

固态/半固态锂离子电池创新与专利报告

目录	页
<u>内容提要</u>	5
<u>作者简介</u>	6
<u>导言</u>	6
• <u>本报告的重点</u>	6
• <u>固态/半固态锂离子电池组件</u>	7
• <u>当今的固态/半固态锂离子电池市场</u>	8
• <u>（预计）市场发布 - 固态/半固态锂离子电池电动汽车</u>	10
<u>基于机器学习的商业相关专利识别</u>	13
• <u>自 2022 年以来商业相关专利族/实用新型的数量</u>	13
<u>技术决策树</u>	31
• <u>固态电解质 - 类型 - 上市或接近上市</u>	32
• <u>固态电解质 - 类型 - 基于专利申请</u>	33
• <u>固态电解质 - 概念</u>	34
• <u>固态电解质 - 不含磷的氧化物 -</u> <u>（可能）结晶</u>	35
• <u>固态电解质 - 磷酸盐/含磷氧化物 -</u> <u>（可能）结晶</u>	36
• <u>固态电解质 - 氧化物/磷酸盐 - （可能）玻璃</u>	36
• <u>固态电解质 - 氢氧化物</u>	37
• <u>固态电解质 - 硫化物</u>	38
• <u>固态电解质 - 减少硫化氢排放</u>	39
• <u>固态电解质 - 有机聚合物</u>	40
• <u>固态电解质 - 卤化物/氧卤化物</u>	41
• <u>薄膜电池的固态电解质</u>	41
• <u>固态电解质 - 硼烷</u>	42
• <u>锂（钠）盐</u>	42
• <u>增塑剂</u>	43
• <u>液体电解质成分/液体添加剂</u>	43
• <u>不含锂的固态电解质添加剂/支持和填充材料</u>	45

• <u>固态电解质粘合剂</u>	45
• <u>负极活性材料</u>	46
• <u>正极活性材料</u>	47
• <u>负极添加剂</u>	48
• <u>正极添加剂</u>	49
• <u>负极粘合剂</u>	50
• <u>正极粘合剂</u>	50
• <u>电池设计</u>	51
• <u>电池设计 - 概念</u>	51
• <u>模块工艺</u>	52
• <u>可靠性</u>	52
• <u>应用</u>	53
• <u>电解质薄膜沉积工艺</u>	54
<u>基准测试和产品发布风险因素 -</u>	
<u>液体电池与半固态电池与固态电解质电池</u>	56
• <u>固有安全性 - 关键风险因素</u>	56
• <u>能量密度 - 正负极活性材料选择</u>	57
• <u>功率密度 - 固态/半固态电解质的离子电导率</u>	59
• <u>长寿 - 裂纹形成和化学不稳定的风险</u>	67
• <u>电池大小</u>	68
• <u>原材料和制造工艺</u>	69
<u>预测</u>	70
<u>公司评估</u>	72
• <u>丰田</u>	72
• <u>松下</u>	85
• <u>三星</u>	91
• <u>LG 能源解决方案/LG 化学</u>	99
• <u>卫蓝</u>	105
• <u>SVOLT Energy Technology / 蜂巢能源 / Honeycomb Energy</u>	111
• <u>村田制作所</u>	114
• <u>TDK</u>	117
• <u>麦克赛尔</u>	121

• <u>三井金属矿业 / 三井金属</u>	125
• <u>通用汽车</u>	128
• <u>太阳诱电</u>	132
• <u>出光兴产</u>	134
• <u>比亚迪</u>	136
• <u>辉能科技</u>	138
• <u>赣锋锂业 / 浙江锋锂 / Zhejiang Funlithium</u>	146
• <u>JX日矿金属/ 引能仕</u>	151
• <u>康宁</u>	153
• <u>PolyPlus</u>	157
• <u>宁德时代新能源 (CATL)</u>	163
• <u>东芝</u>	179
• <u>Solid Power</u>	182
• <u>FDK / 富士通</u>	189
• <u>TeraWatt Technology</u>	192
• <u>清陶(昆山)新能源材料/苏州清陶新能源科技/宜春清陶能源科技</u>	195
• <u>Blue Current</u>	200
• <u>巴斯夫</u>	204
• <u>SES Holdings</u>	209
• <u>日本碍子</u>	216
• <u>Hydro Québec</u>	220
• <u>Blue Solutions</u>	227
• <u>Ilika Technologies</u>	234
• <u>Foxconn (鸿海精密工业) / SolidEdge Solution</u>	240
• <u>Sakuú</u>	243
• <u>Factorial Energy</u>	248
• <u>小原</u>	253
• <u>BrightVolt</u>	255
• <u>Ampcera</u>	260
• <u>Soelect</u>	262
• <u>Piersica</u>	266
• <u>QuantumScape</u>	268
• <u>ION Storage Systems</u>	275

