

News & Highlights

锂离子电池研究获 2019 年诺贝尔化学奖

Sean O'Neill

Senior Technology Writer

锂离子电池奠定了无线、无化石燃料社会的基础，对人类具有极大益处。从智能手机、笔记本电脑等消费电子产品，到电动车和风能、太阳能等大型储能装置，如今锂离子电池已成为我们生活中不可或缺的“能量源”。2019年10月，在LIB的发展过程中发挥关键作用的三名科学家（工程师）共同获得了诺贝尔化学奖（图1）[1]。

20世纪70年代，M. Stanley Whittingham（现供职于美国纽约州立大学宾汉姆顿分校）发现了一种高能材料——二硫化钛，他将这种材料作为LIB的一种新型阴极。这种电池在充/放电循环中，带正电荷的锂离子在电极之间往复运动，电池的电势超过2 V，但其阳极含

有高活性金属锂，因此会有爆炸的可能性。

接下来讲述的是现供职于美国得克萨斯大学奥斯汀分校的John B. Goodenough，他现年97岁，是历史上诺贝尔奖获得者中最年长的一位。他曾预测金属氧化物比金属硫化物提供更高的电势，并在1980年指出以钴氧化物作为阴极的锂电池电势可以达到4 V。

1985年，Akira Yoshino（现供职于日本名古屋名城大学）使用石油焦代替电池阳极上的活性锂，创造了一种更安全、更具商业可行性的LIB。

如今，无处不在的LIB推动了便携式设备的繁荣发展，尤其是手机和笔记本电脑，并使正在进行的电动汽车（EV）革命成为可能。

但LIB的发展还在继续。为改进电池性能，人们在不断地研究新型锂化学物质和电池配置。如今的LIB技术已经发展了40年，电池性能的提升变得越来越困难。电池技术的变化也受到电池生产环境和伦理影响的推动，这些是人们更加关注的焦点。与之竞争的固态电池技术方面的研究也很活跃。

2020年年初，澳大利亚维多利亚州莫纳什大学机械和航空航天工程系研究员Mahdokht Shaibani博士和他的同事因锂-硫电池的突破性研究而登上了新闻头条[2]。使用硫阴极可以比使用传统LIB储存更多的能量，但因为其在使用过程中会吸收和释放锂离子，且体积会发生很大变化（约78%），所以会导致硫电极在使用过程中分解并迅速丧失容量。



图1. 图为获得2019年诺贝尔化学奖的研究人员，他们的努力使得LIB无处不在地在可充电世界中为我们提供能源。图中（从右到左）依次为：John B. Goodenough教授（美国得克萨斯大学奥斯汀分校）、M. Stanley Whittingham教授（美国纽约州立大学宾汉姆顿分校）、Akira Yoshino教授（日本东京旭化成株式会社和日本名古屋名城大学）。图片来源：Nobel Media/A. Mahmoud，经许可。

为了解决这个问题，Shaibani和他的同事开发了一种可扩展的电极体系结构。尽管硫阴极通常是通过将硫微粒的悬浮液用致密的聚合物网络结合在一起制成的，但该团队使用了更小比例的相同黏结剂，将硫微粒用聚合物“桥”接起来，并留下了相对较大的空隙来适应硫阴极剧烈的膨胀和收缩。他们的制造方法获得了“前所未有的高区域容量”、200多次充电循环的高稳定性，以及99%以上的充/放电效率[2]。

Shaibani说：“理论上，锂-硫系统提供的比能与锂离子相比增加了5倍，而且成本大大降低。但从实际应用角度来看，考虑到我们的研究小组和其他研究人员目前的研究进展，电池组容量在推向市场时预计会增加2倍左右，这个有望在未来2~4年内实现。”

可充电电池容量的翻倍将推动高能耗智能手机的发展。虽然高端EV特斯拉Model S的续航里程可达373 mi（注：1 mi = 1.609 344 600 km）[3]，但大多数EV的续航里程远低于这个数字[4]。锂-硫电池容量的增加对降低与当今EV相关的“里程焦虑”（range anxiety）大有帮助。

从环保的角度来说，锂-硫电池也可能是更可取的。硫阴极是用丰富的硫、碳和黏合剂制成的，不需要重金属成分。Shaibani说：“更绿色、更可持续和更合乎伦理的电池发展之路是我们研究理念的核心，我们设计的电极与当今的电极性能相当或更加优越，但本质上更加环保，并采用全球储量丰富的电极材料。”

IBM公司显然正在开发一种类似的环保电池。2019年12月，位于美国加利福尼亚州圣何塞的IBM Almaden研究中心的下一代电池材料创新经理Young-hye Na宣布，发现了一种新电池的化学成分，这种成分能“从海水中提取”，并可以取代重金属或其他材料来源紧张的物质[5]。IBM公司还声称其电池具有比LIB更大的功率密度，并使用了低易燃性的电解液。但是，目前该公司还没有公布任何有关这些材料的佐证或细节。

这些创新因几个紧迫的原因而受欢迎，其中之一是伦理原因。现代LIB的典型阴极中含有镍、锰和钴氧化物，而钴带来的危害尤其严重。世界上大约一半的钴是由刚果民主共和国提供，人们（包括儿童）通常在危险的环境下开采钴，这使得一些人称钴为“电池中的血钻”（blood diamond of batteries）[6]。

