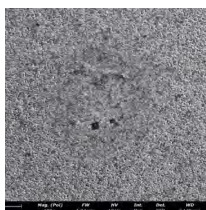
TOP模式成像

此处较为平整,沟壑相对较少



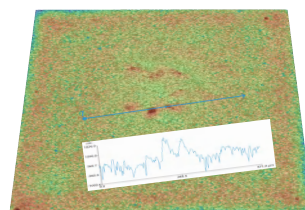
二次电子成像

此处存在无定形态异物,胶粘剂的可能性较大

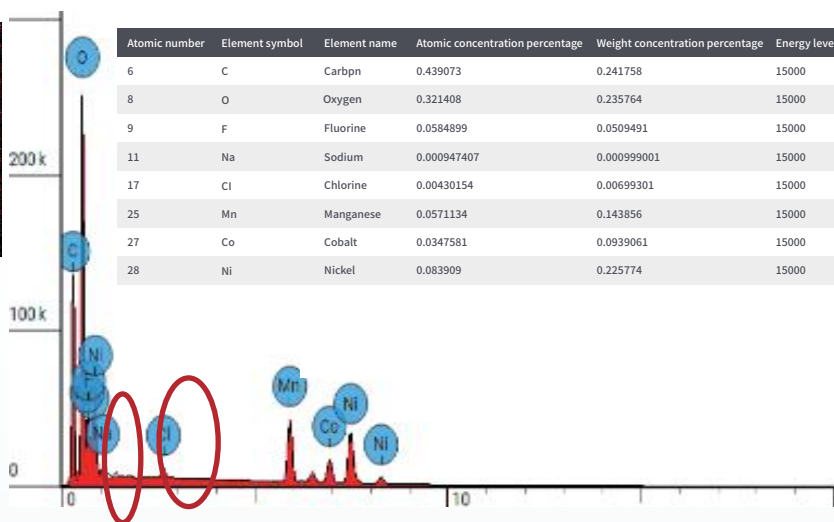
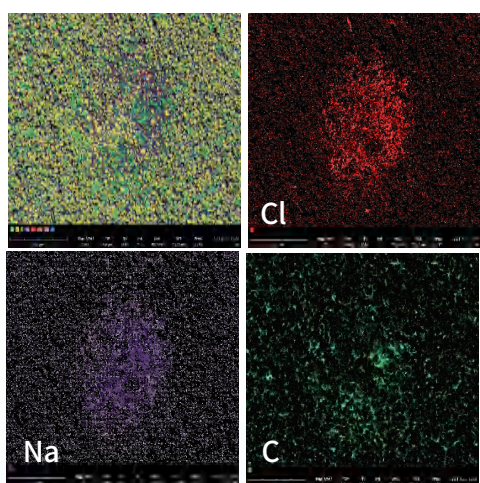


3D模式成像与测量

此处异物凸出样品表面

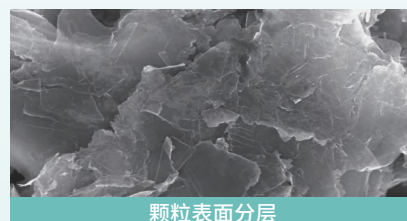
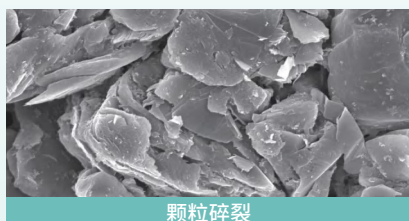
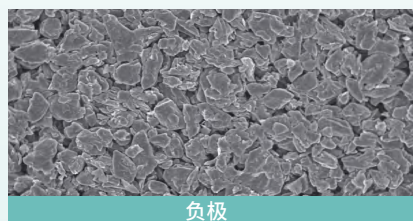
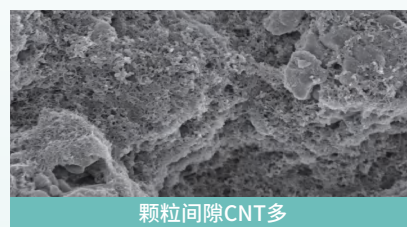
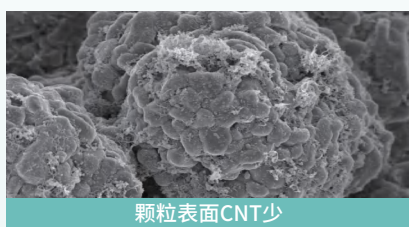
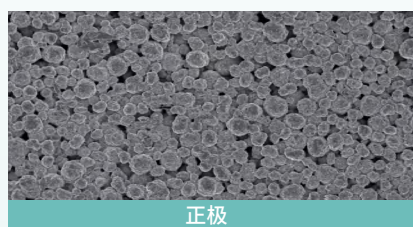


极片异物的能谱结果显示,元素分布可确认此处 Cl、Na 分布更为集中,可反向追溯前端工艺

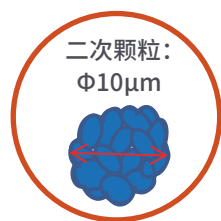


案例2:正负极极片形貌表征

通过观察正极、负极极片表面形貌,孔隙率,比较引入新物料、新工艺后极片表面形貌,快速指导生产工艺(压实密度、干燥条件、搅拌参数)。



颗粒的统计分析测量系统



二次颗粒：
Φ10μm

一次颗粒尺寸越大，锂离子固相扩散路径越长，越容易引起浓差极化使倍率性能恶化

一次颗粒达到微米级，且不发生团聚的结构能够承受更大压力而不破碎

一次颗粒的直径在0.3μm左右，材料具有好的结晶性及层状结构且阳离子混排最低



一次颗粒：
Φ300 nm~1μm

需要分析正极一次颗粒分布的原因：

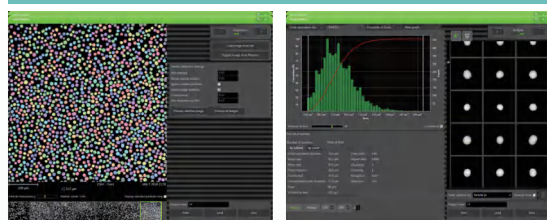
有研究显示，材料的一次颗粒以及其表面是二次颗粒各种物理、电化学性能的更基本决定因素，在磷酸铁锂和三元材料研发研究中一次颗粒粒径分布愈发重要

目前测试颗粒的方法：

1. XRD和谢乐公式：晶粒尺寸在100 nm 以下可以满足测试，100nm以上无法使用
2. 传统SEM：人为测量统计或使用三方软件对SEM照片随机取点测量

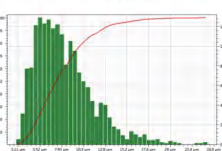
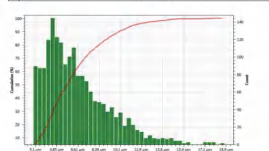
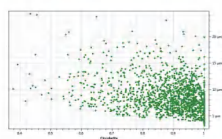
颗粒统计分析测量系统案例

二次颗粒

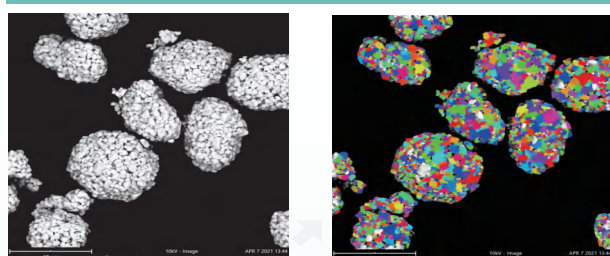


Particle properties

Property	Median	Average	Std	Max
Circle equivalent diameter	1.0 μm	1.1 μm	0.2 μm	1.4 μm
Major axis	1.1 μm	1.2 μm	0.2 μm	1.5 μm
Minor axis	0.7 μm	0.8 μm	0.1 μm	1.0 μm
Circumference	3.1 μm	3.3 μm	0.3 μm	4.2 μm
Convex hull	3.0 μm	3.1 μm	0.2 μm	4.0 μm
Circumscribed circle diameter	1.0 μm	1.1 μm	0.2 μm	1.4 μm
Area	0.7 μm²	0.8 μm²	0.1 μm²	1.0 μm²
Volume by area	0.001	0.001	0.000	0.001
Pixel count	1000	1000	100	1500
Aspect ratio	0.7	0.8	0.1	1.0
Circularity	0.9	0.9	0.1	1.0
Convexity	1	1	0	1
Elongation	0.257	0.257	0.000	0.257
Grayscale	127	127	127	255

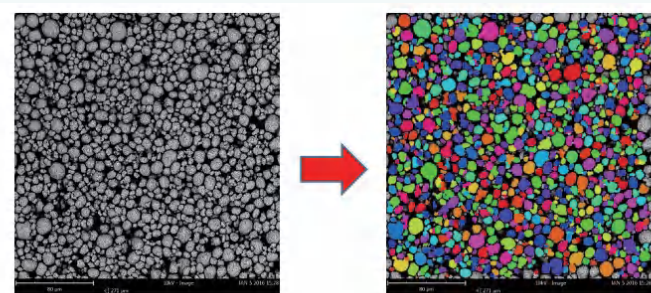
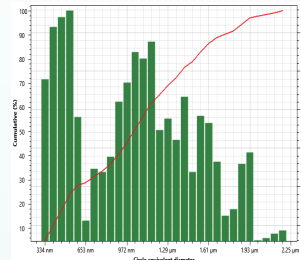


一次颗粒



Properties weighted by volume

Property	Median	Average
Circle equivalent diameter	1.09 μm	1.1 μm
Major axis	2.18 μm	2.55 μm
Minor axis	490 nm	602 nm
Circumference	1.77 μm	2.66 μm
Convex hull	1.76 μm	2.44 μm
Circumscribed circle diameter	723 nm	978 nm
Area	0.937 μm²	1.14 μm²
Volume by area	0.682 μm³	1.12 μm³
Pixel count	833	1005
Aspect ratio	0.403	0.406
Circularity	0.968	0.861
Convexity	1	0.953
Elongation	0.597	0.594
Grayscale	194	188



