

赵庆——未来三年研究计划

高稳定锂金属负极界面的构建及二次电池应用

总体目标

研究将围绕电极与电解液的界面基础电化问题，探索电极界面的电子/离子输运、电荷转移等过程的动力学/热力学，分析锂负极枝晶生长的过程与抑制方法。拟通过构建金属锂表面的稳定界面层，解决金属锂沉积/剥离过程库伦效率低、沉积形貌不均匀等问题，设计合成能够支持金属锂稳定循环的电解液和电极界面，以此为基础构建长寿命金属锂二次电池。借助“托举工程”这一平台，努力建设一只聚焦电极和电解液界面的有特色的科研团队。

研究背景

相对于目前基于石墨负极的锂离子电池体系，以金属锂为负极的二次电池有望将电池的能量密度从 300 Wh/kg 的上限提高到 500 Wh/kg。然而相比于嵌入式的石墨负极，金属负极普遍面临充放电过程中沉积不均匀以及副反应造成的库伦效率低等问题。以金属锂为例，由于其较高的反应活性和最负的电化学电势，与电解液接触时，会在表面通过化学或者电化学反应的方式形成一层固态电解质界面膜（solid electrolyte interphase-SEI）。这层厚度在几纳米到几微米的固态新相对金属负极的稳定性至关重要。

本项目开展工作将通过构建人工 SEI 以及设计电解液的方式，研究界面层的组成、结构对锂沉积的影响，深入探讨界面与电解液的构效关系，进而开发高稳定的锂金属二次电池体系。

研究内容

(1) 人工固态电解质界面的构建与金属锂沉积/剥离行为的调控。

拟在铜集流体上构建人工 SEI，通过 $\text{Li}||\text{Cu}$ 半电池研究金属锂的沉积/剥离行为。通过人工界面提供均匀的锂离子扩散通道，保证金属锂能够在集流体均匀成核。沉积的金属锂在人工界面的保护下能够有效避免与电解液发生反应，生成化学上的“死锂”。同时该界面应该具有足够的机械强度，抑制枝晶状形貌，避

免物理上“死锂”的生成。研究拟设计具有高离子传导能力的无机界面膜以及有机无机杂化界面膜，调控金属表界面的电子/离子输运，进而优化金属锂的沉积行为。

(2) 新型电解液的设计以及与界面的构效关系。

锂金属负极的特殊性对其电解液提出了更高的要求，电解液的理化性质决定了 SEI 的组成结构。研究拟通过设计电解液中锂离子的配位环境，改变电解液的 HOMO/LUMO 能级，探索 SEI 与电解液中盐的浓度、阴离子以及溶剂的影响。通过原位表征手段的设计，动态表征电极界面在循环过程中的变化。

(3) 高性能锂金属二次电池体系。

通过电极界面以及电解液的设计，解决妥善金属负极的沉积/剥离库伦效率低以及枝晶生长等问题，结合高压/高容量正极材料，开发高能量密度锂金属二次电池体系。

4. 工作方式

本项目将结合南开大学在化学学科的平台优势，整合自身近十年在电化学储能领域积累的知识与经验。充分利用化学学院以及先进能源材料化学教育部重点实验室等平台的基础设施和实验条件开展研究。同时积极与国内、国外开展合作交流，增强对锂金属负极界面的认识，推进项目的顺利完成。

5. 预期成果

1) 设计合成一系列人工固态电解质界面，提升锂金属沉积/剥离的效率；揭示界面与电解液的构效关系；开发高性能锂金属二次电池体系。

2) 预期在国内外高水平期刊上发表 4~6 篇有影响力的研究论文，申请 1~2 项发明专利。

3) 培养研究生 2~4 人。