

固态电池的坚实基础

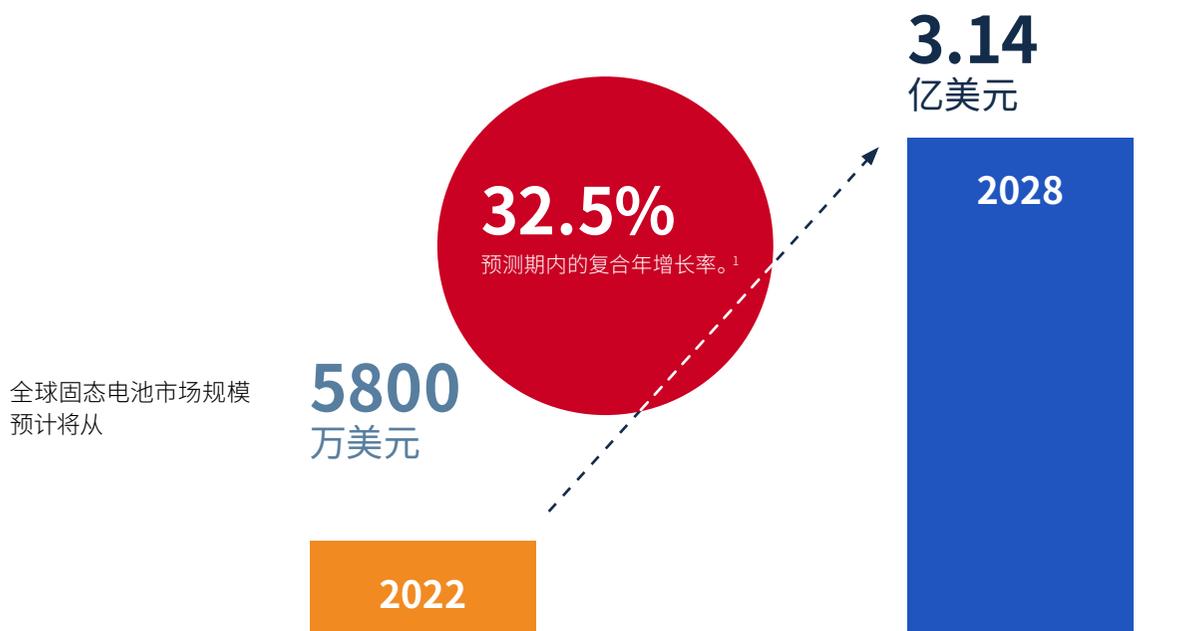
固态电池供应链中的利益相关者可以从
UL Solutions 的最新测试和认证方法中受益



Safety. Science. Transformation.™

什么是固态电池?

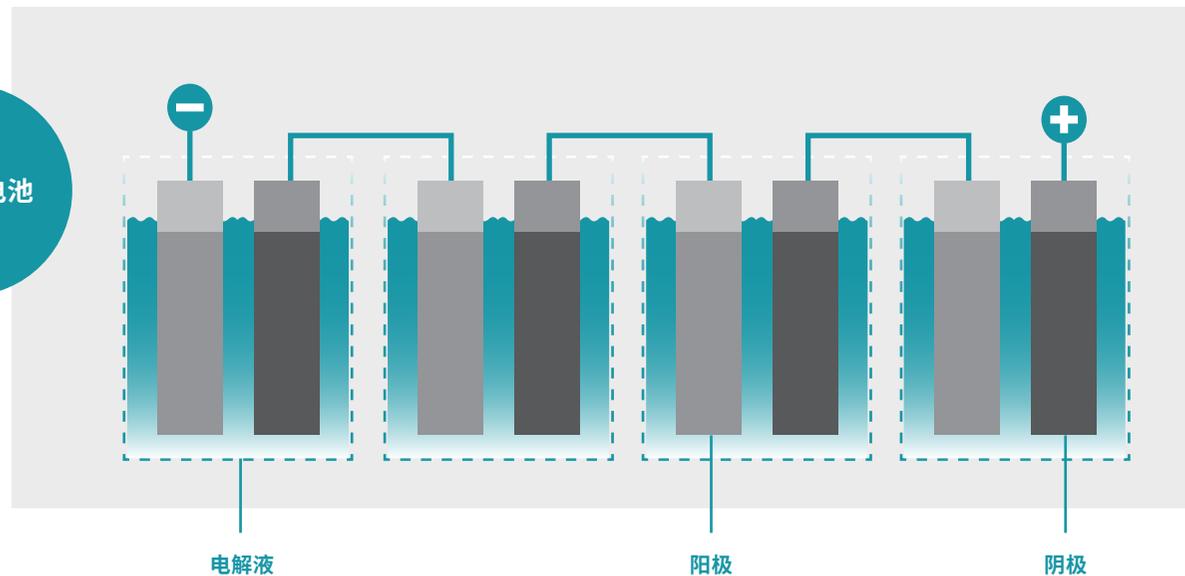
在阳极和阴极之间使用固态电解质 (SSE) 作为离子导体的电池称为固态电池 (SSB)。SSB 可以传导不同类型的离子, 例如锂离子、铝离子或钠离子。然而, 由于锂离子具有最小的原子尺寸和最轻的重量, 因而具有最高的理论能量密度, 所以锂离子最受欢迎。