但即使没有钴的这一负面原因，供应问题也迫在眉睫。EV市场正在蓬勃发展，2018年的销量超过200万辆，预计到2030年将超过2800万辆[7]。如果是这样

的话，最早在2025年钴的供应量就会不足[8]。美国科罗拉多州博尔德市凯恩能源研究顾问公司的总经理Sam Jaffe将这种情况描述为“对锂离子行业发展的严重且可能无法解决的制约因素”[9]。

LIB的另一个令人遗憾的方面是，锂离子通过的内部液体电解质通常不稳定[10]。例如，2016年三星公司生产的Galaxy Note 7移动设备由于电池过热而爆炸被召回两次，然后停产[11]。在装有电池的EV中，电池的稳定性尤其重要。这个问题的一个潜在解决方案是固态电池，理论上固态电池可以达到更高的能量密度[12]。此外，这种电池可以在传统电池中液体结冰或沸腾的温度范围内被安全使用。在许多挑战中，最关键的一个挑战是开发出能像标准电池中使用的液体电解质一样快速传导离子的固体材料。包括福特汽车公司和宝马汽车公司在内的汽车制造商正在投资固态电池技术的研发，有传言称丰田汽车公司将在2020年东京夏季奥运会上展示一款装有固态电池的EV原型，但是该公司至少在五年内不会生产量产车[13]。无论如何，固态电池都不太可能在短时间内与LIB竞争主导地位[14]。

总之，为改进LIB或便携式电池所做出的努力不能掩盖现在LIB所取得的令人震惊的进步。正如瑞典皇家科学院在宣布2019年诺贝尔化学奖时所指出的那样，LIB“为无线、无化石燃料的社会奠定了基础，并为人类带来了最大的好处”[15]。

References

- [1] The Nobel Prize in Chemistry 2019 [Internet]. Stockholm: Nobel Media; [cited 2020 Jan 30]. Available from: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2019/summary/>.
- [2] Shaibani M, Mirshekarloo MS, Singh R, Easton CD, Cooray Mcd, Eshraghi N, et al. Expansion-tolerant architectures for stable cycling of ultrahigh-loading sulfur cathodes in lithium-sulfur batteries. *Sci Adv* 2020,6(1):eaay2757.
- [3] Tesla Model S specification [Internet]. Palo Alto: Tesla; [cited 2020 Jan 30]. Available from: <https://www.tesla.com/models>.
- [4] Range of full electric vehicles [Internet]. Electric Vehicle Database. [cited 2020 Jan 30]. Available from: <https://ev-database.uk/cheatsheet/range-electric-car>.
- [5] Na YH. Free of heavy metals, new battery design could alleviate environmental concerns [Internet]. San Jose: IBM Research; 2019 Dec 18 [cited 2020 Jan 30]. Available from: <https://www.ibm.com/blogs/research/2019/12/heavy-metal-free-battery/>.
- [6] Airhart E. Alternatives to cobalt, the blood diamond of batteries [Internet]. *Wired*; 2018 Jul 6 [cited 2020 Jan 30]. Available from: <https://www.wired.com/story/alternatives-to-cobalt-the-blood-diamond-of-batteries/>.
- [7] Electric vehicle outlook 2019 [Internet]. New York: Bloomberg New Energy Finance; 2019 May [cited 2020 Jan 30]. Available from: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/#toc-viewreport>.
- [8] Olivetti EA, Ceder G, Gaustad GG, Fu X. Lithium-ion battery supply chain considerations: analysis of potential bottlenecks in critical metals. *Joule* 2017,1(2):229-43.
- [9] Jaffe S. Vulnerable links in the lithium-ion battery supply chain. *Joule* 2017,1(2):225-8.
- [10] Hess S, Wohlfahrt-Mehrens M, Wachtler M. Flammability of Li-ion battery electrolytes: flash point and self-extinguishing time measurements. *J Electrochem Soc* 2015,162(2):3084-97.
- [11] Samsung confirms battery faults as cause of Note 7 fires [Internet]. London:

- BBC News; 2017 Jan 23 [cited 2020 Jan 30]. Available from: <https://www.bbc.co.uk/news/business-38714461>.
- [12] Famprikis T, Canepa P, Dawson JA, Islam MS, Masquelier C. Fundamentals of inorganic solid-state electrolytes for batteries. *Nature Mater* 2019;18:1278–91.
- [13] Holder J. Toyota to reveal solid state battery-powered prototype next year [Internet]. London: Autocar. 2019 Oct 22 [cited 2020 January 30]. Available from <https://www.autocar.co.uk/car-news/motor-shows-tokyo-motor-show/toyota-reveal-solid-state-battery-powered-prototype-next-year>.
- [14] Baker D. Battery reality: there's nothing better than lithium-ion coming soon [Internet]. New York: Bloomberg; 2019 Apr 3 [cited 2020 Jan 30]. Available from <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-04-03/battery-reality-there-s-nothing-better-than-lithium-ion-coming-soon>.
- [15] They created a rechargeable world (press release). Stockholm: The Royal Swedish Academy of Sciences; 2019 Oct 9 [cited 2020 Jan 30]. Available from <https://www.nobelprize.org/uploads/2019/10/press-chemistry-2019-2.pdf>.