

广东省自然科学奖提名书
(2023年度)

专业评审组：化学专业评审组

代码：Z02

一、项目基本情况

项目名称	功能化粘结剂对高容量电池材料的性能调控及机理研究		
主要完成人	林展（广东工业大学），吴曙星（广东工业大学），刘铁峰（广东工业大学），李泽珩（浙江大学），刘杰（浙江大学）		
提名单位（盖章）	广东省教育厅(省委教育工作委员会)		
成果有无涉密	有 ☐ 无 ☒		
所属学科	材料化学其他学科		
相关学科	化学其他学科		
所属国民经济行业	科学研究和技术服务业		
项目起止时间	起始：2014年01月01日	完成：2021年08月31日	
任务来源	E. 国家资助		

联系人： 吴曙星 联系电话： 39322004 移动电话： 13168350735

传 真： 02039322004 电子邮箱： shuxing.wu@gdut.edu.cn



（广东科技微信公众号）



（受理纸质材料二维码）

二、提名单位意见

提名单位	广东省教育厅(省委教育工作委员会)		
通讯地址	广州市东风东路723号高教大厦	邮政编码	510080
联系人	钟振原	联系电话	37628043
电子邮箱	kyc@gdedu.gov.cn	传真	02037627742

提名意见

申请人团队从功能化复合粘结剂出发, 构筑高性能储能器件, 突破了高容量电极所面临的关键基础科学问题。项目研究成果获得了学术界/企业界的充分肯定, 得到国家/省部级项目的支持(3个国家自然科学基金项目及5个省自然科学基金项目支持), 先后积累了大量原创性理论成果。项目共出版著作1章节, 发表SCI学术论文18篇(15篇论文的影响因子 $IF>10$), 文章总他引~2000次。5篇代表性论文合计他引602次, 单篇最高引用209次, 其中3篇为ESI高被引论文, 1篇为国内期刊。结合我国新能源发展形势, 项目团队的系统研究具有较强的创新性、实用性和连续性, 其研究内容符合国家重大发展战略和新型产业技术需求, 特别是项目团队从功能化复合粘结剂设计思想及机理研究出发, 攻克了高容量电极材料所面临的关键基础科学难题, 为学术研究和产业发展提供了较为实用的参考思路和经验案例。该项目已按要求公示, 目前无异议。同意提名该项目2023年广东省自然科学二等奖。

声明: 我单位对提名书及全部附件材料进行了严格审查, 确认该候选项目符合提名条件, 提名材料全部内容属实, 并按要求进行了公示, 公示期满无异议, 且不存在任何违反科研诚信和有关法律法规的情形。我单位承诺将严格按照广东省科学技术奖评审委员会办公室的有关规定和要求, 认真履行作为提名者的义务并承担相应的责任。如产生争议, 保证配合做好调查处理工作。如有虚假或违纪行为, 愿意承担相应责任并接受相应处理。

提名等级: 二等奖

法定代表人签名:

年 月 日

单位(盖章)

年 月 日

第一完成人声明: 本人同意提名者的提名意见以及提名等级。

第一完成人签名:

年 月 日

三、项目简介

本成果属于化学化工学科中的能源化学/储能领域。高容量、低成本电极材料（比如硅、硫）在新能源交通、间歇式储能等领域具有巨大的应用前景，有望成为下一代电化学电源器件的关键材料基础。本项目从设计、制备及优化功能化粘结剂出发，构筑了高性能储能器件，揭示了高容量电极材料与粘结剂之间的微观力学和界面化学等关键科学问题，建立了“软硬弹塑性效应”与“超分子网络”的研发新思路，解决了高容量电极材料因体积膨胀效应而导致的循环寿命差等产业应用基础难题，引领了功能化粘结剂在高容量电极材料中的研发热潮。研究成果对于新型功能化粘结剂设计思路的深入理解及其在下一代电化学电源器件领域的应用，都具有重要的意义。项目取得的创新性成果分述如下：

1. 揭示了高容量电极材料与功能化粘结剂之间的失效机制，从微观力学上，阐明了不同模量粘结剂对循环过程中电极形变的影响机制，指明了模量适度的粘结剂稳定高容量电极机械性能的重要性；从界面化学上，分析了不同粘结剂的极性基团对界面粘结强度的影响，阐明了电极微观力学的失效机制，同时解析了电解液与粘结剂的界面副反应所导致的严重锂耗损及低库伦效率，为功能化粘结剂的设计新思路奠定了理论基础。

2. 提出了基于精准力学调控机制构建功能化粘结剂的新思路，国际上率先提出“软硬弹塑性效应”用于构建功能化复合粘结剂，解析了复合粘结剂中软质弹性组分与硬质塑性组分不同的作用机制，系统性拟合了高容量电极内的应力分布状况，构筑了稳固的固态电解质界面层，高效解决了高容量电极（例如：硅基、硫基等）的长循环寿命问题，引发了功能化粘结剂在高容量电极材料中的研究热点。

3. 提出了基于“软硬弹塑性效应”构筑超分子网络功能化粘结剂的新策略，通过调控超分子网络的结构与组分实现了长寿命高容量电极，系统性研究了粘结剂的超分子网络与电极性能之间的构效关系，发现了原位构建的超分子网络可以满足高容量电极对微观、宏观机械性能的需求，进一步阐明了超分子网络组分对电极的体相匀整性、界面稳定性与锂离子传输动力学的影响机制，为高容量电极的实际应用奠定了理论基础。

基于以上理论基础与应用基础研究，本项目实现了当时国际上最高面容量的硫基电极（26.40 mAh/cm²）及同时具有最高面容量（49.59 mAh/cm²）与最高首次库伦效率（93.18%）的硅基电极。项目成果被国际上知名学者（包括中国的高翔、孙世刚等院士及欧美韩日院士）作为领域内重要进展写入了专著或论文。项目研究得到国家/省部级经费支持，共发表高水平论文18篇（其中15篇论文影响因子>10），授权国家发明专利3项。其中5篇代表性论文（国内期刊1篇）的总影响因子114.8，他引602次，单篇最高他引209次，3篇为ESI高被引论文。项目围绕新型功能化粘结剂的设计、制备与应用，从理论上预测了高容量电极的失效机理及功能化粘结剂的作用机制，从实验上系统研究了功能化粘结剂在解决高容量电极材料所面临的共性问题，对高比能电化学电源器件的发展起到重要的促进作用。