由于传统的锂离子电池技术在能量密度和安全问题方面存在局限性，SSB 被认为是最有前途的下一代电池。它们以低成本提供高性能和提高安全性的可能性。通常，在受控的实验室环境中，与液体电解质电池相比，SSB 具有更低的可燃性、更高的电化学稳定性、更高的阴极电位和更高的能量密度。²

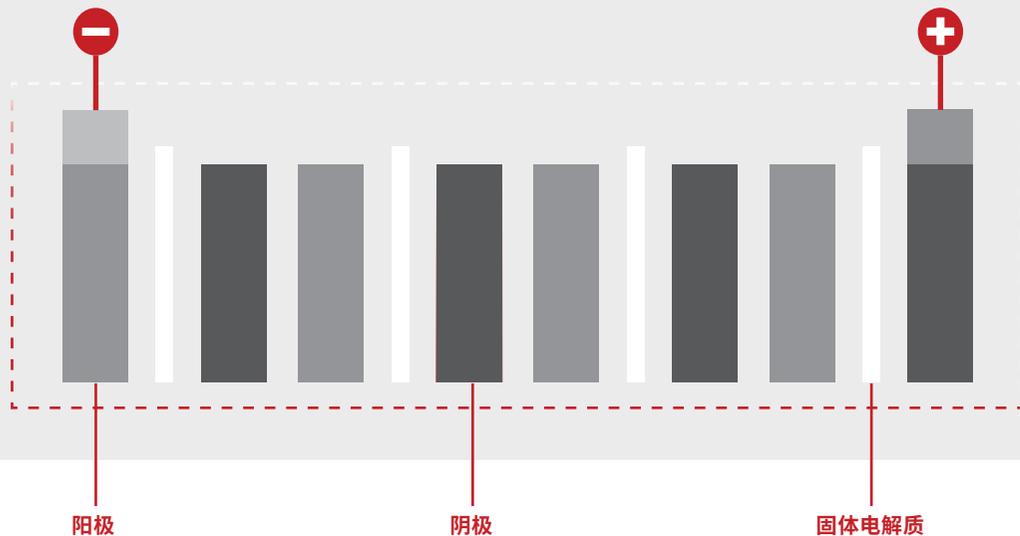


锂离子电池



全固态电池

开发 SSB 不仅仅是用 SSE 代替锂离子电池中的液体电解质和隔膜，还应考虑其他改进，例如改变阳极或阴极材料。在正极材料方面，钴酸锂等常规正极材料可以用锂硫或锂空气等高压正极材料替代，以提高工作电压或容纳更多的锂离子。为了提高阳极侧的能量密度和容量，改变可能包括用硅-石墨化合物、硅或锂金属代替石墨阳极。锂金属阳极具有优势，因为没有浪费主体材料的空间或重量。锂离子能够以固体金属的形式储存在阳极中。大多数全固态电池 (ASSB) 使用锂金属作为阳极，以最大程度地提高能量密度，这是 SSB 技术的一个关键优势。