突破局限的分析方法：

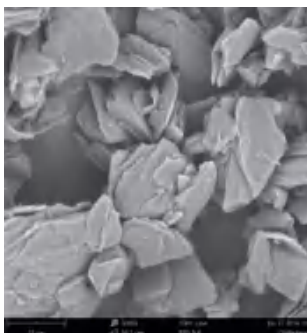
1. 内部集成式颗粒统计分析测量系统
2. 全自动批量处理
3. 丰富的数据结果
4. 统计方法可追溯，精确到每个颗粒，人为误差小
5. 在线、离线模式可选

特殊样品观察

直接观察不导电样品

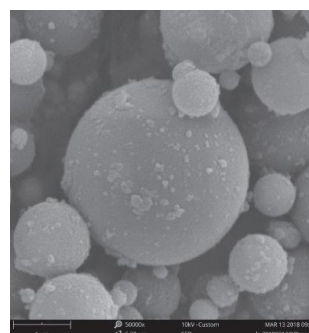
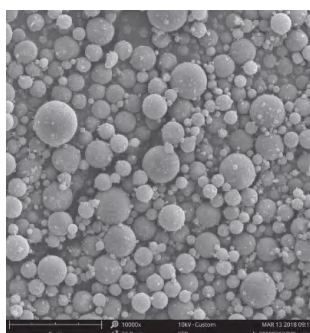


三元材料--未喷金直接观测
10,000倍下, 不喷金仍能清晰
分辨三元材料的表面形态



负极材料--未喷金直接观测
5,000倍下, 不喷金直接观察
片状石墨, 简化制样步骤

直接观察磁性样品



磁性氧化铁粉末

锂电池材料真空转移及原位表征



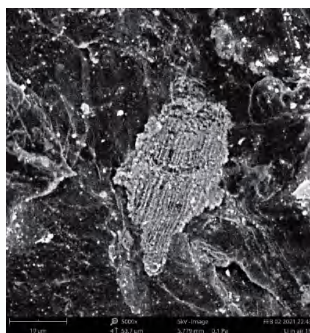
手套箱



在真空转移多功能样品杯密
封下运输样品



在扫描电镜里进行
原位充放电、加热、力循环表征

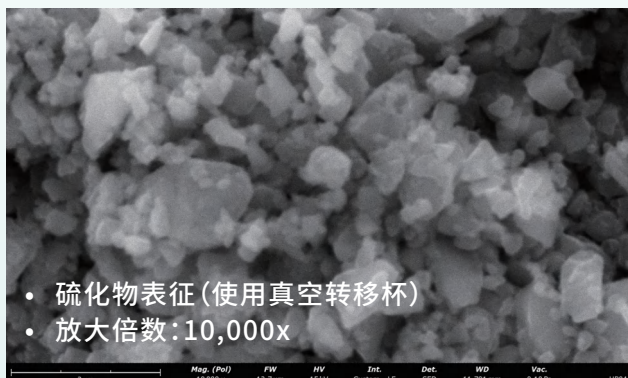


暴露于大气中



未暴露于大气中
(使用VSH)

左图是使用真空转移杯 VSH 观察锂箔的 SEM 图像。在标准样品中, 由于样品在制备过程中暴露于大气中, 表面会发生变质, 但在使用 VSH 时, 可以看到表面的形状保持不变。



- 硫化物表征(使用真空转移杯)
- 放大倍数: 10,000x

适用锂电行业的扫描电镜(多种机型可选)

台式扫描电镜



- 01 **低加速电压**
表面细节丰富, 材料表面损伤小
- 02 **不喷金直接观察**
简化制样, 适合各类型锂电材料
- 03 **不漏磁透镜**
可直接观察磁性样品
- 04 **对震动、磁场免疫**
可灵活放置于产线、厂房等复杂环境
- 05 **操作简单**
通过自动化, 降低操作难度, 适用不同经验级别的用户
- 06 **隔绝空气转移及原位表征样品**
可在不接触空气的环境中转移样品, 并进行原位通电循环表征

部分用户



四川新锂想能源科技有限责任公司

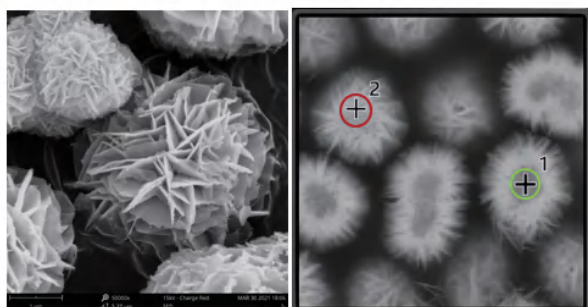
Sichuan New Li-idea Energy Science and Technology Co., LTD



离子研磨仪

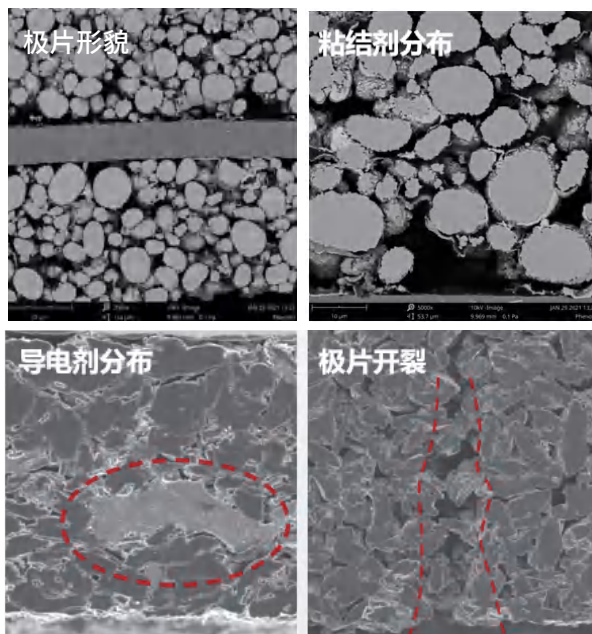
观察内部形貌及成分分析的重要性

案例1：前驱体表面和内部成分对比



element	Point 1 (Weight%)	Point 2 (Weight%)
O	45.12	49.78
Ni	29.56	24.61
Mn	13.91	14.50
Co	11.41	11.11

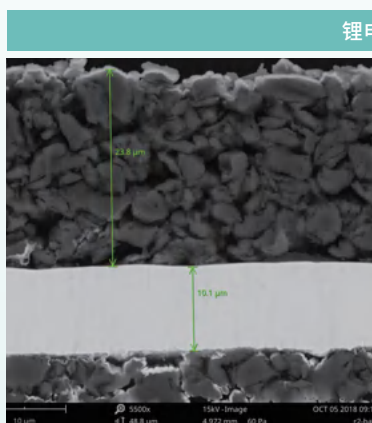
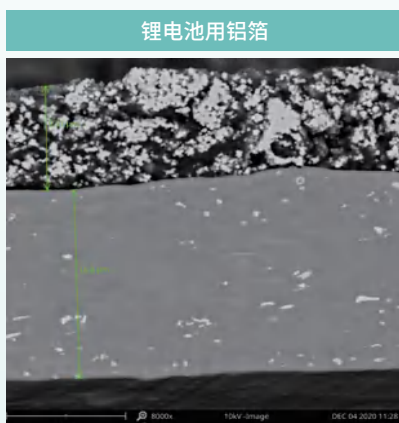
离子研磨后发现前驱体的表面和内部成分并不是完全一致的,通过观察分析内部结构及成分,有助于原材料改性的研究。



离子研磨后进行断面观察,可以有效观察极片的形貌,粘结剂、导电剂的分布情况,以及极片是否开裂

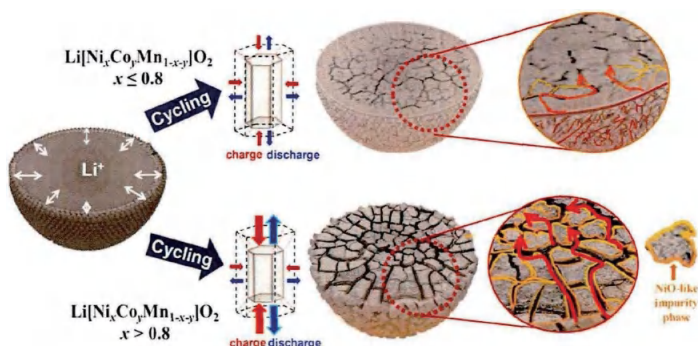
观察 Al 箔 / Cu 箔结晶相及分析成分对优化工艺有重要作用

Al 箔表面会形成具有保护作用的致密氧化膜,如果铝箔成分不纯,表面形成的氧化膜不致密,将会发生点腐蚀现象,严重则会造成表面膜破坏,生成 LiAl 合金,进而影响集流体的稳定性。通常,要求 Al 箔纯度在 98% 以上。

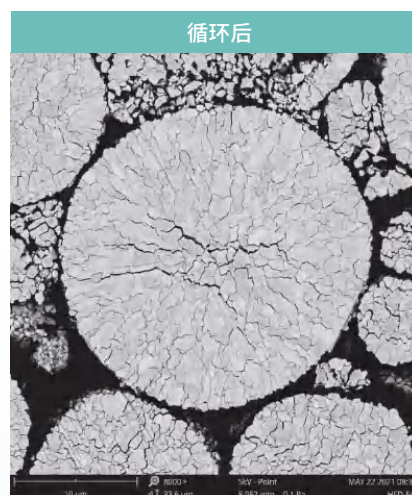
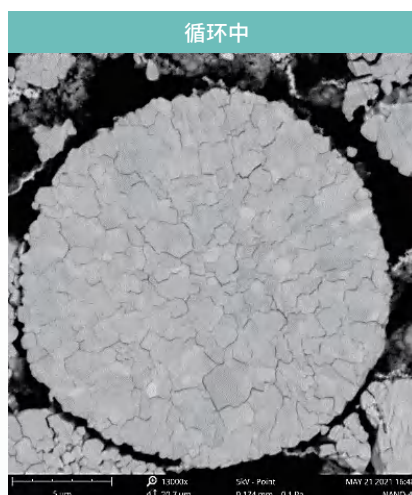
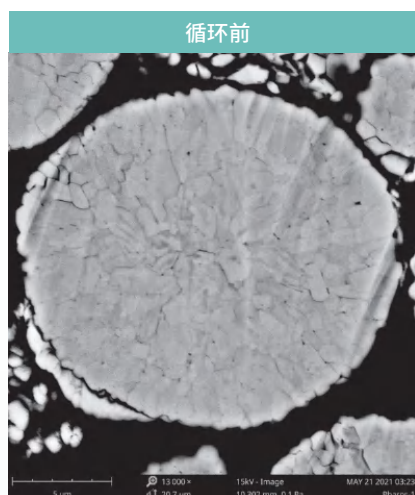