四、重要科学发现

为落实国家“双碳”目标，我国的新能源行业，尤其是新能源汽车，正处于高速发展阶段。作为新能源汽车核心组件的锂离子动力电池，仍然面临着续航里程不足和成本较高的拦路虎问题。为持续推动新能源汽车的发展，亟需研发高容量、低成本储锂电极材料，包括基于合金化反应的负极材料（例如：硅）以及基于转化反应的正极材料（例如：硫）。尽管如此，高容量电极材料的商业化应用仍然面临亟需解决的关键科学问题，例如：首次库伦效率低、体积膨胀严重、循环容量快速衰减等，以及相关的机理机制尚不明确。为了稳定高容量电极，目前主要通过碳包覆、微纳米结构设计等予以实现，但是复杂的工艺和较高的成本限制了其广泛应用；相比之下，功能化复合粘结剂技术，一种高效且低成本的方案，有望突破高容量电极的关键科学问题，提高电池的能量密度与使用寿命，实现高容量电极材料的商业化应用。因此，亟需设计新型功能化粘结剂，以确保高容量活性物质在反复膨胀和收缩过程中不脱落，电极微粒间的结合不被破坏，同时实现电极性能提升的机理机制研究，最终突破高容量电极材料商业化所面临的应用基础问题。

基于此，项目团队从功能化粘结剂出发，构筑了高比能储能器件，分别从**电极容量衰减机制、粘结剂功能化设计、粘结区域力学/界面优化研究**等方面实现新型功能化粘结剂设计，解决了高比能电极的制备表征、性能调控及服役寿命等关键科学问题，揭示了高容量材料的高效储锂、容量衰减及性能优化等机理机制，形成了“**功能化粘结剂对高容量电池材料的性能调控及机理研究**”这一特色研究方向，项目团队的代表性研究成果、研究局限性及同行评价分述如下：

1. 揭示了高容量电极材料与功能化粘结剂之间的失效机制，从微观力学上，阐明了不同模量粘结剂对循环过程中电极形变的影响机制，指明了模量适度的粘结剂稳定高容量电极机械性能的重要性；从界面化学上，分析了不同粘结剂的极性基团对界面粘结强度的影响，阐明了电极微观力学的失效机制，同时解析了电解液与粘结剂的界面副反应所导致的严重锂耗损及低库伦效率，为功能化粘结剂的设计新思路奠定了理论基础。

粘结剂研究被认为是解决高容量活性物质体积膨胀问题最经济有效的方法之一，但粘结剂与高容量电极材料之间的界面失效机制不明确。项目团队通过多尺度多维度表征技术研究了电极的界面演变过程，并通过电化学测试技术将电极界面演变过程与电极电化学性能相关联，建立界面与电化学性能之间的构效关系，深入分析了粘结剂维度下高容量电极的界面失效机制。基于低模量、低硬度粘结剂的电极在循环过程发生巨大形变，极易造成电极的固态电解质界面的严重破坏，使得大量高还原性硅和锂硅合金暴露于电解液并与之发生严重的界面寄生反应，最终造成严重的界面机械/化学衰退和界面锂传输动力学的显著降低。相比而言，基于高模量、高硬度粘结剂的电极能够抑制循环过程中的电极形变，然而高模量、高硬度粘结剂由于难以形变，在高应力状态下易于发生脆性断裂，造成界面机械失效，从而引发严重的化学/电化学界面衰退。此外，

基于高模量粘结剂的硅基电极还面临着严重的应力集中现象，使得电极过早产生疲劳裂纹甚至发生断裂，造成电极循环寿命极为有限（图 1a）。基于此，项目团队指明了构建适度模量的粘结剂，对于稳定高容量电极对机械性能需求的重要性（代表性论文 1, *Adv. Energy Mater.*, 2019, 1802645, ESI 高被引论文）。

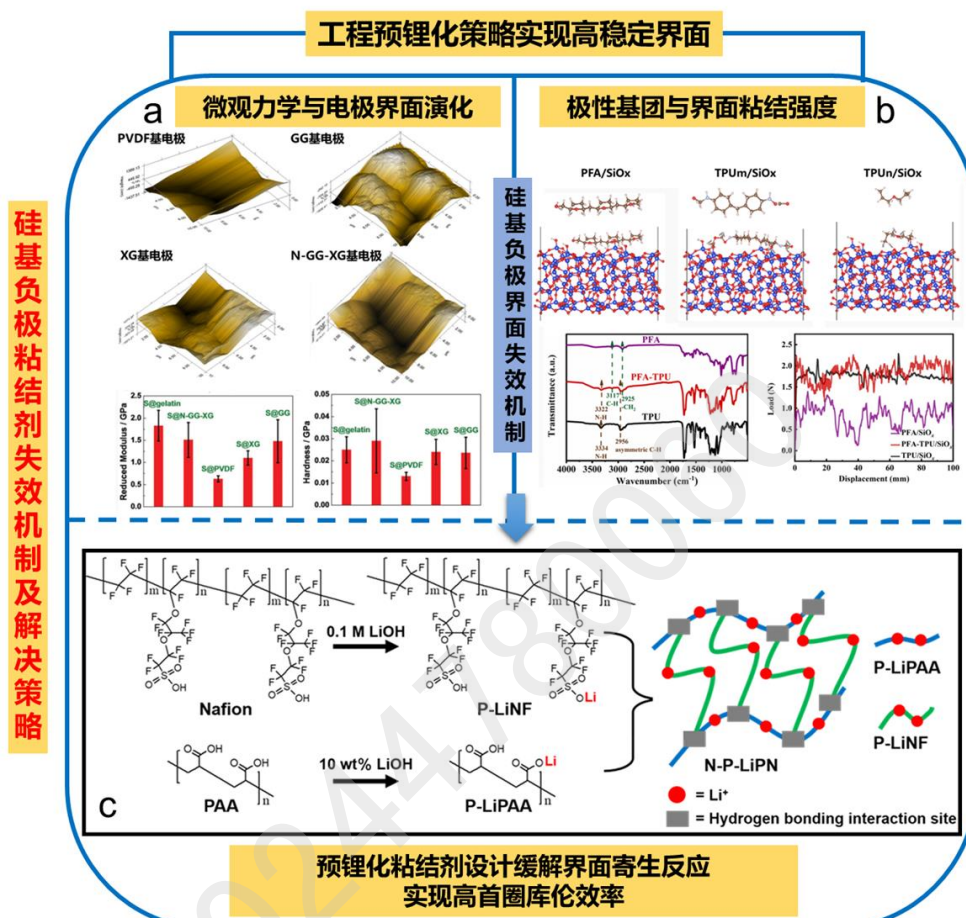


图 1. 从复合粘结剂角度实现硅基电极失效机制研究。（a）粘结剂微观力学与电极界面稳定性，（b）粘结剂极性基团提升界面粘结剂强度，（c）预锂化策略设计粘结剂提升电极界面稳定性。