SSB 的优势和 不断增长的应用场景



经过数十年的发展和演变，锂离子电池在今天很受欢迎，并被广泛应用于便携式电子产品、电网储能系统和电动汽车等领域。然而，现在市场上的大多数锂离子电池都使用液体电解质，这是多种有机化合物的混合物，在升高的温度下本质上易燃且不稳定。近年来，在耳塞、手机、电动汽车 (EV)、电池储能系统等产品中，发生了多起涉及人身伤害和财产损失的危险事件。

电动汽车对固态电池的需求不断增加、消费电子产品小型化趋势的增加以及主要公司不断增长的研发活动等因素正在推动固态电池市场的增长。³ 固态电池支持先进的消费电子产品，如移动设备和笔记本电脑，在新兴应用中得到更多采用，如能量收集和可穿戴设备，并且可能打破电动汽车领域的格局。⁴

SSB 最理想的优点是体积和重量能量密度高。与传统锂离子电池相比，SSB 具有多项优势，因为它们：



更
环保，

因为 SSB 不会泄漏有毒有机液体并具有非挥发性。



更宽
温度范围

工作和储存温度范围，特别是在低温储存和高温操作时。



在机械
和热方面

更稳定



使用锂金属阳极，
效率更高，

充电速度更快。



代表了更高的
可持续性和
可回收性

相对目前锂离子技术。

SSB 的另一项优势是，与传统的有机电解质相比，SSE 仍然可以在更高的工作电压下存在，这使得高压正极材料的应用成为可能。例如，使用氟化物作为固体电解质可以很容易地将电压提升到 5V 甚至 6V 以上，并且不会在固态电解质上引发大的分解。⁵相比之下，传统的有机电解质在较高电压条件下容易分解，因此最大充电电压通常限制在 4.2V 左右。更高的工作电压表明可以从电池中提供更多的电力。因此，采用高工作电压的 SSB 可以提供比传统锂离子电池更高的功率密度。此外，在比较相同容量的锂离子电池和固态电池时，可以降低电池充电电流，减少导致电池退化的热量积聚，或者保持不变，减少达到完全充电的时间。

固态电池的应用跨越多个行业，包括：



能源存储



消费性电子产品



汽车



工业



航天

由于超高能量密度和快速充电能力，SSB 更适合 EV 应用，因为它们可以让 EV 获得更好的性能，以满足甚至超过用户对传统汽油车的期望。大多数汽车公司都在投资电池，并竞相为关键的下一代电池技术和电池管理系统申请专利。

液态锂离子电池相对于固态电池的优势和挑战⁶



优势

- 加工成本低
- 柔性隔膜可以承受更高机械应力
- 常温下具有高离子电导率



挑战

- 自放电可能会缩短保质期
- 使用的电解质易燃；会导致电动汽车燃烧
- 固体电解质界面 (SEI) 层的形成影响生命周期
- 由于电解质反应，阴极材料的选择有限
- 热稳定性差
- 对过充敏感

液态锂离子电池



优势

- 优异的热稳定性
- 自放电情况相对较少
- 在很宽的温度范围内具有高离子电导率
- 使用的电解质具有非挥发性
- 电解质不易燃，因此是安全的
- 高能量密度
- 更宽的工作温度范围
- 不会形成 SEI 层，因此生命周期更长



挑战

- 使用刚性的陶瓷隔膜，可能会因额外的压力而破裂

固态锂离子电池

SSB 的挑战和 安全问题

目前可用的 SSB 在其大约三年的使用寿命方面面临挑战。⁷ 但目前正在研究和开发以解决这个问题。

理想的 SSB 应具有以下属性：



然而，实现此类 SSB 存在一些挑战，包括：



这些问题会导致性能不佳并限制其应用范围。在上述列表中提到的所有关键问题中，界面问题和枝晶生长会对性能和安全性造成重大影响。

与传统锂离子电池的固液界面类似，SSB 中固态电解质/电极界面发生的电化学反应也会引起一些问题。在 SSB 中，锂离子从电解质传导到电极，并在电解质-电极界面区域与活性材料和电子进行氧化还原反应。

在电池循环过程中，由正极和负极材料的重复体积变化引起的重复界面应力变化会使连接问题恶化。这个问题在具有锂金属阳极的电池中会变得更糟，因为锂的电镀/剥离行为会导致更大规模的体积变化。