裂纹 AI 自动识别系统

裂纹示意图



随着镍含量的增加,裂纹的产生和扩展现象加剧了,高 Ni 含量的正极材料的裂纹延伸到了表面,电解液可以沿着裂纹渗入到颗粒的内部,在一次颗粒的表面生成 NiO 相,加速电池电化学性能的恶化。



离子研磨仪 SEMPREP SMART

适用于离子束剖面切削、表面抛光

可预设不同切削角度制备横截面样品

可用于样品抛光或最终阶段的细抛和清洁

超高能量离子枪用于快速抛光

低能量离子枪适用后处理的表面无损细抛和清洁

操作简单,嵌入式计算机系统,全自动设定操作

冷却系统标准化,应用于多种类样本

可选配真空转移功能



AFM-SEM 电镜式原子力显微镜

在动力电池技术迭代的赛道上，研发人员始终面临一个核心难题：如何精准把控电池材料的微观结构，实现性能的可预测、可调控？

传统表征手段要么只能提供宏观形貌，无法量化微观性能；要么需要多次换场样品变质、重复测试，数据难以关联，严重拖慢研发效率。LiteScope AFM-in-SEM，将 SEM 的全局视野与 AFM 的超高精度完美融合，可一站式完成电池材料的形貌表征、力学性能测试、电学特性分析、界面演化观测，精准定位颗粒间接触电阻、晶界缺陷、SEI 膜不均匀性等关键问题，为电池材料配方优化、工艺改进、失效分析提供真实、可靠、全面的关联数据。



Phenom AFM-SEM
原子力扫描电镜一体机



LiteScope AFM-SEM 同步联用技术 通用款兼容赛默飞世尔、TESCAN、蔡司、日立、JEOL 等主流品牌 SEM 系统，其他品牌电镜亦可定制。



测量模式

形貌特征

- 亚纳米形貌
- 表面粗糙度
- 局部弹性
- 局部硬度

相关性分析

- 相关探针电子显微镜

磁性能

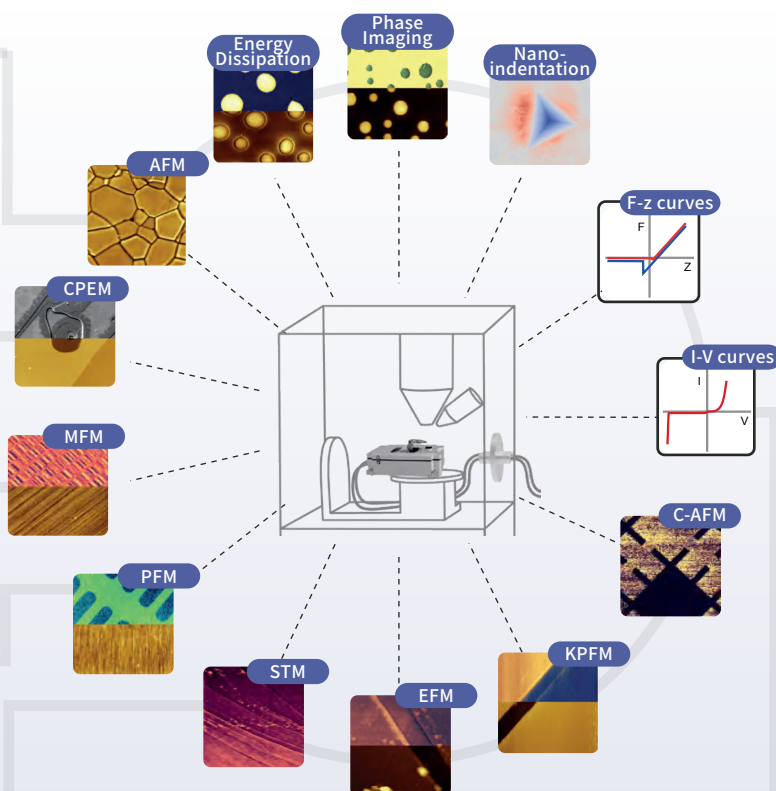
- 磁畴成像

电机械性能

- 压电畴成像

电性能

- 导电性映射
- 局部表面电势映射
- 局部电性能



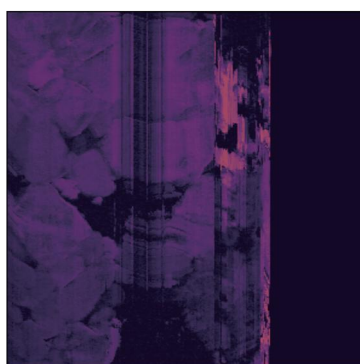
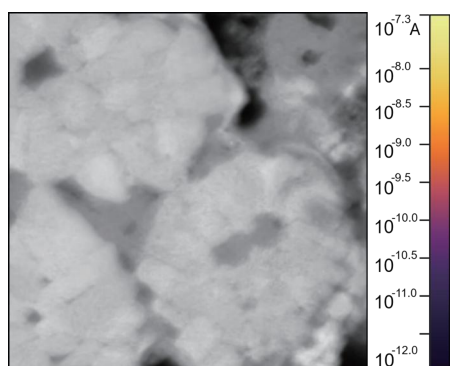
光谱学

- I/V 特性
- F/z 特性

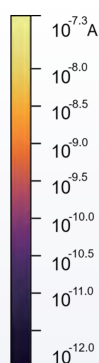
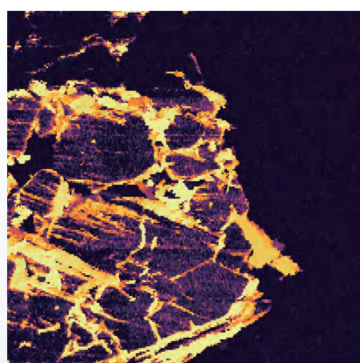
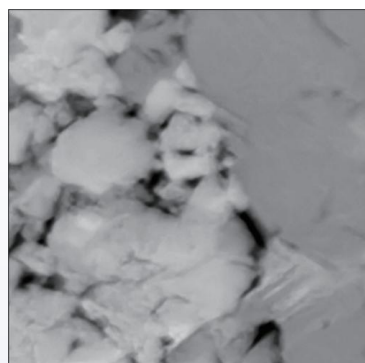
应用案例

循环对正极活性材料的影响

循环充放电过程会如何影响正极活性材料的电学性能？为此我们分别选择原始态的正极材料和经过 200 次循环后的正极材料，通过对比它们的电导率等性能参数，来理解循环过程对材料性能的具体影响。所有样品的制备都是在充满惰性气体的手套箱中完成的，以确保样品不被氧化，然后再转移到电镜中进行测试。

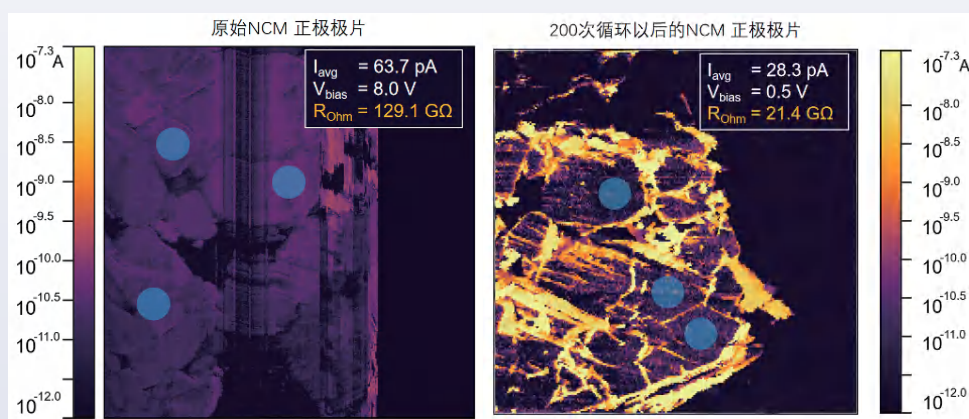


原始态 NCM 正积极片的分析结果。我们可以看到，原始态样品的电导率整体较低，并且在整个观测区域内分布非常均匀。这是电池在出厂时的初始状态，此时材料的结构和性能都比较稳定。



经过 200 次循环后的 NCM 正积极片的分析结果。与原始态样品相比，情况发生了显著变化。我们可以看到，循环后的样品电导率整体显著升高，并且分布极不均匀，出现了许多亮斑，这些亮斑代表着局部的高导电区域。这表明在循环过程中，材料的电学性能发生了深刻的变化。

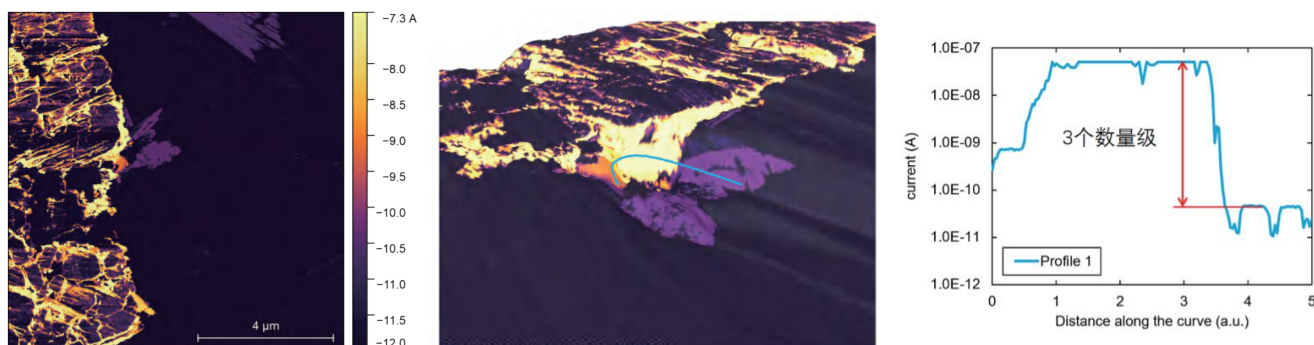
循环过程中材料内部产生了更多的缺陷，或者电解液分解产物在材料表面沉积形成了更有效的导电通道。这一发现为我们理解电池的循环老化机制提供了重要的微观证据。