在深入研究粘结剂体相力学性能对电极界面稳定性的基础上，项目团队进一步通过第一性原理计算和剥离测试相结合，量化分析了粘结剂基团对界面粘结强度的贡献。粘结力表征和理论模拟交互证实了含有不同基团的粘结剂之间界面粘结强度的巨大差异，理论计算量化揭示了含有强极性基团的粘结剂对硅的吸附能是仅含有非极性基团的粘结剂的近 5 倍（图 1b）。基于此，项目团队提出利用粘结剂各组分官能团的分子间强相互作用形成超分子网络，增强粘结剂自身宏观力学性能的同时加强与活性材料的粘合，抑制高容量活性材料循环过程中的体积变化，提升电极的电化学稳定性（代表性论文 2, *ACS Energy Lett.* 2021, 290）。

尽管粘结剂极性基团对构建强粘结界面帮助巨大，但在低还原电位下，极性基团中的 H^+ 极易与电解液反应被还原为 H_2 ，不仅造成活性锂的损失，还带来了严重的界面稳定性问题。因此，可以通过修饰粘结剂的官能团，用以平衡粘结剂的反应活性与活性材料界面稳定性之间的关系。例如：采用“工程预锂化策略”处理粘结剂，实现其官能团的部分锂化，有效缓解了电解液与粘结

剂之间的界面副反应（图 1c），最终实现了高容量电极的高面容量和高首次库伦效率（**代表性论文 5, *Adv. Energy Mater.*, 2020, 1903110, ESI 高被引论文**）。通过上述分析可知，高容量电极的失效机制主要与粘结剂的宏观机械性能、微观力学性能、界面粘结强度以及反应活性等有着直接的关联，从而为粘结剂的功能化设计新思路奠定了理论基础。

➤ 研究局限性

目前是通过小容量扣式半电池来研究硅基电极的界面失效机制，这难以等价于硅基电极在实际中的应用，即：器件尺度下的界面失效机制。后续应当以软包电池为代表的大容量电池为平台，对硅基电极的界面演化过程进行表征并探究其在实际工况下的界面失效机制。软包电池的电极材料负载量和电解液用量均比纽扣电池高几个数量级，导致电极材料和电解液分布不均匀。实验室级扣式电池和工业级软包电池之间的巨大差异使许多基于扣式电池进行的机制探究依旧存在明显缺陷。因此，在高容量软包电池下对硅基界面失效机制进行分析，对于提高工业级水平硅基锂离子电池的能量密度和循环寿命具有重要意义。

2. 提出了基于精准力学调控机制构建功能化粘结剂的新思路，国际上率先提出“软硬弹塑性效应”用于构建功能化复合粘结剂，解析了复合粘结剂中软质弹性组分与硬质塑性组分不同的作用机制，系统性拟合了高容量电极内的应力分布状况，构筑了稳固的固态电解质界面层，高效解决了高容量电极（例如：硅基、硫基等）的长循环寿命问题，引发了功能化粘结剂在高容量电极材料中的研究热点。

高容量电极在充放电过程中体积变化巨大，具有良好拉伸性能的软质弹性体聚合物成为粘结剂的首选。弹性体聚合物可以缓冲材料在嵌锂过程中的体积膨胀，促使材料在脱锂过程中的形貌恢复，避免电极结构的严重损害，实现电极的长寿命循环；然而，软质弹性体聚合物自身刚度不足，无法有效抑制电极的体积膨胀，导致电极在充放电过程中厚度的极大变化。相比而言，硬质塑性聚合物能够对高容量电极材料的体积变化起到良好的约束作用，有利于抑制电极厚度的变化；然而，高容量电极材料膨胀所引起的内应力较大，当应力超过一定范围，硬质塑性聚合物容易出现分子链断裂，导致粘结剂的功能失效与电极的结构坍塌。鉴于两类聚合物的优缺点，团队在国际上率先提出了“软硬弹塑性效应”，通过优选软质弹性与硬质塑性聚合物构建高强度三维网络结构复合粘结剂，应用于高容量电极材料（**代表性论文 1, *Adv. Energy Mater.*, 2019, 1802645, ESI 高被引论文**）。

“软”表示复合粘结剂具有一定的柔性和弹性，可以缓解活性材料的体积膨胀问题，“硬”表示复合粘结剂具有一定的刚度和塑性，能够保证电极的结构完整性，用于解决高容量电极巨大的体积膨胀难题，获得长循环稳定性的高容量电极。团队以聚丙烯醇（PVA）作为粘结剂中软质组分、聚糠醇（PFA）作为硬质组分，通过调配不同比例的 PFA/PVA 应用于硅基负极，实现了面容量高达 10 mAh/cm^2 下硅电极的稳定循环，同时控制硅基负极的体积变化为 16%（应用标准

<20%，图 2a）。当选择聚氨酯（TPU）为软质组分替换 PVA，通过 TPU 和 PFA 之间的相互作用构筑了更为稳定的三维网络复合粘结剂，使得氧化亚硅在 4.9 mg/cm^2 高载量下仍表现出优异的循环稳定性（图 2b，代表性论文 2，*ACS Energy Lett.* 2021, 290）。