枝晶是在充电过程中形成的金属微结构。对于高能量密度锂电池和许多其他电池类型，阳极表面的枝晶形成是与安全性和可循环性相关的重大挑战。由于电解质和阳极之间的异质性，在充电/放电过程中，枝晶会在阳极-电解质界面形成。如果阳极表面的电流分布不均匀，枝晶的形成就会更加严重。枝晶会不断生长并导致电池内部短路，从而导致电池过热甚至着火。

从理论上讲，由于SSB触发热失控所需的温度更高，而且缺乏液体电解质反应，因此SSB引起热失控的概率低于锂离子电池。在实践中，需要根据SSB的组成、物理配置和应用/用例来证明这一点。具有锂金属阳极的SSB比传统的锂离子电池含有更多的锂，因此，如果所有锂都发生反应，热失控的危险可能会更加严重。

具有锂金属阳极的SSB

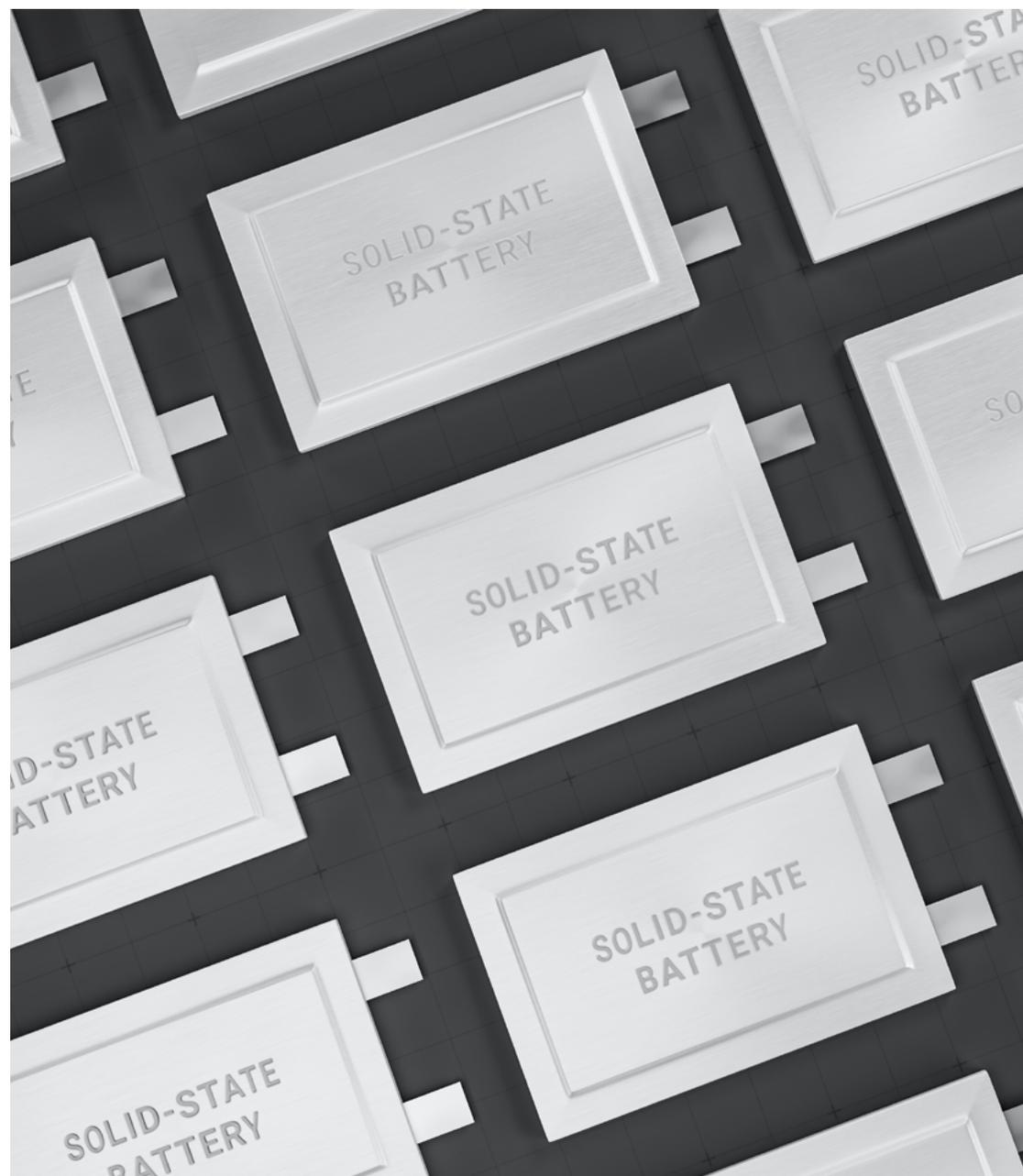
比传统的锂离子电池含有更多的锂，因此，如果

所有锂都

发生反应，

热失控的

危险可能会更加严重。



减少 SSB 风险



通过对 SSB 设计和制造使用风险评估方法，利益相关者可以评估与电池技术相关的安全风险，并确定是否需要进行额外测试。此外，可能需要其他测试来解决适用于电池技术的特定应用要求或管辖法规。

这些复杂性可能导致一系列看似详尽的测试来评估给定电池技术、设备或产品的安全性。UL Solutions 可以帮助制造商在产品开发过程的一开始就制定全面的战略，以减少总体支出、节省时间，并有助于避免可能延迟市场推广的意料之外的安全和性能问题。为电池制定全面战略的过程至少应包括以下步骤：



第 1 步 风险管理

- 评估与危险源相关的潜在安全风险和危害。
- 确定必要的设计变更，以解决风险和危害。
- 确定可能需要的其他安全评估和测试标准。



第 2 步 了解监管环境

- 确定每个地理位置的目标市场和相关法规。
- 调查并概述基线要求。
- 调查并确定基本要求根据法规要求指定评估，测试和认证计划。



第 3 步 考虑市场需求和客户期望

- 制定可能带来竞争优势的要求或对策。
- 绘制满足法规、验证产品声明、提高消费产品接受度或区分产品所需的任何评估、测试和认证。



第 4 步 寻求专家意见和建议

- 确定独立认可的 ISO 17065 认证组织，以方便计划实施。
- 概述具有成本效益的评估、测试和认证策略，长期节省成本。