• <u>恩力动力</u>	281
<u>深度剖析 - 卤化物电解质的选择与权衡</u> （版本：2024-02-03）	284
• <u>引言</u>	284
• <u>专利文献中识别出的具有离子导电性的卤化物</u> （包含 70 条专利的表格）	285
• <u>用于微电子应用的下一代固态锂离子电池卤化物电池</u>	288
• <u>用于下一代硫化物固态锂离子电池电动汽车电池的卤化物正极电解质</u>	289
• <u>概念上独特的卤化物的进一步示例</u>	290
• <u>选择卤化物时的权衡</u> （包括决策流程）	294
• <u>结论</u>	297
<u>深度剖析 - 界面： 锂金属电极 - 聚合物电解质</u> （版本：2024-05-06）	298
• <u>引言</u>	298
• <u>离子导电聚合物——当前技术水平的评估</u>	298
• <u>降低聚合物电解质对电化学稳定性的依赖</u>	301
• <u>引入非导电多孔聚合物薄膜</u>	303
• <u>四轨产品开发方法</u>	305
• <u>实验室规模下难以识别电池失效的根本原因</u>	307
• <u>结论</u>	308
<u>深度剖析 - 正极的选项和抉择</u> （版本：2024-06-17）	309
• <u>引言</u>	309
• <u>全固态 vs. 半固态 vs. 液态正极及负极电解质——一般考虑因素</u>	310
• <u>总结——正极电解质组分选项及权衡</u>	312
• <u>当前技术水平的估算</u>	314
• <u>尚未充分探索的材料与化学品</u>	318
<u>深度剖析 - 硅基负极 - 硫化物电解质</u> （版本：2024-12-10）	321
• <u>引言</u>	321
• <u>产品上市前的“决策迷宫”</u>	321
• <u>硅-硫化物界面反应的学术研究成果</u>	323
• <u>碳基负极中碳添加剂的副反应</u>	323
• <u>无碳负极中硅和硅-锂合金的电子导电性</u>	324
• <u>硅基负极中孔隙率和曲折度的作用</u>	324
• <u>干法工艺中活性材料的优化</u>	327
• <u>重新审视“决策迷宫”——未被充分探索的方法</u>	327
• <u>结论</u>	330

<u>深度剖析 - 硅基负极 - 聚合物和氧化物电解质</u> (版本: 2025-02-03)	337
• <u>引言</u>	337
• <u>“半固态”电解质与硅基活性材料——一对“不完美”材料如何推动产品上市进程</u>	337
• <u>当前技术水平评估</u>	338
• <u>产品上市决策迷宫</u>	338
• <u>假设驱动与数据驱动的界面设计</u>	344
• <u>负极/电解质界面对电池性能的影响</u>	344
• <u>数据驱动筛选方法的可行性</u>	345
• <u>哪些硅基活性材料在与氧化物和/或聚合物基电解质结合时尚未被充分探索?</u>	346
• <u>若性能与安全性几乎相当, 成本最低的方案将胜出</u>	346
<u>深度剖析 - 氧化物电解质的选项与抉择</u> (版本: 2025-05-30)	348
• <u>引言</u>	348
• <u>氧化物固态电池的“决策迷宫”</u>	348
• <u>电解质膜形成应在何种温度下发生?</u>	349
• <u>晶体与玻璃态/非晶态电解质</u>	351
• <u>掺杂剂选择/缺陷密度/缺陷填充</u>	355
• <u>颗粒表面化学组成的改性</u>	356
• <u>与其他电解质类别的组合</u>	357
<u>专利分析方法与验证</u>	361
<u>缩略语列表</u>	361
<u>免责声明</u>	364