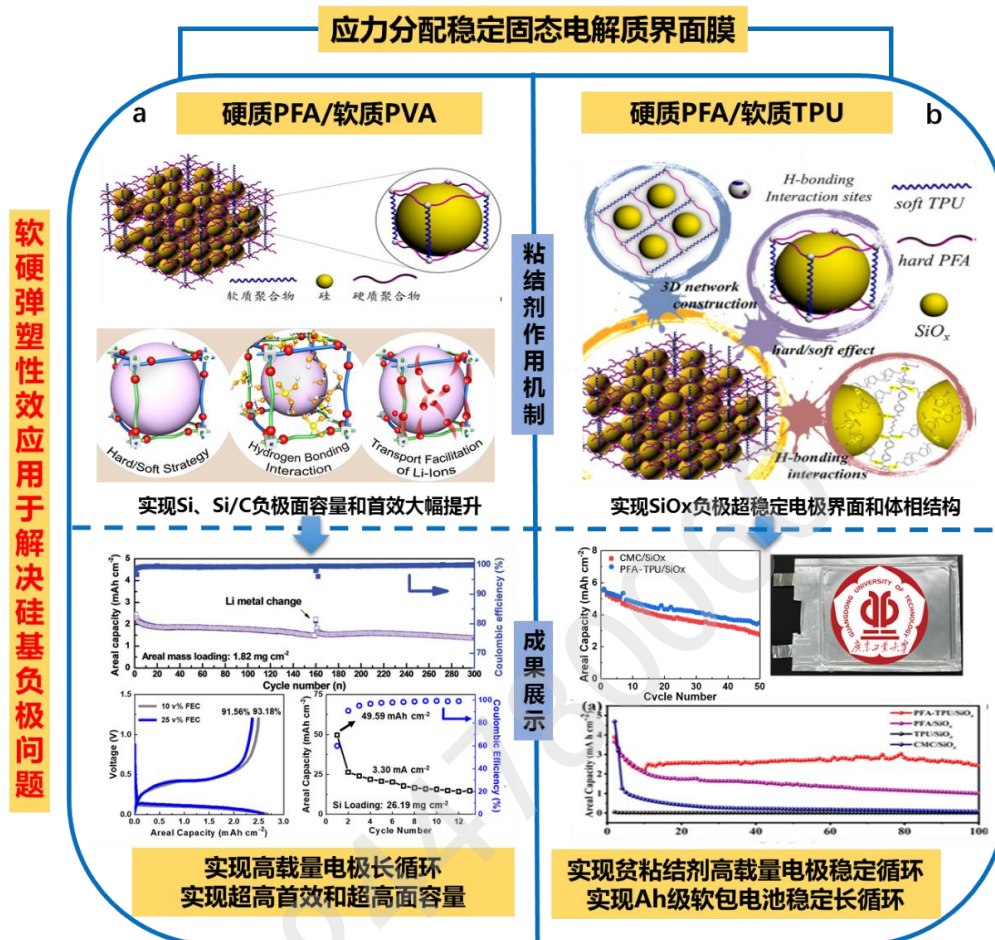


图 2. 基于“软硬弹塑性效应”构建高容量电极用功能化复合粘结剂。（a）硬质 PFA/软质 PVA 与（b）硬质 PFA/软质 TPU 体系。

分析结果表明，基于“软硬弹塑性效应”构建的粘结剂，仅使电极在循环过程中发生适度形变，保证电极体相和界面的结构稳定性。更为重要的是，适度形变可以造成电极内部应力的均匀分配，缓解应力集中现象，避免电极过早产生疲劳裂纹，极大延长了电池的服役寿命。不仅如此，该方案具有普适性效应，同样适用于其他高容量、大体积膨胀的材料体系（例如：氧化铁与氧化锡），为解决高容量电极材料体积膨胀效应的共性问题，奠定了坚实的基础。

► 研究局限性

“软硬弹塑性效应”策略高效调控了电极微观结构力学性能，缓解了电极在脱/嵌锂过程中的巨大体积变化，有效提升了高容量电极材料的长循环稳定性。尽管如此，在储锂过程中，粘结剂对高容量电极结构产生的应力分布以及应力变化的机制仍不明确；如何通过实验分析与理论模拟相补充、原位与非原位相结合的手段探究充放电过程中电极微观结构的变化是关键。不仅如此，实际应用过程中，电池的电化学性能是基于全电池体系，这会使得电极的体积膨胀问题变得更复杂。因此后续研究中，需要基于全电池性能，研究“软硬弹塑性效应”策略构建的功能化粘结剂，

对高容量电极性能影响机制。

3. 提出了基于“软硬弹塑性效应”构筑超分子网络功能化粘结剂的新策略，通过调控超分子网络的结构与组分实现了长寿命高容量电极，系统性研究了粘结剂的超分子网络与电极性能之间的构效关系，发现了原位构建的超分子网络可以满足高容量电极对微观、宏观机械性能的需求，进一步阐明了超分子网络组分对电极的体相匀整性、界面稳定性与锂离子传输动力学的影响机制，为高容量电极的实际应用奠定了理论基础。

在充放电过程中，高容量硫基正极材料，同样面临着硅基负极材料的体积变化大、结构稳定性差等问题，导致电池性能快速下降。在硫基正极中，粘结剂不仅要承担缓解电极在充放电过程中的体积变化以及维持电极结构完整性的重要功能，而且要兼顾粘结剂体系对电极制备工艺的绿色化与可持续性的影响。因此，亟需研发环境友好、成本低廉、宏观力学性能优异的功能化粘结剂，突破高比容量硫基材料所面临的上述问题。基于此，项目团队提出了结合“软硬弹塑性效应”，构建超分子网络水系生物基复合粘结剂，以替代传统的 PVDF 粘结剂，实现面向低成本、高性能、可持续的高面积比容量电极的绿色制造。

