

下一代固态电池核心技术白皮书

基于金刚石增强碳骨架与共烧结一体化架构的系统级解决方案

行业背景与技术挑战

全固态电池（ASSBs）被视为突破现有锂离子电池能量密度天花板的关键技术。然而，在从实验室走向规模化应用的过程中，行业面临着“材料级”与“结构级”的双重瓶颈。

枝晶穿刺与短路

在充电过程中，锂金属负极表面易形成针状枝晶。现有碳宿主材料模量通常 < 10 GPa，无法物理阻挡枝晶生长，导致穿透电解质引发短路。

界面接触失效

电极材料在充放电过程中伴随巨大的体积变化（呼吸效应）。传统物理堆叠的固-固界面极易发生剥离，导致界面阻抗（ R_{ct} ）急剧升高。

制造工艺复杂

正极、电解质、负极通常分步制备后组装，工艺链条长，且难以实现超薄电解质层的规模化制造。

基础技术：高模量负极宿主材料

Product A：金刚石/碳复合负极宿主

核心材料

针对锂金属负极“枝晶穿刺”和“体积膨胀”的痛点，我们开发了基于 sp^3 - sp^2 共价键合网络的三维骨架材料。这构成了我们整个技术体系的基石。

超高模量 (> 100 GPa)

引入纳米金刚石作为刚性“铆钉”，构建物理层面的“枝晶禁区”，彻底杜绝短路隐患。

零应变储锂

利用内部丰富的连通孔隙容纳金属锂沉积，实现充放电过程中的体积“零膨胀”。

梯度亲锂设计

通过原位掺杂（B/N/Si），诱导锂离子优先在骨架内部沉积，实现无枝晶的均匀镀锂。

进阶技术：一体化梯度骨架结构

单块式一体化骨架 (Monolithic Skeleton)

基于产品 A 的材料优势，我们进一步提出了颠覆性的“**分区功能化 + 一体化共烧结**”架构，将正极、电解质、负极基体融合为单一的刚性块体。

- 一体化无缝界面：** 正极、电解质、负极骨架通过共烧结形成原子级键合的连续整体，彻底消除了物理拼缝，界面阻抗接近液态电池水平。
- 孔隙梯度设计（如右图）：**
 - 两侧电极区：**微米级大孔**，利于高容量活性物质填充。
 - 中间电解质区：**纳米级介孔**，利用**毛细管压力差**实现电解质的自吸附与锁定，物理阻断正负极材料互穿。
- 三路绝缘策略：** 采用绝缘包覆或组分梯度，在保持骨架力学连续性的同时实现电子绝缘。

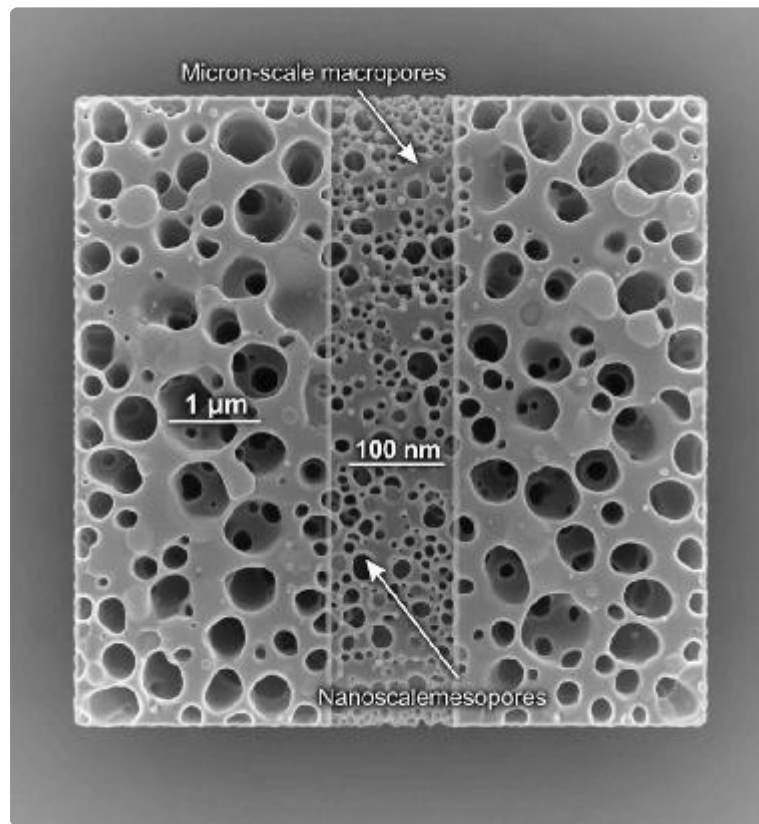


图 1：一体化共烧结骨架微观结构 (SEM)
两侧微米大孔 • 中间纳米介孔 • 无物理界面

潜在应用优势与价值

📱 消费电子 (3C)

消除“鼓包”焦虑： 利用骨架的“零应变”特性，设备厂商无需为电池膨胀预留物理空间，从而在维持机身厚度不变的前提下，显著增加电池容量。

提升快充体验： sp^2 导电骨架提供了优异的电子传输通道，支持高倍率快充而不引起电池过热。

🚁 低空经济 (无人机/eVTOL)

极致能量密度： 允许使用锂金属负极，大幅提升重量能量密度 (Wh/kg)，直接转化为更长的滞空时间和作业半径。

结构安全性： 一体化刚性骨架本身即是结构件，在发生坠落或冲击时能保持电芯完整，杜绝起火爆炸风险。

🚗 新能源汽车 (EV)

简化成组工艺： 单体电芯的高机械强度允许简化 Battery Pack 的外部加压结构，提升系统集成的成组效率 (GCTP)。

制造降本： 支持类似光伏产业的“大锭烧结+线切割”工艺，具备大幅降低固态电池制造成本的潜力。

🔋 规模储能

长循环寿命： 刚性骨架限制了电极材料在反复充放电中的机械粉化，理论循环寿命远超传统锂离子电池。

本质安全： 无易燃液态组分，彻底解决储能电站的热失控隐患。