作者简介

Pirmin Ulmann 于 2004 年获得苏黎世联邦理工学院（瑞士）化学文凭，并于 2009 年获得西北大学（美国）博士学位。此后，他是东京大学（日本）ERATO 学术工业项目的 JSPS 外国研究员。从 2010 年到 2016 年，在瑞士一家大型电池材料制造商工作期间，他是 7 个锂离子电池相关专利家族的共同发明人。他还负责与 Paul Scherrer Institute（瑞士保罗谢尔研究所）的合作，评估企业战略的外部技术，并拜访东亚，北美和欧洲的电池制造商。他拥有斯坦福大学认证项目经理（SCPM）证书，合著的论文有超过 2,000 次引用。

介绍

本报告的重点

在这篇报告中，讨论了主要固态/半固态锂离子电池公司正在评估的技术选项，以推出用于各种应用的商业产品，特别是电子产品和电动汽车。该分析基于一种独特的机器学习支持的筛选方法，用于识别具有高度潜在商业相关性的专利申请，并将其与公开声明（包括在会议上）进行比较。

理解固态/半固态锂离子电池技术决策树可以确定尚未探索的有前途的产品开发方向。

主要商业参与者的专利组合分为 6 类：

- 级别 1) 电解质和电极专利
- 级别 2) 电池专利
- 级别 3A) 模块/外形/封装专利
- 级别 3B) 应用专利
- 级别 3C) 可靠性专利
- 级别 3D) 制造专利

涵盖所有这些类别的专利组合通常反映了大量的产品开发工作，解决了成功发布所需的所有方面。对于 丰田 来说，还讨论了与硫化物电解液电池回收相关的关键专利。

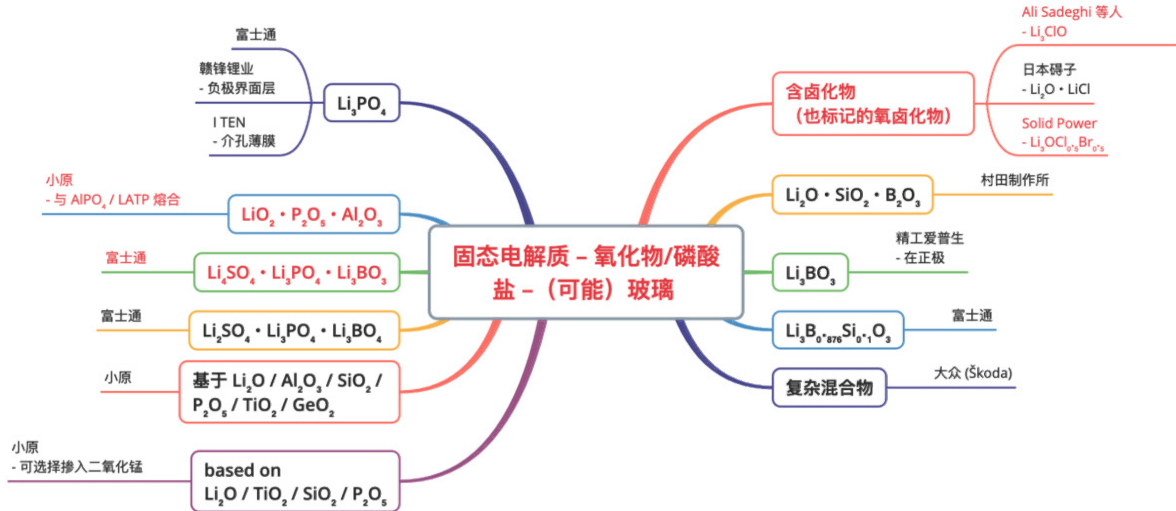
对于量身定制的专利检索，用于准备本报告的机器学习模型可供 b-science.net 上的用户使用。

基于机器学习的商业相关专利识别

b-science.net 开发了一种监督机器学习方法来评估专利的商业相关性，并结合自动翻译框架，确保非英语专利也被识别出来。通过这种方法，我们可以全面识别和分类活跃在商业固态锂离子电池研发中的组织。在这项研究中，重点是商业/私人公司，包括公共/私人合作。