晶界导电性分析

晶界是晶粒之间的界面，它对离子和电子在材料内部的传输有着重要影响。我们的问题是：在电池循环过程中，这些晶界处的导电性会发生怎样的变化？为了回答这个问题，我们将在颗粒的边缘进行高分辨率的电导率测量。

- 案例中的样品为循环 200 次后的固态电池，NCM 颗粒

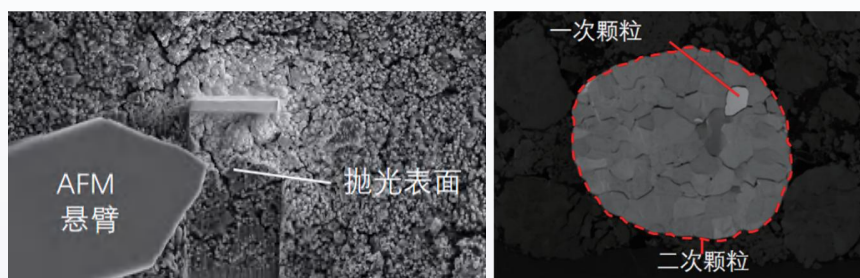


晶界导电性分析结果。图 1 是电导率成像图，蓝色划线是我们测量的沿晶界的电导率曲线，图 2 是三维关联形貌和电导率的图像，我们可以看到沿晶界的电导率曲线（图3）。我们可以清楚地看到，晶界处的电导率比晶粒内部高出了整整三个数量级！这是一个非常惊人的发现，它表明晶界是材料内部主要的电子传输通道。

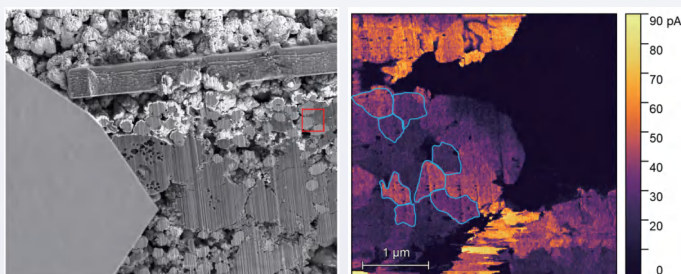
一次颗粒内部电导率分析

二次颗粒内部的这些一次颗粒，它们各自的电阻是多少？不同的一次颗粒之间是否存在电导率差异？通过分析这些差异，我们可以深入理解材料本身的电化学性能，以及离子和电子在最基本单元中的传输机制。

我们的样品是原始态的 NCM 正极材料，使用固态电解质。特别值得一提的是，我们采用了原位制样技术，从制样到 SEM+AFM 测量都在惰性气体环境中完成，避免了样品与空气接触而发生氧化或污染。这保证了我们观察到的是材料最本征的状态，为我们研究一次颗粒的原始性能提供了可靠的基础。下图是我们制备的样品，以及二次颗粒和一次颗粒的 SEM 图。



这是我们得到的一次颗粒内部电导率分析结果。下图一是 SEM 图像，下图二是对应的 C-AFM 电导率成像图。我们可以清晰地看到，即使在同一个一次颗粒内部，电导率也不是均匀的，而是存在明显的差异。这说明材料的电学性能在纳米尺度上是高度不均匀的，这可能与颗粒内部的晶体取向、缺陷密度、甚至是元素的微小偏析有关。

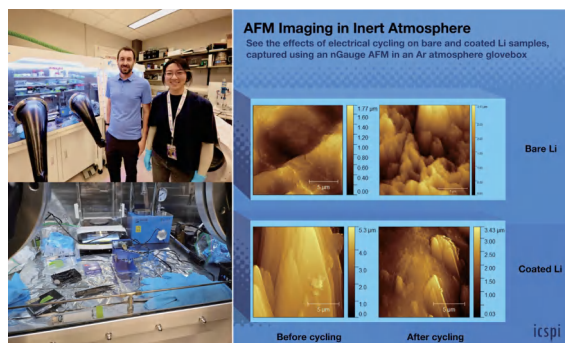


通过 LiteScope 系统的高分辨率电导率成像，我们成功揭示了单个一次颗粒之间以及同一颗粒内部的电导率差异。这表明材料的电学性能在最微观的尺度上就存在不均匀性，这种不均匀性可能是影响电池宏观性能的重要因素。这一发现为我们理解电池材料的微观结构与性能关系提供了新的视角。

加拿大 icspi 原子力显微镜

原子力显微镜 (AFM) 在锂电领域主要用于对电极材料及其界面、隔膜和固态电解质进行纳米尺度表征, 可实现对正负极表面形貌、粗糙度及颗粒结构的高分辨成像, 并对SEI膜厚度进行定量测量及其形成过程进行分析。

加拿大 icspi 台式原子力显微镜 (Redux AFM 和 nGauge AFM) 可在数分钟内快速获取样品的三维形貌及结构尺寸的定量信息, 提供高效便捷的纳米表征手段。系统支持对锂电材料进行成像, 对样品导电性无要求, 无需导电镀层处理, 可在常温常压的台式环境下稳定运行。icspi AFM 体积小小巧轻便, 并可轻松放置于手套箱内工作。



应用案例——Western University (加拿大)

icspi



icspi



Redux AFM 全自动台式原子力显微镜

- 扫描类型: 形貌、相位
- 最大扫描尺寸: $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$
- 最小扫描尺寸: $300\text{nm} \times 300\text{nm}$
- 垂直扫描范围: $20\mu\text{m}$
- 本底噪声: $< 0.5 \text{ nm RMS}$
- 样品平台尺寸: $125\text{mm} \times 100\text{mm}$
- 最大样品高度: 20mm
- 系统尺寸: $23.2\text{cm} \times 22.0\text{cm} \times 24.6\text{cm}$

nGauge AFM 便携式原子力显微镜

- 扫描类型: 形貌、相位
- 最大扫描尺寸: $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$
- 最小扫描尺寸: $300\text{nm} \times 300\text{nm}$
- 垂直扫描范围: $10\mu\text{m}$
- 本底噪声: $< 0.5 \text{ nm RMS}$
- 样品平台尺寸: $100\text{mm} \times 50\text{mm}$
- 最大样品高度: 20mm
- 系统尺寸: $9\text{cm} \times 7\text{cm} \times 7.5\text{cm}$

icspi 部分用户



显微 CT 无损检测——用于电池材料研究、失效分析、工艺优化

锂电池作为清洁能源发展的核心，正不断向高能量密度、长寿命和高安全性的方向迈进。材料的微观结构和性能之间的关联成为研究的关键，如何对锂电池在非破坏性的前提下进行内部结构的检测是锂电池测评领域重点关注的问题。

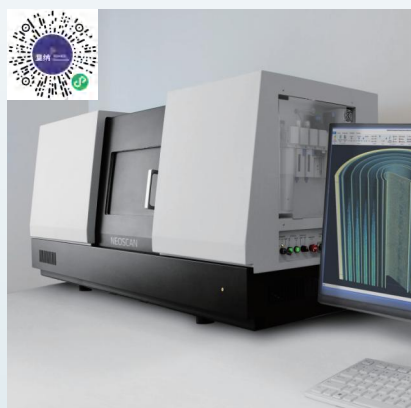
Neoscan 显微 CT 扫描系统，对场地要求少、免维护、具备高空间分辨率，解决了传统 2D 实时成像检测图像信息叠加无法分清内部结构的问题，在不破坏电池的情况下，真实再现内部结构，在材料研究、失效分析、工艺优化中，已经成为不可替代的测试手段。

最新推出的 Neoscan N90 高分辨纳米CT，是全球首款台式纳米 CT 系统，具有 40nm 超高分辨率，样品尺寸大小为 100mm*400mm，可选配集成的 XRF 系统，进行化学成分分析，钾 (K) 以上可分辨。这种方法对于理解电池的内部机理、评估电池的质量以及提高电池的安全性具有重要价值。

NEOSCAN 显微 CT 在锂电池中的应用-检测项目



NEOSCAN 产品推荐



新品：N90 领先高分辨纳米 CT



N80 科研级高分辨显微 CT



N70 快速型显微 CT

典型应用案例

显微 CT 在电池材料中的应用

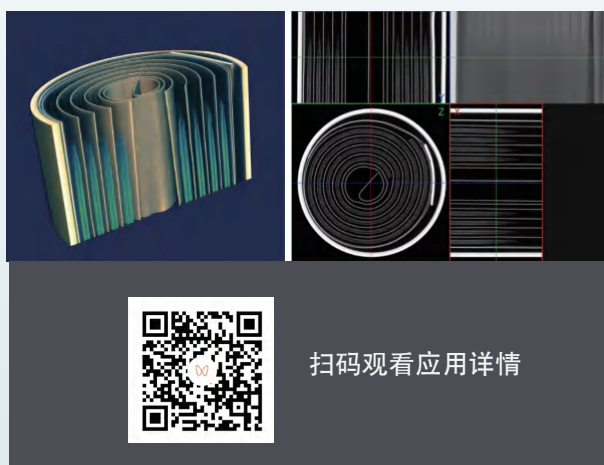
盖帽：CT 可从各个方向、各个层面观察盖帽处的内部装配连接情况，全面了解结构信息

电池内部：CT 可以让研究人员以无损的方式观察电池内部。研究重复使用后的膨胀和分层情况。

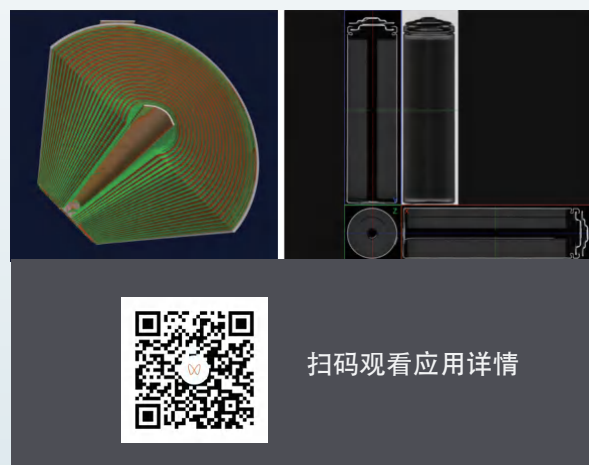
极片：CT 可以无需拆解电池即可观察极片的缺陷（如极片断裂、极片翘曲等），提高判断的准确性，同时节省时间和成本。