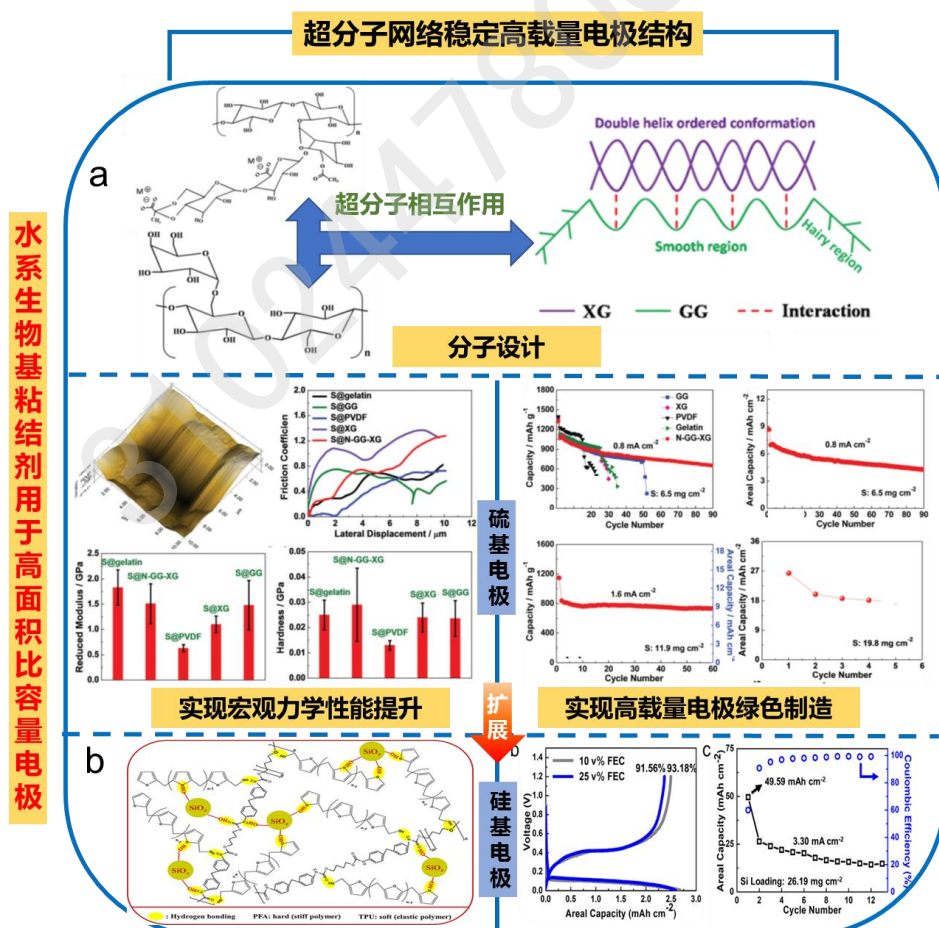


图 3. 超分子网络水系生物基复合粘结剂稳定高面积比容量电极。(a) GG/XG 超分子网络水系生物基复合粘结剂，(b) 应用领域扩展到硅基负极。

项目团队借助超分子化学，利用水性生物基高分子 GG 和 XG 分子间强相互作用，在电极浆

料制备过程中原位形成超分子网络，不仅增强了粘结剂本身的宏观力学性能也加强了粘结剂与活性材料的粘合，同时同步完成电极制备，简化了电极制备工艺。此外，生物高分子 GG 和 XG 富含极性含氧官能团，通过化学相互作用有效地吸附多硫化锂中间产物，抑制固有的穿梭效应，提升硫基电极的电化学稳定性。基于 GG/XG 超分子网络的水系生物质基粘结剂实现了国际上当时最高面容量 (26.4 mAh/cm^2) 硫基电极的绿色制造 (图 3a, 代表性论文 3, *Energy Environ. Sci.*, 2017, 750, ESI 高被引论文)，同时将应用领域扩展到硅基负极，制备了硅基电极用山梨糖醇/异山梨醇水系生物质基复合粘结剂 (图 3b, 代表性论文 4, *Chem. Res. Chinese U.*, 2021, 304)。

基于以上理解，项目团队进一步提出了“工程预锂化粘结剂”策略 (图 2c)。通过调控极性基团的锂化程度实现了粘结剂的宏观机械性能、微观力学性能、界面粘结强度和化学/电化学稳定性的平衡，并提升了粘结剂的锂离子传输动力学。项目团队设计了部分锂化的聚丙烯酸 (P-LiPAA) 和部分锂化的硬质全氟磺酸树脂 (P-LiNF)，调制了具有软硬弹塑性的超分子网络水系粘结剂 (N-P-LiPN)，通过极大提升电极的体相匀整性、界面稳定性与锂离子传输动力学等关键影响因素，将硅基电极的首次库伦效率提升至 93.18%，当时文献报道的通过使用粘结剂提升硅基负极首次库伦效率的最高值；同时实现了高达 49.59 mAh/cm^2 的放电面容量，亦是当时文献报道的最高值 (代表性论文 5, *Adv. Energy Mater.*, 2020, 1903110, ESI 高被引论文)。

➤ 研究局限性

如何发现合适的无氟水系生物质基粘结剂，突破其产业化应用瓶颈，是目前基于水系生物质基粘结剂的高比能电极绿色制造的关键所在。当前基于预锂化策略粘结剂的体相结构是仅基于超分子化学的非共价作用力所构建，所得到的粘结剂内聚强度较弱，在硅基电极长循环过程中粘结剂体相结构衰退严重，使得硅基负极的循环寿命依旧难以满足实际应用需求。在后续研究中，应当侧重构建兼具共价和非共价相互作用的粘结剂系统，以期进一步提升粘结剂体相结构的稳定性，满足高容量电极对微观、宏观机械性能的需求，最终实现高容量电极的商业化应用。

综上所述，面向国家对高性能高安全储能装置的重大需求，团队近年来一直围绕高比能锂离子动力电池进行应用基础研究，形成了“功能化粘结剂对高容量电池材料的性能调控及机理研究”这一特色研究方向，积累了具有实用价值的创新性成果：发现高效调控电极微观结构力学性能的新思路，国际上率先提出“软硬弹塑性效应”用于构建功能化复合粘结剂；揭示了超分子网络稳定高载量电极结构的新策略，发现原位构建的超分子网络复合粘结剂可以满足高载量电极对宏观机械性能的需求；深入研究了高容量电极界面失效机制，揭示了基于“软硬弹塑性效应”调控界面稳定性的内在机制，发现了超分子网络粘结剂中微观力学与界面稳定性的内在联系，实现了水系无氟生物质基粘结剂的绿色替代方案。以上研究基础为开发基于功能化复合粘结剂设计理念的高容量电极材料，实现锂离子电池技术的可持续发展，提供了创新设计思路。

五、客观评价

➤ 关于成果 1 的客观评价

加拿大两院院士、大连化物所陈忠伟教授 (*Adv. Energy Mater.*, 2022, 2200850) 肯定了项目团队所提出的粘剂工作机制, 并表明“工程预锂化策略”设计的粘结剂是实现高首效和长循环硅电极的有效手段: “...The framework with hard P-LiPAA chains has excellent mechanical strength and maintains hydrogen bonding with Si through carboxyl groups, while the soft P-LiNF chains act as a buffer to tolerate the tremendous volume expansion of Si. ...When the N-P-LiPN polymer acts as the Si binder, the electrode achieves a high initial CE of 93.18% and maintains a stable cycling performance over 500 cycles”。美国德州大学奥斯汀分校 Arumugam Manthiram 教授 (*Adv. Energy Mater.*, 2020, 2002508) 充分肯定了项目团队的“工程预锂化策略”在提升硅基电极界面和体相结构稳定性方面的有效性: “...The composite polymer binder (N-P-LiPN) exhibits all the ideal properties for an Si electrode: high mechanical strength, strong adhesion, good ion conductivity, and excellent elasticity”。

➤ 关于成果 2 的客观评价

中国工程院院士、浙江大学高翔教授肯定了“软硬弹塑性效应”的有效性 (*Eur. Polym. J.*, 2023, 111989): “...Wu and his coworkers reported all-integrated SiOx electrodes by utilizing a 3D interconnected binder systems with a three-in-one design. The hard chain of binder containing hydrogen bonds can increase the interaction with SiOx and adsorb on the surface of SiOx as well as construct a framework to keep electrode integrity. And the soft chain can tolerate large volumetric deformation of SiOx. Thus, combining the above two properties to modulate the chain structure of polymer makes the realization of intrinsically stretchable SiOx electrodes extremely promising”。加拿大工程院院士孙书会教授 (*Adv. Energy Mater.*, 2020, 2001537) 说明了软硬弹塑性粘结剂设计对解决硅基负极的问题具有良好启示作用: “...Liu et al. reported the application of hard and soft polymers as a cross-linking agent for covalent bonding between the polymer binder and Si, thereby achieving a high areal and rate capacity with long and stable cycle life”。

