

【蓄電池・エネルギーシステム分野】

仮訳

開発者も驚愕する新しい固体電池(米国)

全シリコンアノード利用の高性能な全固体電池の開発に成功

2021年9月23日

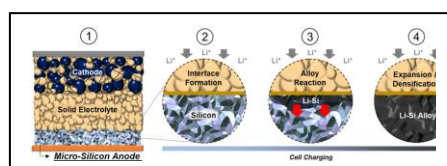
電池における有望な2種類のサブフィールドを1本の電池に組み込んだ新タイプの電池が開発された。同電池は固体電解質と全シリコンアノード双方を利用した全固体電池となっている。初期テストでは、この新電池は安全かつ長寿命、しかもエネルギー密度が高いことが判明。グリッドストレージから電気自動車(EV)まで、幅広い用途への応用が期待できる。

上記バッテリー技術は2021年9月24日発行の科学誌「サイエンス」に掲載された。同研究は、カリフォルニア大学サンディエゴ校(UCSD)のナノエンジニアらがLG Energy Solution(LGES)社の研究者らと共同で実施したもの。

[UCSD 提供の動画を視聴する](#)

シリコンアノードは、現在商用のリチウムイオン電池で多く利用されているグラファイトアノードの10倍以上のエネルギー密度を有することで有名だが、一方で充放電に伴う膨張・収縮や電解液による劣化などの課題がある。このため、いくらエネルギー密度が高くとも、商用リチウムイオン電池への全シリコンアノードの採用は見送られている。しかし今回、サイエンス誌に掲載された研究成果は、適切な電解質を用いることによる全シリコンアノードの有用な道筋を提供するものとなった。

同論文の主執筆者であるDarren H. S. Tan氏は、「この電池構成によって、シリコンなどの合金アノードを用いた固体電池に新たな領域を切り開くことができます。」という。同氏は最近、UCSD ジェイコブス・スクー



左から

- 1) 全固体電池は、正極複合層、硫化物固体電解質層、カーボンフリーのマイクロシリコンアノードで構成されている
- 2) 充電前には、マイクロスケールのシリコン粒子がエネルギー高密度の負極を構成している。充電時には、正のリチウムイオンが正極から負極に移動し、安定した2次元界面が形成される
- 3) より多くのリチウムイオンが負極に移動すると、リチウムイオンはマイクロシリコンと反応し、相互に接続されたリチウム-シリコン合金(Li-Si)粒子を形成する。この反応は電極全体に伝播していく
- 4) この反応により、マイクロシリコン粒子が膨張・高密度化し、高密度のLi-Si電極が形成される。Li-Siと固体電解質のメカニカルな特性は、2次元界面面に即した整合性と接触を維持するために重要な役割を有する(画像提供:UCSD)

ル・オブ・エンジニアリングで化学工学博士号を取得し、同技術のライセンスを取得したスタートアップ企業 UNIGRID Battery 社を共同設立している。

エネルギー高密度を提供する次世代固体電池では金属リチウムアノードの使用が必須だが、電池の充電速度に制限があるため、充電時には高温（通常 60°C 以上）にする必要がある。シリコンアノードは、これらの制限を克服し、エネルギー高密度を維持しながら、室温から低温までのより速い充電速度を実現する。

研究チームは、実験室規模の電池で室温下 500 回の充放電サイクルと 80% の容量維持を実証し、シリコンアノードと固体電池双方のコミュニティにとって目覚ましい進捗をもたらした。

グラファイトの代替アノードとしてのシリコン

もちろん、シリコンアノードは目新しい物ではない。何十年間にもわたって、科学者や電池メーカーは、リチウムイオン電池の従来のグラファイトアノードへの混入や完全な置換のためのエネルギー高密度の材料としてシリコンに着目してきた。理論的には、シリコンはグラファイトの約 10 倍の蓄電容量を持つ。しかし現状では、アノードへのシリコン添加でエネルギー密度を高めたリチウムイオン電池は、特に性能を維持したまま充放電できる回数が少ないという現実的な問題を抱えている。

この問題の多くは、シリコンアノードとそれに組み合わせた電解液との相互作用に起因する。充放電の際にシリコン粒子の体積が大きく膨張することで状況が複雑化し、その結果、時間の経過とともに容量が大幅に減少してしまうのだ。