底部：无需切割电池外壳，CT 可观察底部焊接气孔情况，无损成像和定量分析。

Neoscan N90 高分辨纳米 CT 以 580nm 体素尺寸扫描锂电池，内部结构清晰可见



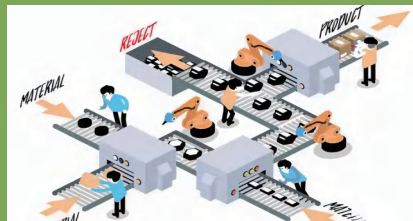
Neoscan N70 显微 CT 扫描 18650 型电池（长度 70 毫米），无损检测内部结构



锂离子电池无处不在



但同时存在各种风险



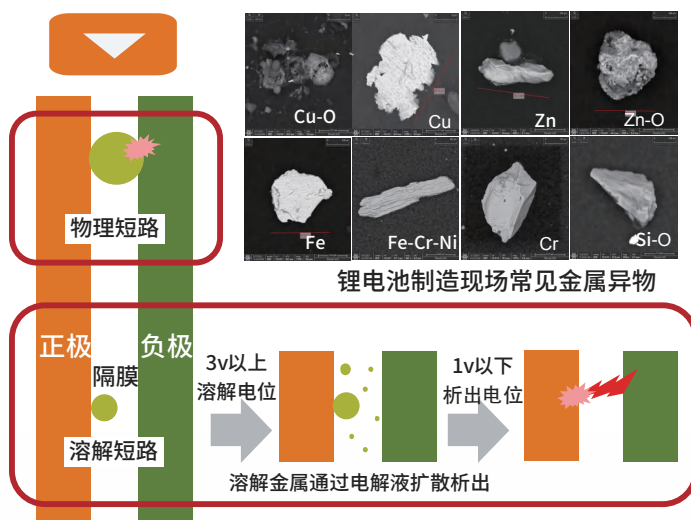
安全把控问题 - 金属异物

在《锂离子电池正极材料的质量管理》中明确指出，锂离子电池的性能与正负极材料的质量息息相关，当在正负极材料中存在金属杂质时，这些金属会先在正极氧化再到负极还原，当负极处的金属单质累积到一定程度，其沉积金属坚硬的棱角就会刺穿隔膜，造成电池自放电，从而导致电池失效。

锂离子电池发生安全性事故的主要原因

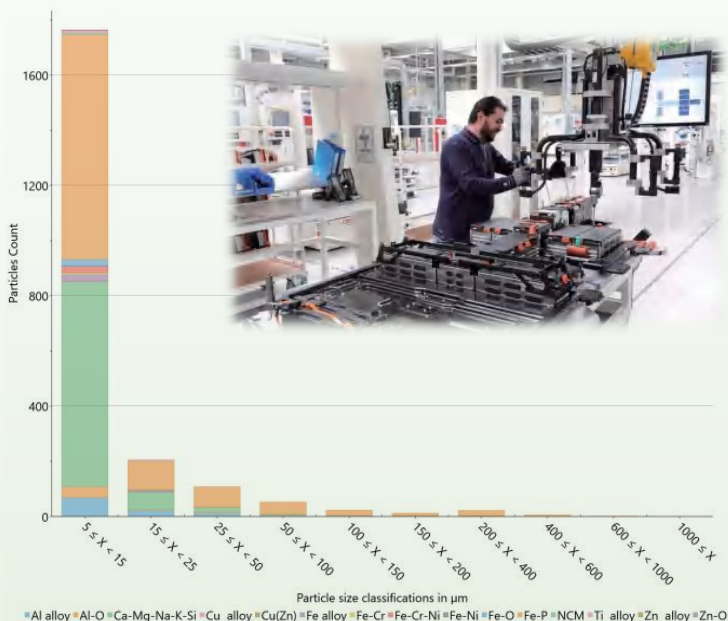


金属异物导致锂电池失效机理:



案例1: 产线金属异物检测

Histogram Chart Generated Based on DMAX



Particle Results												
Size Class Based On: DMAX												
Size Range (um)	Total	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
Al alloy	113	69	22	12	4	3	1	1	1			
Al-O	46	40	2	3	1							
Ca-Mg-Na-K-Si	830	741	64	19	4		1	1				
Cu alloy	3	3										
Cu(Zn)	1	1										
Fe alloy	29	25	4									
Fe-Cr	6	5	1									
Fe-Cr-Ni	26	24	1	1								
Fe-Ni	2	1	1									
Fe-O	26	24	2									
Fe-P	1092	815	106	73	43	20	10	20	4	1		
NCM	6	5	1									
Ti alloy	9	8	1									
Zn alloy	1	1										
Zn-O	2	2										
Total Counts	2192	1764	205	108	52	23	12	22	5	1	0	

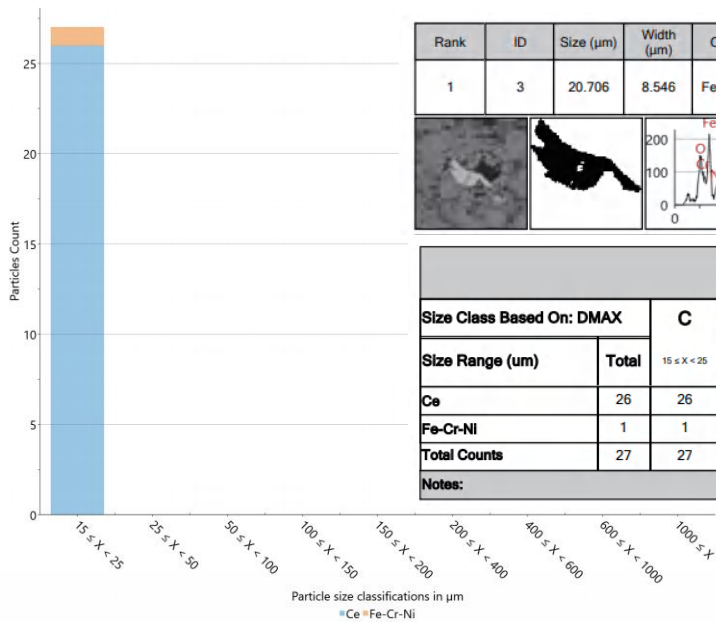
Rank	ID	Size (um)	Width (um)	Class	Aspect	Area	Roundness	Form Factor	ECD	Fe	Cr	Ni	O
1	1081	26.981	21.184	Fe-Cr-Ni	1.274	324.433	0.567	0.517	20.324	71.900	14.400	10.300	3.300

Rank	ID	Size (um)	Width (um)	Class	Aspect	Area	Roundness	Form Factor	ECD	Cu	O		
2	725	10.130	4.355	Cu alloy	2.387	35.736	0.443	0.688	6.745	87.000	13.000	0.000	0.000

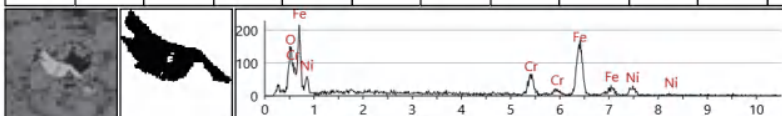
安全把控问题 - 金属异物

案例2:极片表面金属异物检测

Histogram Chart Generated Based on DMAX



Rank	ID	Size (μm)	Width (μm)	Class	Aspect	Area	Roundness	ECD	Fe	Ni	Cr	O
1	3	20.706	8.546	Fe-Cr-Ni	2.439	86.231	0.256	10.478	64.500	16.000	14.500	5.000



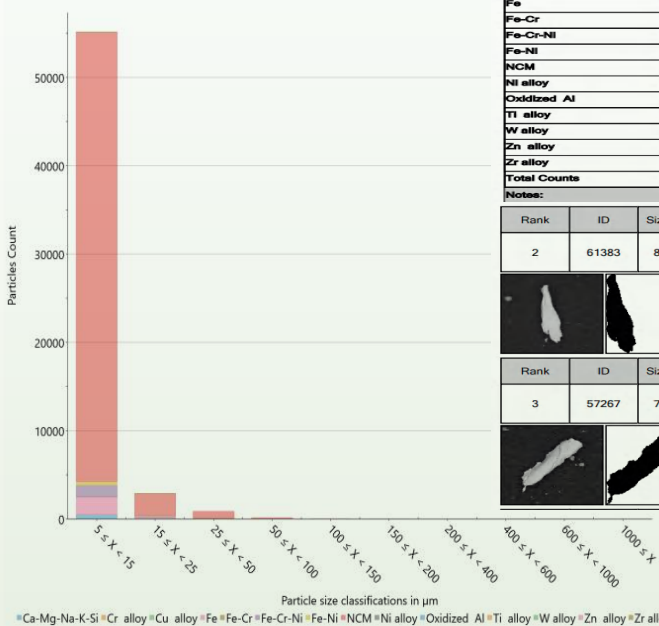
Particle Results

Size Class Based On: DMAX		C	D	E	F	G	H	I	J	K
Size Range (μm)	Total	15 ≤ X < 25	25 ≤ X < 50	50 ≤ X < 100	100 ≤ X < 150	150 ≤ X < 200	200 ≤ X < 400	400 ≤ X < 600	600 ≤ X < 1000	1000 ≤ X
Ce	26	26								
Fe-Cr-Ni	1	1								
Total Counts	27	27	0	0	0	0	0	0	0	0

Notes:

案例3:正极粉末异物检测

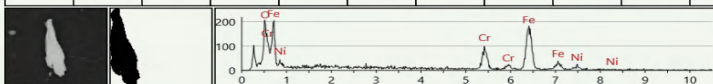
Histogram Chart Generated Based on DMAX



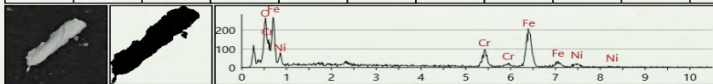
Particle Results

Size Class Based On: DMAX		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Size Range (μm)	Total	5 ≤ X < 15	15 ≤ X < 25	25 ≤ X < 50	50 ≤ X < 100	100 ≤ X < 150	150 ≤ X < 200	200 ≤ X < 400	400 ≤ X < 600	600 ≤ X < 1000	1000 ≤ X
Ca-Mg-Na-K-Si	591	528	50	11	2						
Cr alloy	2	1	1								
Cu alloy	1		1								
Fe	2189	1977	169	41	1	1					
Fe-Cr	42	35	4	3							
Fe-Cr-Ni	1490	1291	147	44	8						
Fe-Ni	479	410	43	24	2						
NCM	54186	50832	2482	746	119	6	1				
Ni alloy	6	6									
Oxidized Al	21	21									
Ti alloy	5	5									
W alloy	14	11	3								
Zn alloy	1			1							
Zr alloy	29	28	1								
Total Counts	59056	55145	2900	871	132	7	1	0	0	0	0

Rank	ID	Size (μm)	Width (μm)	Class	Area	Roundness	ECD	Fe	Cr	Ni	O
2	61383	80.389	21.194	Fe-Cr-Ni	1055.985	0.208	36.668	65.000	17.500	9.300	8.200

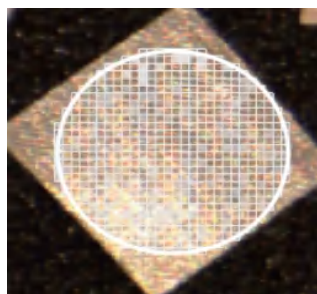


Rank	ID	Size (μm)	Width (μm)	Class	Area	Roundness	ECD	Fe	Cr	Ni	O
3	57267	77.131	24.675	Fe-Cr-Ni	1054.064	0.226	36.634	64.500	15.500	10.600	9.400



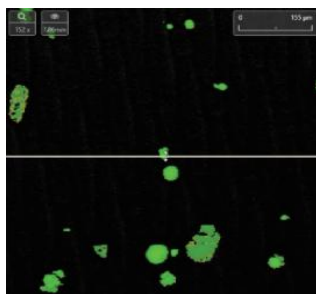
Phenom ParticleX 全自动锂电清洁度分析

工作原理



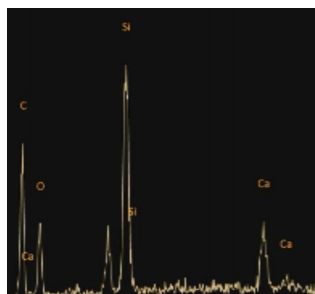
自动全样品扫描

自动根据放大倍数将待检测区域分成若干视野,并进行全自动图像采集



自动拍照、颗粒识别

在分好的视野中自动拍照,基于样品的背散射图像衬度识别颗粒的几何特征(面积、周长、长径比、球形度等)



自动能谱分析

在上一步识别出的每一个颗粒内部进行面扫分析,得到颗粒基于能谱的成分信息,能谱时长可自由定义



全自动颗粒分类

基于每一颗颗粒的尺寸、能谱特征将颗粒按照分类规则(标准要求或者自行定义)进行分类统计

清洁度分析收益

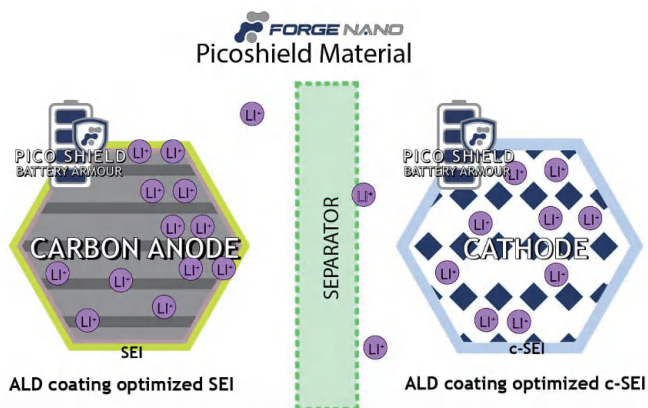
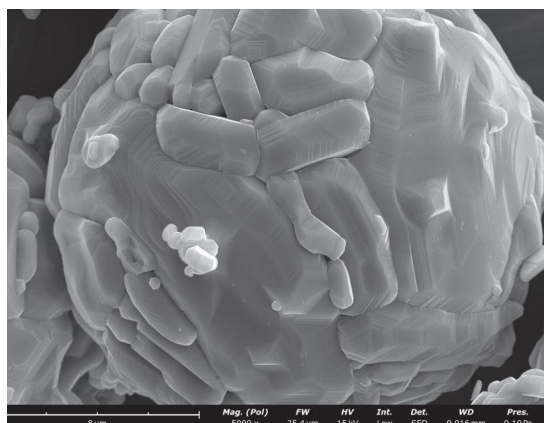
Particle X系统		清洁度分析收益
灯丝	专用CeB6 晶体灯丝	寿命长:清洁度分析使用时间超过3000h,避免频繁更换灯丝,保障全自动流畅运行
		亮度稳定:确保颗粒识别的准确性,减少误差
真空	专利三仓 分离设计	灯丝仓始终保持高真空,确保灯丝的长寿命
		样品仓高、中、低三挡真空可选,滤膜样品可直接观察
软件	专用清洁度 分析系统	软硬件一体化设计,软件会根据硬件针对性优化,确保系统稳定流畅运行,售后服务一家解决,避免相互推诿
		流程设计、规则编辑、颗粒分析、报告生成四个软件包含及其丰富的功能,满足客户各类测试需求
应用	成熟清洁度 解决方案	软件终身免费升级;
		专用滤膜装载样品杯;标准样品定制;自主开发滤膜颗粒固定方法;不同种类颗粒分析方法等
		丰富的行业应用经验,环境监测、原材料检测等



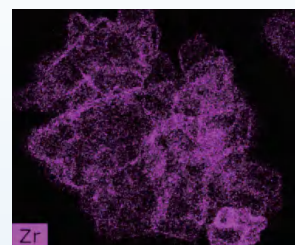
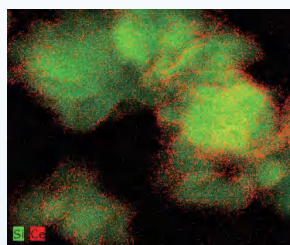
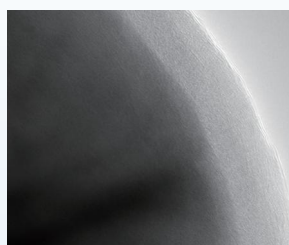
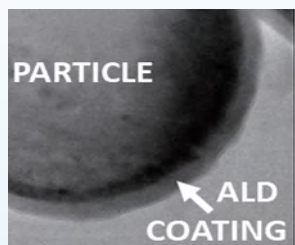
Forge Nano 全新电极材料ALD包覆改性方案

锂电池材料的整体质量除了从工艺以及安全方面着手外,从材料性能本身出发进行改性,提升电池的性能同样重要。表面包覆则是其中最重要的改性手段之一,通过特定的功能性涂层包覆,提升电池的整体性能。而原子层沉积技术(atomic layer deposition, 简称ALD)由于其出色的共形性以及自限制性,可以实现原子层级别的薄膜厚度控制,在近年来逐渐被工业界重视。ALD包覆后的电极材料,表现出更优异的电化学性能及使用寿命。

电极材料ALD包覆



ALD包覆可有效提升电极材料的电化学性能



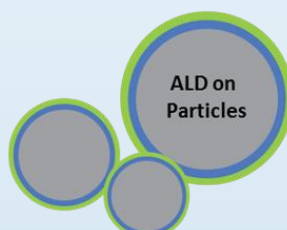
ALD包覆的效果

改善高温性能, 减少副反应

提升热稳定性, 提升电导

减少金属溶解, 高温运行

共形性好, 均匀, 无针孔膜缺陷

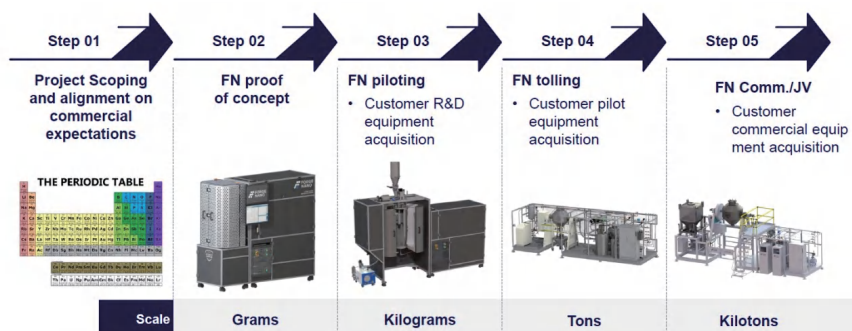


增加循环寿命, 降低阻力

高电压稳定性, 抗穿刺能力

提升失效温度, 减少气体生成

从实验室研发到工业量产的“一站式”包覆解决方案



Forge Nano可提供从包覆研发到工业生产的全套解决方案,包括:流化床技术,旋转床,振动床等。实现从毫克到吨级的粉末处理量,您可以轻松实现从实验室到生产的产品开发计划。

常用 ALD 涂层

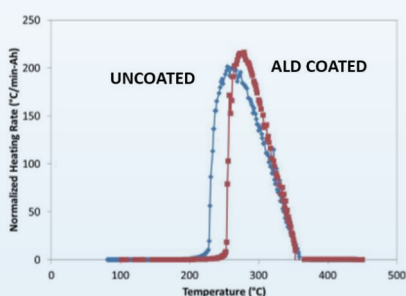
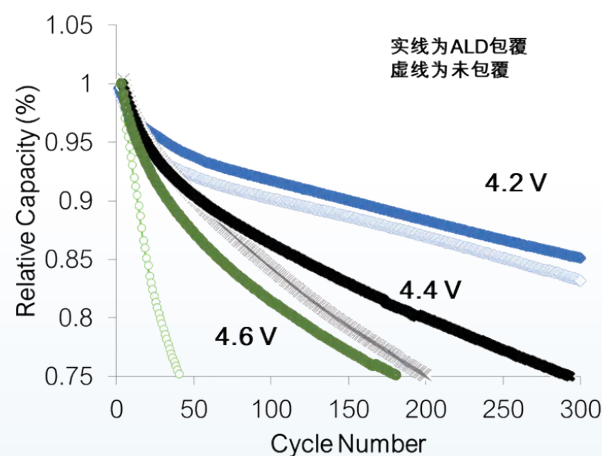
传统氧化物 (e.g. Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2 , SiO_2 , ZnO , V_2O_5)