➤ 关于成果 3 的客观评价

中国科学院院士、厦门大学孙世刚教授 (*Adv. Energy Mater.*, 2017, 1701185) 总结了水系粘结剂对于硅基负极、硫基正极等性能的影响, 表明了项目团队设计的超分子网络粘结剂展现出优异的宏观力学性能, 实现了超高面容量硫基电极的制备: “...In addition, an ultrahigh areal capacity of 26.4 mAh cm⁻² could also be obtained with a remarkably high sulfur loading of 19.8 mg cm⁻² for the cathode with such robust network of GG-XG as the binder”。同时, 能源领域权威杂志 *J. Energy Chem.* 副主编、清华大学张强教授 (*Adv. Energy Mater.* 2017, 1700260) 也肯定了项目团队设计的高强度三维网络结构粘结剂实现了硫基电极面积比容量的突破: “...By further increasing the sulfur

loading to 19.8 mg cm^{-2} , an unprecedented areal capacity of 26.4 mAh cm^{-2} was achieved, which have not been realized in binder studies before”。德国明斯特大学 MEET 电池研究所 Martin Winter 教授 (Small Methods, 2020, 2000039) 表明了水系生物物质粘结剂是硫基电极绿色制造的新策略: “...These biopolymers are nontoxic, accessible through renewable resources, potentially low-cost and reveal new concepts for more sustainable S-C composite electrodes”。同时, 韩国工程院院士 Yang-Kook Sun 教授 (Adv. Mater., 2021, 2006019) 也肯定了水系生物物质粘结剂在锂硫电池实际应用中的重要作用: “...Such works serve as a clear proof of concept for the effective utilization of natural binders in sulfur cathodes to realize the practical applicability of Li-S batteries”。

六、主要完成人情况表

第一完成人	姓 名	林展	性 别	男	民 族	汉族
证件类型	身份证	证件号码	350181198111036170		国 籍	中国大陆
出生地	福建福清		籍 贯		出生日期	1981-11-03
毕业院校	美国北卡州立大学				毕业时间	2010-05-20
最高学历	博士研究生				最高学位	博士
职 称	教授				职 务	无
党 派	中国共产党	归国人员	是		归国时间	2014-01-01
工作单位	广东工业大学				所在地	广东省广州市番禺区
二级单位					联系电话	02039322237
电子邮箱	zhanlin@gdut.edu.cn	移动电话	15968860909		传 真	020-39322004
通信地址	广州市番禺区广东工业大学大学城校区工四614室				邮政编码	510006
完成单位	广东工业大学				所在地	广东省广州市番禺区
参加项目的 起止时间	2014-01-01至 2020-08-31					
曾获省级以上科技奖情况： 无						
对本项目主要贡献： 攻克了锂离子电池粘结剂材料应用的关键基础科学难题。						
主要贡献支撑材料（附件编号）：Adv. Energy Mater. 2019, 9, 1802645 （附件1）；ACS Energy Lett. 2021, 290 （附件2）；Energy Environ. Sci., 2017, 750 （附件3）；Adv. Energy Mater., 2020, 1903110 （附件5）						
声明：该项目是本人本年度被提名的唯一项目，本人同意完成人排名。 本人承诺遵守有关规定和要求，保证所提交的材料真实有效，且不存在任何违反科研诚信和有关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证配合做好调查处理工作。如有虚假，愿承担相应责任并接受相应处理。 本人签名： 年 月 日			完成单位声明： 本单位确认该完成人情况表真实有效，对该项目按要求进行公示，公示期满无异议，且该项目不存在任何违反科研诚信和有关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证配合做好调查处理工作。 完成单位（盖章） 年 月 日			

第二完成人	姓 名	吴曙星	性 别	男	民 族	汉族
证件类型	身份证	证件号码	362502198902257455		国 籍	中国
出生地	江西抚州		籍 贯		出生日期	1989-02-25
毕业院校	韩国釜山国立大学				毕业时间	2018-02-28
最高学历	博士研究生				最高学位	博士
职 称	副教授				职 务	系主任
党 派	群众	归国人员	是		归国时间	2018-02-28
工作单位	广东工业大学				所在地	广东省广州市番禺区
二级单位					联系电话	13168350735
电子邮箱	shuxing.wu@gdut.edu.cn	移动电话	13168350735		传 真	02039322004
通信地址	广州市大学城广东工业大学				邮政编码	510006
完成单位	广东工业大学				所在地	广东省广州市番禺区
参加项目的 起止时间	2018-05-01至 2021-08-31					
曾获省级以上科技奖情况： 无						
对本项目主要贡献： 项目团队提出利用粘结剂各组分管能团的分子间强相互作用形成超分子网络，增强粘结剂自身宏观力学性能的同时加强与活性材料的粘合，抑制高容量活性材料循环过程中的体积变化，提升电极的电化学稳定性。						
主要贡献支撑材料（附件编号）：ACS Energy Lett. 2021, 6, 290297（附件2）						
声明：该项目是本人本年度被提名的唯一项目，本人同意完成人排名。 本人承诺遵守有关规定和要求，保证所提交的材料真实有效，且不存在任何违反科研诚信和有关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证配合做好调查处理工作。如有虚假，愿承担相应责任并接受相应处理。 本人签名： 年 月 日			完成单位声明： 本单位确认该完成人情况表真实有效，对该项目按要求进行公示，公示期满无异议，且该项目不存在任何违反科研诚信和有关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证配合做好调查处理工作。 完成单位（盖章） 年 月 日			

第三完成人	姓 名	刘铁峰	性 别	男	民 族	汉族
证件类型	身份证	证件号码	230103198702050314		国 籍	中国
出生地	哈尔滨		籍贯	山东蓬莱	出生日期	1987-02-05
毕业院校	哈尔滨工业大学				毕业时间	2017-01-01
最高学历	博士研究生				最高学位	博士
职 称	研究员				职 务	无
党 派	中国共产党	归国人员	否			
工作单位	浙江大学				所在地	浙江省
二级单位					联系电话	13059008725
电子邮箱	tiefengliu@zjut.edu.cn	移动电话	13059008725		传 真	020-39322004
通信地址	杭州市拱墅区潮王路18号				邮政编码	310014
完成单位	广东工业大学				所在地	广东省广州市番禺区
参加项目的 起止时间	2016-12-24至 2021-08-31					
曾获省级以上科技奖情况： 无						
对本项目主要贡献： 提出了基于精准力学调控机制构建功能化粘结剂的新思路，国际上率先提出“软硬弹塑性效应”用于构建功能化复合粘结剂，解析了复合粘结剂中软质弹性组分与硬质塑性组分不同的作用机制。						
主要贡献支撑材料（附件编号）：Adv. Energy Mater., 2019, 1802645（附件1）						
声明：该项目是本人本年度被提名的唯一项目，本人同意完成人排名。 本人承诺遵守有关规定和要求，保证所提交的材料真实有效，且不存在任何违反科研诚信和有关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证配合做好调查处理工作。如有虚假，愿承担相应责任并接受相应处理。			完成单位声明： 本单位确认该完成人情况表真实有效，对该项目按要求进行公示，公示期满无异议，且该项目不存在任何违反科研诚信和有关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证配合做好调查处理工作。			
本人签名： 年 月 日			完成单位（盖章） 年 月 日			