技术决策树

图 7：技术决策树 - 固态电解质 - 氧化物/磷酸盐 - （可能）玻璃



基准测试和产品发布风险因素 - 液体、半固态和固态电解质电池

如果任何性能和安全性或成本不符合相应应用的要求，电池就会在商业上失效。某一方面的优异性能通常也无法弥补其最大的弱点。

表 5：固有安全风险

公司	可能影响安全的组件	风险
10 个新增条目		

表 6：目标能量密度

公司（具有近似电池容量）	近似体积/重量能量密度（对于 >1 Ah 电池，除非另有说明）	正极	负极
20 个新增条目			

表 7：固态电解质的离子电导率（在专利申请、公开声明或参考学术出版物中确定）；颜色标签：
深蓝色：氧化物/磷酸盐基电解质（可能含有聚合物，可能含有少量卤化物）；深棕色：硫化物基
电解质（可能含有卤化物、聚合物）；蓝绿色：卤化物基电解质（不含硫，可能含有氧气）；黑紫
色：聚合物基电解质（主要成分）

公司	可能的电解质	25° C 时的近似锂离子电 导率，除非另有说明
121 个新增条目		

表 10：可能影响成本的原材料/工艺方面

公司	关键原料或工艺方面
19 个新增条目	

公司评估

作者评论以栗色显示。

宁德时代新能源科技（CATL） - 中国

组织简介

宁德时代新能源科技股份有限公司（宁德时代，<https://www.catl.com/>）是全球最大的锂离子电池生产商。宁德时代于 2011 年在中国宁德成立。2017 年，宁德时代完成了与母公司 ATL/TDK 的拆分。

独特能力：1) 具有极佳离子电导率（最高可达 2.4×10^{-3} S/cm）和高沸点 (>438 ° C) 的超分子离子液体/聚合物/锂盐电解质膜，以及配套的锂金属负极电池；2) 基于5个以上互补概念的硫化物电解质锂金属电池，以缓解各种故障模式。

关键假设：1) 含三苯基的电解质的毒性可接受；2) 当硫化物电解质与水或潮湿环境接触时，有毒硫化氢气体排放的风险在生产、运行和/或回收过程中不会成为障碍。

评论：方法1)和2)最终可能使锂金属负极在室温及以下条件下运行，并具备良好的快速充放电特性（同时具备良好的能量密度）。

新闻报道及新闻稿

此信息包含在完整版本中。

专利组合的总体特征

自 2022 年以来，CATL 已公布了 42 个与半固态或固态锂离子电池相关的新专利族（级别 1：21 个；级别 2：24 个；级别 3A：8 个；级别 3B：1 个；级别 3C：11 个；级别 3D：9 个）。聚合物/低聚物和硫化物电解质构成了主要的专利重点领域（图CA-1）。

图CA-1：基于AI对CATL自2022年以来公布的与固态电解质类别1-5相关的专利家族进行分类。未直接与某一类别相关的专利（例如因聚焦固态电池封装技术）已被排除。

类别	专利数量	百分比	可视化
类别5：聚合物/低聚物	16	51.6%	
类别4：硫化物	10	32.3%	
类别6：卤化物/含氧卤化物	3	9.7%	
类别1：氧化物	1	3.2%	
类别2：氧化物/聚合物复合材料	1	3.2%	

关键聚合物电解质产品开发概念

图CA-2展示了CATL如何探索一系列与聚合物/寡聚物相关的产品开发方法，其中有2个概念看似互补，尽管目前尚未发现任何专利证实它们的同步使用。

概念1：超分子离子液体，WO 2022021231 A1 ([EPO](#))

关键发现

基于超分子组装的离子通道的膜具有 2.4×10^{-3} S/cm 的离子电导率，密度相对较低，基于丰富的先驱物。

技术描述

基于苯并蒽的超分子离子液体通过 $\pi-\pi$ 堆积形成有序的离子传输通道。醚侧链（1-16个碳原子，见图CA-3）在分子组装与离子迁移性之间实现平衡。通过威廉森反应和FeCl₃环化合成，在25° C下实现 6.5×10^{-3} S/cm 的体积电导率。