硼酸盐 磷酸盐 (e.g. B_2O_3 , $AlPO_4$, $TiPO_4$, Li_xAlPO_4)

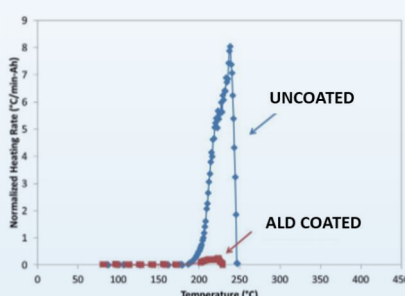
含锂化合物 (e.g. $Li_xTi_yO_z$, $Li_xB_yO_z$, $Li_xAl_yO_z$)

氮化物等 (e.g. TiN , $LiPON$, CuO , AlF_3 , $AlWF_3$, Ta_2O_5)

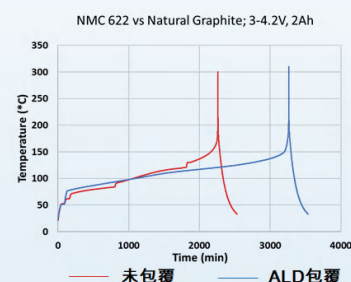
通过包覆,可实现电池材料循环充放电性能的提升,尤其在高电压条件下,其性能提升明显。此外,通过包覆,电池的热失控温度的升高,并可改善其自放热曲线,从而提升电池的整体安全性



正极材料的失控温度



负极材料的失控温度



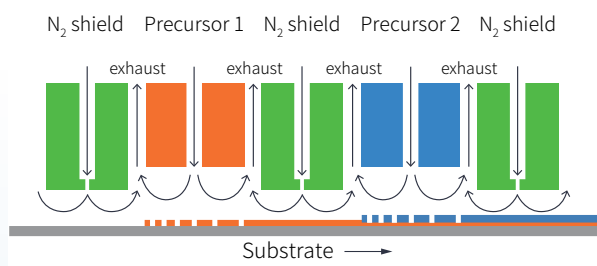
ARC测试

	自生热起始温度(°C)	最高升温速率(°C/min)	失控最高温(°C)	焓值(KJ)	反应热(J/g)	热失控所需时间(min)
Uncoated	72.64	3104	300.08	23.01	227.435	2041
	78.11	2094	310.45	23.40	232.336	3092

SparkNano 锂电池极片 ALD 工业化方案

锂离子电池应用广泛，却仍面临诸多挑战，其中最突出的问题是使用寿命有限。随着使用时间推移，电池电极会发生老化，导致电池容量和性能下降，而高温环境以及反复的充放电循环，会进一步加剧这一老化过程。为攻克上述难题，锂离子电池需要极薄的防护涂层（通常称为钝化层），防止电极老化——电极老化会导致电池循环寿命快速衰减。考虑到电池电极通常具有高孔隙率的特点，原子层沉积技术成为制备这类防护薄膜的最有效方法之一，该技术制备的薄膜即便厚度极薄，也天生具备均匀、保形的特性。

空间原子层沉积是传统原子层沉积技术的创新变体。传统原子层沉积采用时间序列的循环式工艺，需反复通入不同的前驱体气体；而空间原子层沉积技术则对前驱体的暴露过程进行空间分离，借助前驱体在空间上的物理分离，能够在高孔隙率基底上快速沉积极薄的薄膜。可在低温、高吞吐量的条件下，为复杂的三维结构沉积保形涂层。



- 保形涂层沉积与高精度控制：可在电池电极的三维结构上沉积保形涂层，有助于全面提升电池的性能和使用寿命。
- 低温沉积：溅射、化学气相沉积等传统沉积技术通常需要高温环境，易造成电极材料的热损伤和老化；而空间原子层沉积技术可在远更低的温度下完成涂层沉积，最大程度降低电极材料热损伤和老化的风险。
- 高吞吐量：基于空间原子层沉积技术设计的反应腔，可处理宽度 0.5 米、长度数百米的铜箔等基底材料。

空间型 ALD 原理



300mm 小试平台

通用型 ALD 模组

卷对卷中试量产平台
(1.5m幅宽)

Spark Nano 空间型 ALD 的优势：

1. 生产规模扩大到大尺寸片对片和卷对卷生产
2. 前驱体利用率极高
3. ALD 沉积速度是传统 ALD 的 10-100 倍
4. 无需真空
5. 低温含 Li, F 的 ALD 工艺

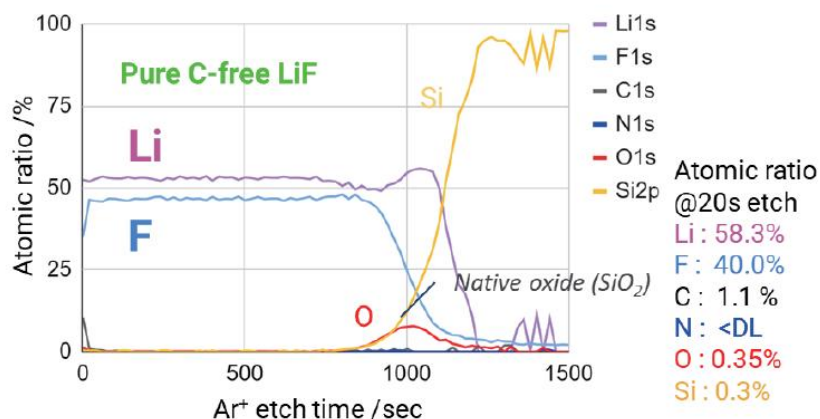
应用案例

由于氟化锂 (LiF) 薄膜具有宽广的电化学稳定性窗口和优异的化学稳定性, 因此作为锂离子电池电极的保护 / 钝化层而备受关注。当采用原子层沉积 (ALD) 等高保形性方法沉积时, LiF 可以有效地包覆电池电极复杂的多孔结构, 从而提高其电化学性能和稳定性。

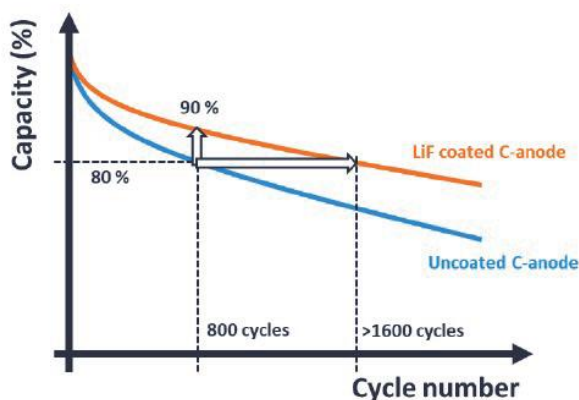
Spark Nano 空间型原子层沉积系统采用独家的等离子体增强空间原子层沉积 (ALD) 技术, 成功在 100°C 至 200°C 的温度范围内沉积了纯 LiF 薄膜。该工艺可扩展至 300mm (实验级) 以及百米级的正负极卷绕极片表面快速沉积。该沉积温和, 且避免了涂层 C, N 污染以及副产物 HF 带来的工艺放大问题。

● 低 C, N 的 LiF 工艺

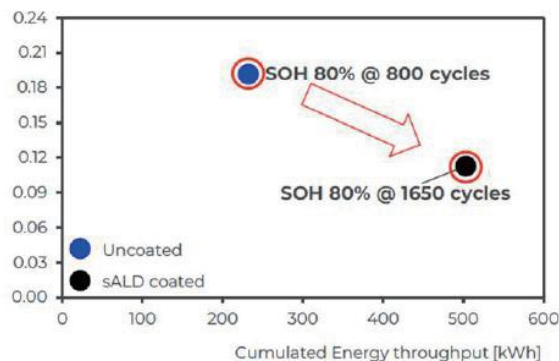
XPS depth profile of LIEBE + plasma



● LiF 的 ALD 涂层有效改善了电池的循环使用寿命, 1nm 的 LiF 有效提升了 10% 的容量保持率, 带来了 100% 的循环寿命提升。



LCOES
(EUR/kWh throughput)



LABLINE™ 空间型原子层沉积系统

SparkNano 的 LabLine 系列提供业界领先的空间原子层沉积 (spatial ALD) 系统, 将卓越的薄膜质量与最快的沉积速度和无与伦比的灵活性相结合。这些先进系统被设计用于支持广泛的空间 ALD 工艺, 并可兼容各种基底类型, 使其成为研发、工艺开发、产品开发乃至中试生产的理想解决方案。此外, LabLine 系统具备完全的可扩展性, 能够在实验室研究与大规模制造之间架起桥梁, 确保顺畅无缝地过渡到商业化生产。LabLine 系统由若干关键组件组成, 每个组件均旨在为多种空间 ALD 应用提供最大性能与灵活性。这些组件可根据具体工艺需求进行定制或升级, 确保系统能够适应不断发展的需要。

S-ALD™ 工作原理

空间 ALD 通过在空间上分隔半反应, 消除了传统 ALD 中耗时的抽空-冲洗步骤, 使沉积速度提高超过 100 倍。SparkNano 的专利空间 ALD 沉积模块 (图1) 确保在薄膜均匀性与步进覆盖率上实现原子级控制, 甚至可以进行直接的、无掩膜的图案化沉积准确地在需要的地方打印材料, 不会有任何多余沉积。内部示意图 (图2) 展示了沉积模块的内部工作原理。由于反应器壁上不存在不需要的沉积, 再加上前驱体利用率最大化以及未反应前驱体的回收能力, 使空间 ALD 成为研发和工业规模 ALD 工艺中最高效、最具成本效益和可持续性的解决方案。