第四完成人	姓 名	李泽珩	性 别	男	民 族	汉族
证件类型	身份证	证件号码	33018219920605001X		国 籍	中国
出生地	浙江建德		籍 贯	浙江建德	出生日期	1992-06-05
毕业院校	浙江大学				毕业时间	2020-12-30
最高学历	博士研究生				最高学位	博士
职 称	研究员				职 务	无
党 派	群众	归国人员	否			
工作单位	浙江大学				所在地	浙江省
二级单位					联系电话	15990186142
电子邮箱	zhehengli@zju.edu.cn	移动电话	15990186142		传 真	020-39322004
通信地址	浙江省杭州市西湖区浙江大学紫金港西区同和苑2幢				邮政编码	100084
完成单位	浙江大学				所在地	浙江省
参加项目的 起止时间	2017-10-01至 2021-08-31					
曾获省级以上科技奖情况： 无						
对本项目主要贡献： 提出了“工程预锂化粘结剂”策略，通过调控极性基团的锂化程度实现了粘结剂的宏观机械性能、微观力学性能、界面粘结强度和化学/电化学稳定性的平衡，并提升了粘结剂的锂离子传输动力学。						
主要贡献支撑材料（附件编号）：Adv. Energy Mater., 2020, 1903110（附件5）						
声明：该项目是本人本年度被提名的唯一项目，本人同意完成人排名。 本人承诺遵守有关规定和要求，保证所提交的材料真实有效，且不存在任何违反科研诚信和有关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证配合做好调查处理工作。如有虚假，愿承担相应责任并接受相应处理。 本人签名： 年 月 日			完成单位声明： 本单位确认该完成人情况表真实有效，对该项目按要求进行公示，公示期满无异议，且该项目不存在任何违反科研诚信和有关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证配合做好调查处理工作。 完成单位（盖章） 年 月 日			

第五完成人	姓 名	刘杰	性 别	男	民 族	汉族
证件类型	身份证	证件号码	370284198708225132		国 籍	中国
出生地	山东省青岛市黄岛区		籍 贯	山东青岛	出生日期	1987-08-22
毕业院校	厦门大学				毕业时间	2015-09-01
最高学历	博士研究生				最高学位	博士
职 称	副教授				职 务	无
党 派	中国共产党	归国人员	是		归国时间	2018-03-31
工作单位	青岛科技大学				所在地	山东省
二级单位					联系电话	15689987734
电子邮箱	jie.liu@qust.edu.cn	移动电话	15689987734		传 真	020-87684338
通信地址	山东省青岛市青岛科技大学四方校区化工学院				邮政编码	266042
完成单位	浙江大学				所在地	浙江省
参加项目的 起止时间	2016-01-01至 2021-08-31					
曾获省级以上科技奖情况： 无						
对本项目主要贡献： 构建超分子网络水系生物质基复合粘结剂，以替代传统的PVDF粘结剂，实现面向低成本、高性能、可持续的高面积比容量电极的绿色制造。						
主要贡献支撑材料（附件编号）：Energy Environ. Sci., 2017, 750 （附件3）；Chem. Res. Chinese U., 2021, 304 （附件4）						
声明：该项目是本人本年度被提名的唯一项目，本人同意完成人排名。 本人承诺遵守有关规定和要求，保证所提交的材料真实有效，且不存在任何违反科研诚信和有关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证配合做好调查处理工作。如有虚假，愿承担相应责任并接受相应处理。 本人签名： 年 月 日			完成单位声明： 本单位确认该完成人情况表真实有效，对该项目按要求进行公示，公示期满无异议，且该项目不存在任何违反科研诚信和有关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，保证配合做好调查处理工作。 完成单位（盖章） 年 月 日			

七、评审意见

学 科 （专 业） 组 评 审 意 见
推荐该项目为（ ）等奖候选项目。 组长签名：_____ _____ 年 月 日
广 东 省 科 学 技 术 奖 评 审 委 员 会 评 审 意 见
该项目为（ ）等奖拟奖项目。 广东省科学技术奖评审委员会办公室（盖章） _____ 年 月 日

八、主要证明目录

1. 代表性论文、专著等

序号	论文专著名称	刊名	年卷页码 (xx年xx卷xx页)	发表时间	通讯作者	第一作者	其他作者	他引总次数	检索数据库名称	论文署名单位是否包含国外单位
1	Interweaving 3D Network Binder for High-Areal-Capacity Si Anode through Combined Hard and Soft Polymers	Advanced Energy Materials	2019年9卷1802-1806页	2019-01-17	林展俊	刘铁峰	储巧玲, 闫澄, 张山青	168	Web of Science 核心合集 (1986-2023)	是
2	In-Situ Polymerized Binder: A Three-in-One Design Strategy for All-Integrated SiOx Anode with High Mass Loading in Lithium Ion Batteries	ACS Energy Letters	2021年6卷1期290-297页	2021-01-08	林展俊	吴曙星	杨雅君, 刘灿宾, 刘铁峰, 张亚萍, 张丙凯, 罗冬, 潘峰	59	Web of Science 核心合集 (1986-2023)	否
3	Exploiting a robust biopolymer network binder for an ultrahigh-areal-capacity Li-S battery	Energy & Environmental Science	2017年10卷3期750-755页	2017-03-01	林展俊, 张山青	刘杰	Dilini G. D. Galpaya, 严立京, 孙铭浩, 闫澄, 梁成都	209	Web of Science 核心合集 (1986-2023)	是

4	Small Things Make a Big Difference: the Small-molecule Cross-linker of Robust Water-soluble Network Binders for Stable Si Anodes	Chemical Research in Chinese Universities	2021年37卷2期 304-310页	2021-03-01	王东	刘杰, 王磊	李振伟, 张倩, 杨宇, 韩吉妹	4	Web of Science 核心合集 (1986-2023)	否		
5	Silicon Anode with High Initial Coulombic Efficiency by Modulated Trifunctional Binder for High-Areal-Capacity Lithium-Ion Batteries	Advanced Energy Materials	2020年10卷	2020-05-01	林展、凌敏、郑俊超、张亚萍	李泽珩	刘铁峰、高学会、李嗣源、梁成都	162	Web of Science 核心合集 (1986-2023)	否		
合计								602				
注：发表在国内期刊的论文或国内出版的专著不少于1篇（部），所提交论文均须于2021年9月30日前发表。												
补充说明（视情填写，不可列代表性论文专著以外的论文专著）：												