背景信息

专利WO 2022021231 A1解决了聚合物离子导电性的瓶颈问题。自组装方法实现了接近液态的导电性（膜中为 2.4×10^{-3} S/cm），同时具备固态锂离子电池所特有的安全优势（如图CA-3所示的三苯基烯的沸点为 438°C ）。制造基于有机化学和相对丰富的原料。

电极配置

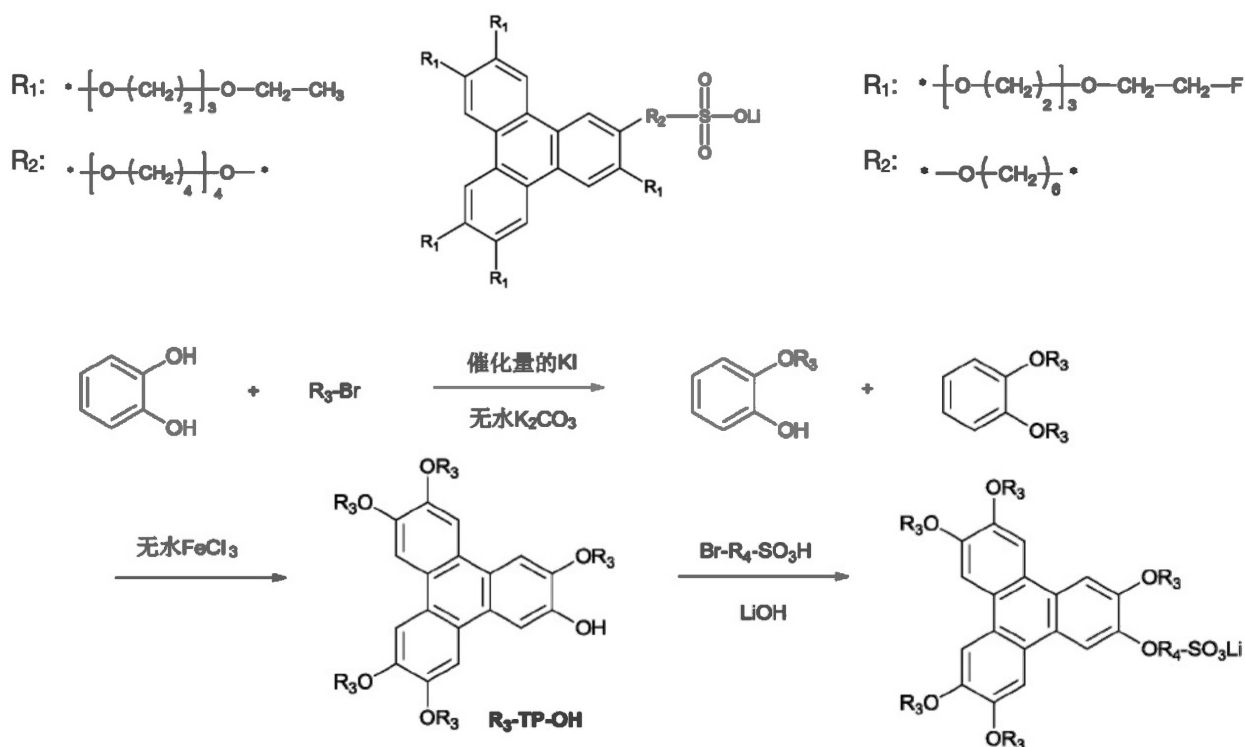
负极：锂金属 | 正极：NMC811。

完整版本包含对聚合物电解质产品开发概念2-5的讨论。

图CA-2：基于人工智能的聚合物电解质产品开发概念识别（CATL）



图 71：顶部 - 具有（可选氟化）环氧乙烷/磺酸锂基团的两种三亚苯基衍生物。左边的导数表现出特别有利的离子电导率 (6.5×10^{-3} S/cm)，而右边的导数表现出特别好的循环稳定性，底部合成工艺，OR3 = R1, OR4 = R2 (CATL)



概念间的潜在协同效应

研发概念1（超分子离子液体）与概念3（梯度交联系统）在克服固态电池开发中的根本性权衡方面存在协同效应。概念1通过自组装分子结构实现近似液态的离子传输，从而突破了限制固态电池发展的关键离子导电性瓶颈。概念3通过提供空间优化的结构强