图1. 沉积模块

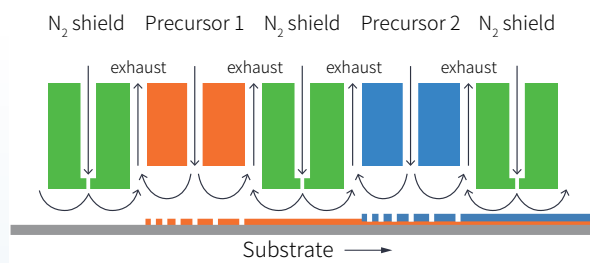


图2. 内部示意图

LABLINE 的优势

高速处理

在硅片上实现高达 50nm 的氧化铝沉积, 耗时不足30分钟, 大幅缩短工艺时间

大尺寸基片

支持尺寸高达 420mm x 325mm 的基底, 可根据需求定制尺寸, 为多样化应用提供可扩展性和灵活性

等离子体增强的高灵活性

能够在对温度敏感的材料(如聚合物)上沉积薄膜, 扩展了可处理材料的范围

前驱体利用率提升与成本降低

最大化前驱体利用率, 并结合未反应前驱体的回收能力, 大幅减少材料浪费和运营成本



图3. LabLine 系统配置

Omega™ 高速卷对卷空间原子层沉积系统

下一代产品的先进制造是加速能源转型的关键。原子级精度、可控性和可扩展的镀膜技术至关重要，因此 SparkNano 推出其最新创新成果 —— 全球首台高速卷对卷空间 ALD 系统 SparkNano Omega™。该系统可在柔性箔材上实现卷材式工业化制造，适用于锂离子电池，钙钛矿太阳能电池等多种应用，支持最大 1.5m 幅宽、最高 100m/min 的卷速度，在大气压下长时间高效、清洁的运行。



点燃清洁能源制造，就在今天！

专为新兴能源技术设计，SparkNano Omega™ 可在金属或聚合物箔材上提供精确、均匀且可扩展的薄膜涂层。其专利空间 ALD 工艺技术通过沿移动卷材空间分离前驱体反应（见图示），省去抽真空 —— 吹扫循环，比传统时序 ALD 快 100 倍以上，实现连续、高性能的工业运行。

SparkNano Omega™ 优势

高速制造

最高 100m/min 卷速度，满足大规模连续镀膜需求

柔性基底兼容

适用于各类聚合物和金属箔材，完美匹配卷式制造

高效可扩展设计

常压惰性气体环境运行，前驱体利用率高，维护停机时间短



图示：卷对卷沉积区

DENSsolutions TEM 原位实验方案在锂电领域的应用

随着移动智能终端、电动汽车、智能电网等需求的不断增长,迫切需要安全性能更好、能量密度更高、功率密度更高的锂离子电池。然而,固态电解质离子电导率低,电极与电解质接触不良,以及全固态锂电池各组分内部的晶界严重影响电池性能。研究人员希望从原子尺度上研究电池性能的起源。

DENS Lightning TEM 原位热电方案可以帮助研究人员在精准控制加电和加热环境的同时观察样品变化的实时动态过程,同时可以保持 TEM 在非原位时的最佳性能。

DENS lightning 的配置和芯片类型



图 1

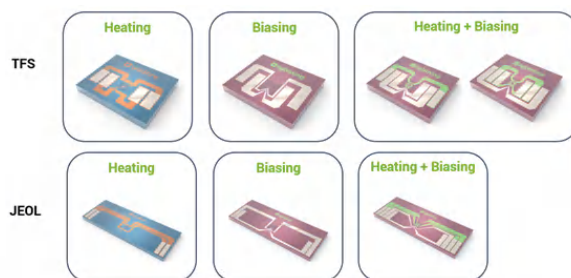


图 2

DENS lightning TEM 原位热电方案的产品优势

界内最高环境控制

可以分别在高达 1300°C 的高温 and 150V 的高压下进行实验,或者同时在 900°C 下提供 300kV/cm 的电场,是市场上原位环境刺激最高值的产品。

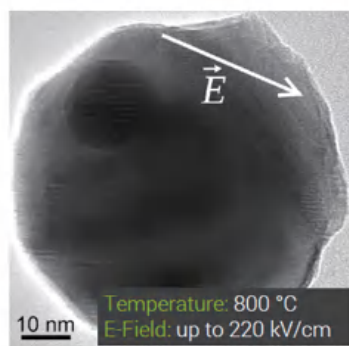


图 3

高温下的高稳定性

独特的四电极加热法(四探针法),以及先进的技术和材料,可在高温高压环境下保持具有高可靠性和稳定性。

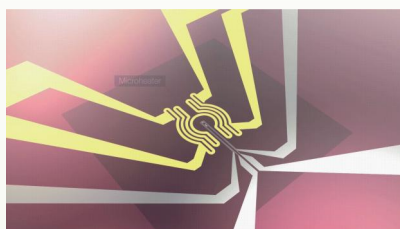


图 4

原位下的高分辨率成像

具有高达 60pm 的分辨率,可以获得清晰的原子图像,帮助研究人员更好地理解材料的结构与性质。

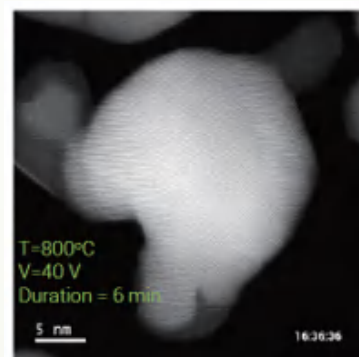


图 5

典型应用案例

台式扫描电镜

原子力显微镜

显微CT无损检测

锂电清洁度分析

ALD 包覆改性

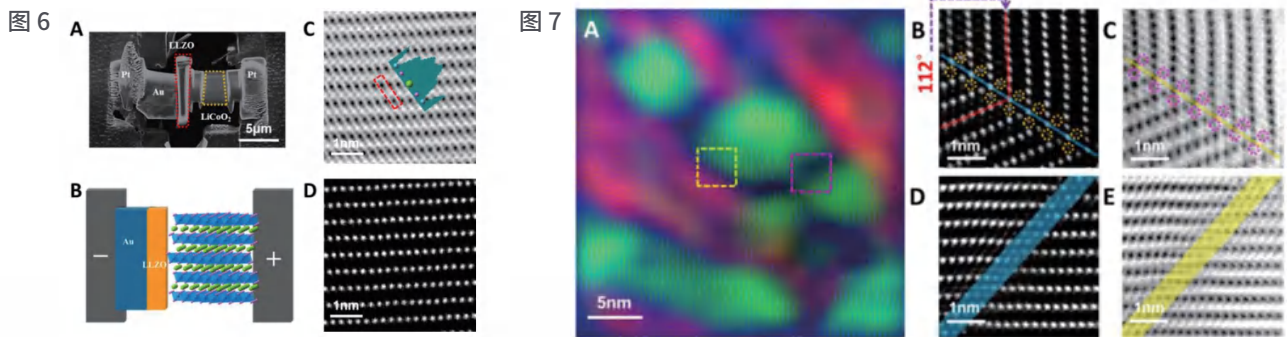
TEM 原位分析

LCO 阴极的原子尺度结构演变

可通过在 TEM 中设计一个可工作的全固态锂离子电池, 并使用球差矫正的 STEM 在原子尺度上直接观察到纳米多晶的形成, 并且观察到所有纳米尺寸的畴通过相干孪晶界和反相畴晶界相互连接。

图 6: 利用 FIB 在 MEMS 芯片上减薄出用于测试的全固态锂电池。对于电池结构, 从左到右依次是金阳极、LLZO 固态电解质、LiCoO₂ 阴极。整个电池通过 Pt 沉积与 MEMS 上的电阻丝相连接。

图 7: 电压下脱锂后 LiCoO₂ 阴极的结构。LiCoO₂ 转变为多晶结构, 晶粒尺寸约为 5~15nm, 脱锂后在 LiCoO₂ 的 [010] 区轴上形成相干孪晶界和反相畴晶界。



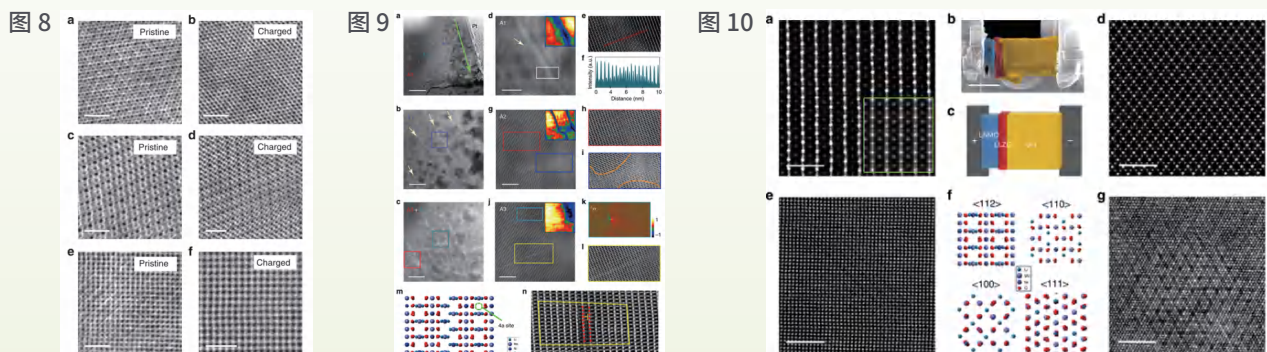
全固态电池正极材料 LNMO 结构演化的原子尺度观测

原子级掺杂低价态阳离子可以有效地提高 LNMO 结构的稳定性。这表明了原子尺度三维表征对于提高了研究人员对脱锂动力学过程和基本机制的理解的重要性, 而且为优化全固态电池的结构稳定性和循环能力提供了线索。

图 8: 使用 FIB 制备用于原位观察的全固态锂离子电池

图 9: 沿 <112> 带轴观测到脱锂后的不均匀结构演化。在 <112> 区轴下, 存在三个不同的区域分别为, 过渡金属富集区域、反相晶界区域和过渡金属迁移区域。

图 10: 沿 <100>、<110> 和 <111> 带轴观察到有序到无序的结构演变。





电话:400 857 8882

邮箱:info@phenom-china.com

网址:www.phenom-scientific.com



复纳科技公众号



飞纳电镜公众号

复纳科学仪器(上海)有限公司

上海市闵行区申滨路88号虹桥丽宝广场T5办公楼705室

苏州办事处

苏州市相城区高铁新城青龙港路 286 号长三角国际研发社区
启动区10号A座108室

北京办事处

北京市海淀区西四环北路119号四季慧谷数字园区A座一层118室

广州办事处

广州市黄埔区广州国际生物岛螺旋大道87号C栋601-602单元

成都办事处

成都市高新区锦云东三巷1号金融麦田C106