2. 代表性论文专著被他人引用的情况

序号	被引用代表性 论文专著序号	引文题目/作者	引文刊名	引文发表时间 (年月日)
1	1	Si anode for next-generation lithium-ion battery/Wen-Feng Ren, Yao Zhou, Jun-Tao Li, Ling Huang and Shi-Gang Sun	Current Opinion in Electrochemistry	2019-12-24
2	2	Stretchable high-capacity SiO _x /carbon anode with good cycle stability enabled by a triblock copolymer elastomer/Xuexian Yu, Sainan Ma, Qinghua Zhang, Yang Hou, Qinggang He, Yingwu Luo, and Xiang Gao	European Polymer Journal	2023-05-23
3	3	Review on High-Loading and High-Energy Lithium-Sulfur Batteries/Hong-Jie Peng, Jia-Qi Huang, Xin-Bing Cheng, and Qiang Zhang	Adv. Energy Mater.	2017-12-20
4	3	Water Soluble Binder, an Electrochemical Performance Booster for Electrode Materials with High Energy Density/Jun-Tao Li, Zhan-Yu Wu, Yan-Qiu Lu, Yao Zhou, Qi-Sen Huang, Ling Huang, and Shi-Gang Sun	Adv. Energy Mater.	2017-12-20
5	5	Design Criteria for Silicon-Based Anode Binders in Half and Full Cells/Li Deng, Yun Zheng, Xiaomei Zheng, Tyler Or, Qianyi Ma, Lanting Qian, Yaping Deng, Aiping Yu, Juntao Li, and Zhongwei Chen	Adv. Energy Mater.	2022-07-10

3. 承诺函

（请第一完成人亲笔手写以下承诺内容，亲笔签名后由其完成单位或工作单位盖章）

本人承诺：（1）本项目所列论文符合科研诚信的相关规定，遵循国际公认的科研伦理规范和生命伦理准则等提名要求，无争议。（2）已明确告知所列论文（专著）所有作者：所列论文（专著）用于提名2023年度广东省科学技术奖，如项目获奖，所列论文（专著）不得再次参评。（3）未列入项目主要完成人的论文第一作者和通讯作者（含共同第一作者、共同通讯作者），专著主编和副主编，结题验收、成果评价材料中的完成人已出具“同意不参与报奖声明”，与其他作者的有关知情证明材料均存档备查。（4）如因上述事项引发争议，将积极配合调查处理并承担相应责任。

手写区域：

第一完成人（签名）：

单位（盖章）：

年 月 日

年 月 日

4. 技术评价材料目录

(1) 结题验收材料

序号	计划（基金） 名称	项目名称	项目编号	结题（验收） 时间	评价部门
1	国家自然科学基金委员会面上项目	基于“软硬弹塑性效应”构建高面积容量锂离子电池硅负极用三维网络结构复合粘结剂及其性能研究	51874104	2023-03-30	国家自然科学基金

(2) 成果评价材料

序号	成果名称	评价证书编号	评价时间	评价部门
1	功能化粘结剂对高容量电池材料的性能调控及机理研究	广工科评【2023】16号	2023-10-31	广东工业大学

5. 完成人合作关系说明

完成人合作关系说明:

项目完成人林展、吴曙星均为广东工业大学轻工化工学院教师, 共同组建电化学纳米能源工程团队, 其中林展教授为团队的主要负责人, 完成人自2018年起已经建立了长期合作。项目完成人刘铁峰教授为广东工业大学博士后, 指导老师为林展教授。林展教授于2014年1月获得第十批“国家海外引才计划”(青年项目)资助, 入职浙江大学, 2016年入职广东工业大学, 在浙江大学期间, 与浙大教授共同指导博士生李泽珩; 项目完成人刘杰博士为林展教授在浙江大学的博士后。

完成人林展是本项目的第一负责人, 共发表SCI学术论文113篇, 主持/参与了国家自然科学基金、国家重点研发计划及广东省科技创新计划等10余个国家/省部级项目以及企业合作研发项目; 应邀在国内外学术会议作学术报告20余次; 应邀担任2017 International Symposium on Energy Conversion and Storage Materials (ISECSM2017) 国际会议分会主席、The International Conference on Electrochemical Energy Science and Technology 2018 (EEST2018) 国际研讨会组委会委员等; 作为大会组委会主席组织申办了2019 Wiley-广东工业大学能源化学国际学术研讨会; 应邀担任国内SCI学术期刊Carbon Energy副编委, 国际SCI学术期刊Scientific Reports、Frontier in Energy Research编委及Nat. Commun.、Angew. Chem. Int. Ed.、Energy Environ. Sci.等重要学术期刊审稿人; 2013年入选国家海外高层次人才计划, 2018年入选广东省“珠江人才计划”青年拔尖人才。

项目第一完成人林展与第二完成人吴曙星属同单位, 完成人吴曙星是本项目的技术骨干, 是合著论文的作者(附件2)。完成人刘铁峰教授为第一完成人林展教授在广东工业大学的博士后, 参与硅基负极的研究, 曾合著论文(附件1)。完成人李泽珩为林展教授在浙江大学共同指导的博士研究生, 曾合著论文(附件5)。完成人刘杰是林展教授在浙江大学工作期间的博士后, 曾合著论文(附件3)。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者 /项目排名	合作时间	证明材料	备注
1	论文合著	林展, 吴曙星/ 第二	2018-05-01 至 2021-08-31	附件2	无
2	论文合著	林展, 刘铁峰/ 第三	2016-12-23 至 2021-08-31	附件1	无
3	论文合著	林展, 李泽珩/ 第四	2017-09-01 至 2021-08-31	附件5	无
4	论文合著	林展, 刘杰/ 第五	2015-11-01 至 2021-08-31	附件3	无

承诺：本人作为项目第一完成人，对本项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。

第一完成人签名：

6、其他

其他支撑本项目重要科学发现、客观评价及完成人学术贡献的证明材料。

310244780060

九、附件（纸质材料按以下顺序装订，内容与电子版一致）

1. 代表性论文、专著；
2. 代表性论文（专著）被他人引用的情况；
3. 论文、专著检索报告（自然科学奖项目必须提供）；
4. 结题验收材料（验收意见、完成单位名单、完成人名单）；
5. 成果评价材料（成果评价意见、完成单位名单、完成人名单）；
6. 外籍专家省内单位聘用任务书；
7. 其他。