化，解决了机械完整性和安全挑战。两者的结合有望实现固态电池同时具备液体般的离子导电性和优异的结构完整性——这两者此前被认为是相互排斥的特性。

可能的材料/电池/工艺特性（基于公开信息的预测）

- **电解质：**基于苯并葱的超分子离子液体，具有 $\pi-\pi$ 堆积架构和醚侧链（1-16个碳原子），在 25° C下展现出 6.5×10^{-3} S/cm的离子导电性（WO 2022021231 A1，示例22）。当与聚合物基体（PEO/PVDF/LiTFSI，质量比为10-80 : 100 : 5-40）结合时，该复合电解质的导电率为 2.4×10^{-3} S/cm。可通过在侧链中引入梯度丙烯酸酯交联系统（WO 2024243875 A1）来调节力学特性。
- **负极：**铜箔上的锂金属（WO 2022021231 A1）。
- **正极：**铝电流收集器上的NMC811，含2%质量分数导电碳和2%质量分数PVDF粘合剂（WO 2022021231 A1）。

- **设计：**具有良好变形阻力的棱柱形堆叠多层电池（WO 2024243875 A1）。
- 1) 通过威廉森反应和FeCl₃环化反应合成超分子离子液体（WO 2022021231 A1）。
 - 2) 顺序或并行（如使用多浆料喂料器）注射梯度交联膜形成（WO 2024243875 A1）。
 - 3) 热压（1-20 MPa, 50-100° C）以实现空间控制的交联密度。
 - 4) 真空退火（60-80° C, 1-8 小时）。
 - 5) 通过冷压（250 MPa, 25 ° C, 2 分钟）将电极和电解质层层压，以获得多层电池。
 - 6) 方形电池封装。

如图 CA-2（底部）所示的辅助发明也可在此背景下采用（CN 119864512 A 有关电极边缘控制和装配的内容将在本章末尾介绍）。

关键硫化物电解质产品开发理念

完整版包括硫化物电解质产品开发概念 1-5、协同作用和可能的材料/电池/工艺特性的讨论。

最近三周专利评论中涉及的高度相关发明

完整版包括我们在三周一次的专利筛选过程中发现的另外 3 项高度相关的全固态/半固态锂离子电池电解液专利的摘要和讨论。

基于人工智能的专利摘要

附录的 Excel 文件包含本章提及所有专利的人工智能专利摘要，按电解质类型（图 CA-1）和 1 级（电极/电解质专利）、2 级（电池专利 - 化学和结构）、3A 级（封装/外形尺寸/包装专利）、3B 级（应用专利）、3C 级（可靠性专利，如缓解短路/热量和气体形成）、3D 级（制造专利）进行分类。

专利分析方法与验证

本报告的专利信息来源是欧洲专利局（EPO），该局涵盖来自全球 100 多个专利局的专利申请。自 1980 年以来公布的 b-science.net 数据库中包括>300 万专利文件，这些文献要么在标题或摘要中包含“电池”一词，要么被分配到与储能相关的 CPC（合作专利分类）或 IPC（国际专利分类）代码之一：H01M（电池和燃料电池）或 H01G（电容器）。EPO 数据库中没有英文版的专利族由谷歌机器翻译（标题、摘要、申请人）。申请人的一些谷歌翻译是手动更正的。为商业相关的锂离子电池固态/半固态/凝胶电解质定义了 ML 模型。专利文献被分组到专利族中，并使用 ML 模型进行评分。应用 ML 相关性分数截止值 40（100：非常相关，0：不相关）。

免責聲明

我们致力于倾听并为储能社区提供高质量的服务，但我们不能保证我们的服务没有错误或中断。b-science.net 有限公司（LLC）及其附属公司的所有保证和责任均被排除在外。请查看适用于本文档的条款和条件以及隐私政策。

此服务可能包含由谷歌提供支持的翻译。GOOGLE 不承担与翻译相关的任何明示或暗示保证，包括对准确性、可靠性的任何保证，以及对适销性、特定用途适用性和不侵权的任何暗示保证。