- 询问有关国际要求的问题。

UL Solutions 如何提供帮助



UL Solutions 是全球安全科学专家，通过帮助提高对创新的信心来支持电池技术的进步。我们可以根据主要的国际、地区和国家标准和认证计划测试和认证电池产品，包括固态电池芯以及电池芯和电池组、充电器和适配器以及电池供电的最终产品，其中这些标准和认证计划包括如下：

UL Solutions 1642

锂电池标准 (包括 SSB)

UL Solutions 1973

用于固定和动力辅助电源应用的电池标准

UL Solutions 2054

家用和商用电池标准

UL Solutions 2271

轻型电动车(LEV)用电池安全标准

UL Solutions 2580

电动汽车用电池安全标准

IEC/EN 60086 系列

非充电电池芯和电池组

IEC/EN 61960 系列

可充电电池芯和电池组 - 性能

IEC/EN/UL Solutions 62133-2

可充电锂电池和电池组 - 安全性

IEC/EN/UL Solutions 62368-1

包含电池的音频/视频、通信、IT

IEEE 1625/1725

美国无线电协会CTIA针对平板电脑和手机使用电池安全标准

其他地区和国家特定的性能和安全标准

随着 SSB 技术的持续增长和创新，电池和电池供电的最终产品的 OEM、供应商和制造商应寻求知识渊博且值得信赖的第三方实验室的支持，以帮助提高安全性和性能、缩短开发周期并加快上市速度。

UL Solutions 为电池技术提供全面的测试和认证服务。我们的能力涵盖电化学特性、环境、机械和电气可靠性，从而帮助您管理安全风险和产品质量、提高性能并证明市场准入的合规性。

在 UL Solutions, 我们始终关注技术将如何影响产品安全, 跟上市场发展的步伐, 并与消费者权益倡导机构、行业协会和用户团体密切合作, 制定旨在识别和降低风险的标准。

我们为制造商提供全面的电池安全计划, 帮助降低出现安全问题的可能性:



公认的专业知识

我们在电池评估和测试方面拥有 40 多年的经验。通过证明符合适用标准, 数以千计的产品获得了 UL Solutions 认证, 这是品牌声誉和公众信任的关键驱动因素。