サイエンス誌の同論文共著者で UCSD の Institute for Materials Discovery and Design のディレクターである Shirley Meng 氏は、「電池の研究者としては、システムの根本的な問題を解決することが重要です。シリコンアノードの場合、大きな問題の一つは液体電解質の界面が不安定になることだと私たちには分かっていました」として、「これまでとはまったく異なるアプローチが必要でした。」と経緯を述べた。

実際、UCSD 率いるチームは異なるアプローチを取った。つまり、全シリコンアノードから炭素とバインダを取り除き、さらに、一般的に使用されているナノサイズのシリコンに比べて低処理・低コストのマイクロシリコンを採用したのだ。

全固体のソリューション

研究チームは、アノードからの炭素とバインダの全排除に続き、液体電解質も排除し、代わりに硫化物ベースの固体電解質を採用。実験の結果、同電解質は、全シリコンアノード電池であり、非常に安定していることが明らかとなった。

Meng 教授は、「この新たな研究は、シリコンアノードの問題に対して期待できる解決策を提供するものですが、やるべきことはまだあります。」として、「今回のプロジェクトは、ここ UCSD での電池研究への私たちのアプローチが認められたものだと思っています。私たちは、最も厳密な理論と実験に、創造性と既成概念にとらわれない発想を組み合わせているのです」との認識を示した。

これまでのシリコン合金アノードの実用化に向けた取り組みでは、主にシリコンとグラファイトの複合材料や、ナノ構造粒子とポリマーバインダーの組み合わせに焦点が当てられてきものの、これらには依然として安定性に問題があった。

研究チームは、液体電解質を固体電解質に置き換え、同時にシリコンアノードから炭素と結合材を取り除くことで、電池の機能に応じてアノードが有機液体電解質に浸った場合に生じる一連の問題を回避した。

同時に、アノードの炭素を除去することで、固体電解質との界面接触（および不要な副反応）を大幅に減少させ、液体電解質で一般的に起こりやすい連続的な容量損失を回避した。

この 2 段階方式により、低コストで高エネルギーかつ環境に優しいというシリコンの特性を最大限に活用することが可能となった。

インパクト&スピノフ商品化

先に登場した **Tan** 氏は、「固体シリコンのアプローチは、従来の電池の多くの限界を克服するものです。特にグリッドエネルギー貯蔵用として、より高い体積エネルギーかつ低コスト、そしてより安全な電池を求める市場の要求に応えるためのエキサイティングな機会を提供します」との見解を示した。

硫化物系の固体電解質は、非常に不安定であると考えられてきた。しかし、これは液体電解質系で用いられてきた従来の熱力学的解釈に基づくもので、固体電解質の優れた運動安定性を説明するものではなかった。研究チームは、従来の常識を覆す特性を利用する機会を捉え、非常に安定したアノードの創造に成功した。

Tan 氏は、同シリコン全固体電池技術のライセンスを取得しているスタートアップ企業 UNIGRID Battery 社の CEO 兼共同設立者だ。

また、UCSD では、LGES との共同研究を含め、関連する基礎研究も継続して行われる予定。

同社の Myung-hwan Kim 社長兼 CPO (最高調達責任者) は、「UCSD との電池技術に関する最新の研究がサイエンス誌に掲載されたことは、非常に意義深いことであり、弊社は大変喜ばしく思っております。」としたうえで、「今回の発見により、弊社は全固体電池技術の実現に大きく近づき、電池製品のラインナップが大幅に多様化するでしょう」との見通しを述べた。

続けて同氏は、「弊社は大手電池メーカーとして、次世代電池セルの研究を牽引する最先端の技術を育成する努力を続けてまいります」との抱負を述べた。LGES は、UCSD との固体電池に関する共同研究をさらに拡大する予定としている。

本研究は、LGES のオープンイノベーション（電池関連の研究を積極的に支援するプログラム）が支援した。同社は、世界中の研究者と協力して関連技術を育成している。

翻訳 : (担当 技術戦略研究センター)

出典：本資料は、カリフォルニア大学サンディエゴ校(UCSD)の下記の記事を翻訳したものである。

“A New Solid-state Battery Surprises the Researchers Who Created”

(https://ucsdnews.ucsd.edu/pressrelease/meng_science_2021)

(Translated with permission of UCSD)