供应商选择

成功往往取决于参与项目的合作伙伴的能力。UL Solutions 赛百库® 和 UL Solutions Product iQ® 数据库帮助制造商识别符合其需求的供应商的属性、应用领域、安全数据、性能特征等等。



安全的系统方法

我们采用系统方法来分析安全性, 并分析消费者依赖的辅助产品, 如替换电池和充电器。



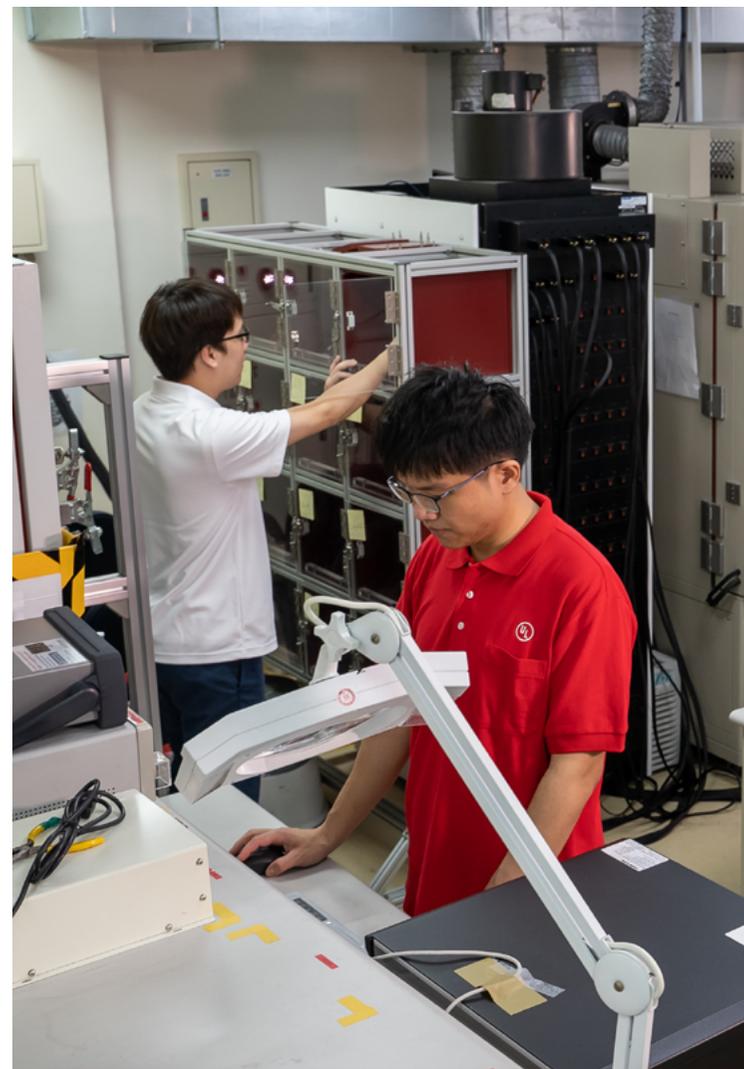
故障分析和审计

当我们使用模拟、物理测试和故障树分析等方法将产品推向极限并识别漏洞时, 一些关于产品安全的最佳可获得信息就会出现。



继续教育

我们为整个电池价值链的研发、合规、工厂、组装、维护、运输和运输工人提供自定进度的培训, 并提供内容丰富的网络研讨会, 帮助引导监管领域。



要了解有关我们的电池测试和认证服务的更多信息, 请访问 UL.com/batt 或通过 UL.com/contact-us 联系我们



来源

1. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/solid-state-battery-market-164577856.html>
2. <https://www.futurebridge.com/blog/solid-state-batteries/>
3. <https://www.prnewswire.com/news-releases/solid-state-battery-market-worth-314-million-by-2028--exclusive-report-by-marketsandmarkets-301475529.html>
4. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/solid-state-battery-market-164577856.html>
5. Adelaide M. 等人。(2019)。固态化学物质与锂离子电池的高能阴极稳定。ACS Energy Lett, 4(10), 2444–2451
6. <https://www.futurebridge.com/blog/solid-state-batteries/>
7. <https://www.futurebridge.com/blog/solid-state-batteries/>



[UL.com/Solutions](https://www.ul.com/solutions)

© 2022 UL LLC. 版权所有。