



研究成果の詳細

1 研究背景

再生可能エネルギーの社会導入や自動車の電動化など、脱炭素社会の構築には蓄電技術の進歩が必要です。社会で広く普及しているリチウムイオン電池だけではなく、多様な特性を有する蓄電デバイスの開発は、エネルギー利用の高度化に貢献します。蓄電デバイスの性能の指標として、蓄電量を表すエネルギー密度、瞬間的な電力の出し入れの量を示す出力密度、耐久性に関するサイクル寿命が挙げられます。また、実用性の観点から製造コストも重要です。

リチウムイオンキャパシタは、リチウムイオン電池よりもエネルギー密度は低いものの、出力密度とサイクル寿命の点で優れる蓄電デバイスです。現在、そのエネルギー密度の向上を目指した技術開発が精力的に行われています。シリコンのリチウムイオンの吸蔵容量は、従来の電極材料である黒鉛の約 10 倍であり、それを負極材料に使用することで、蓄電デバイスのエネルギー密度を向上させることができます。しかし、シリコンはリチウムイオンを大量に吸蔵すると、その粒子が大きく膨張し、逆に放出すると、収縮します。それが繰り返されることで、負極構造が崩壊し、少ない充放電回数で蓄電性能が低下します。すなわち、リチウムイオンキャパシタのエネルギー密度を向上させつつ、十分なサイクル寿命を確保するには、耐久性を有するシリコン負極を見出す必要がありました。

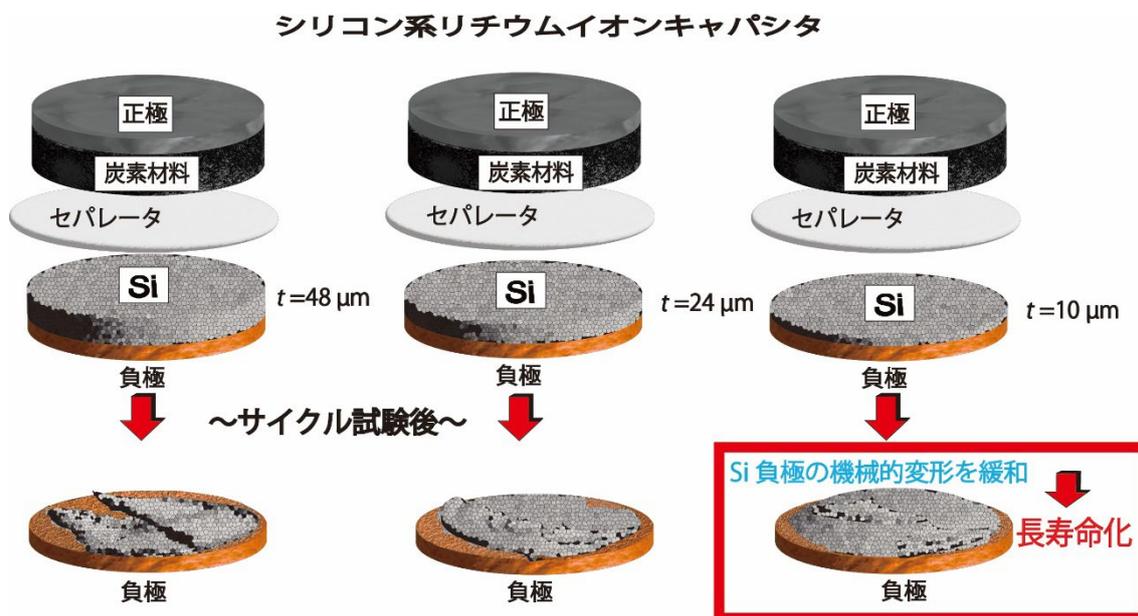
2 研究成果

令和 3 年、本研究グループは、シリコンを負極材料に用いることで、極めて高いエネルギー密度を有するリチウムイオンキャパシタを実現しました。そして、その詳細を学術雑誌にて報告しました (<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2021.139115>)。その際にも、高いエネルギー密度と長いサイクル寿命の両立が、シリコン系リチウムイオンキャパシタの大きな課題となりました。

従来のリチウムイオンキャパシタでは、負極材料を銅はく上に厚く堆積させて、正極材料に対する負極材料の量を相対的に増やすことで、サイクル寿命の改善を図ります。本研究グループは、シリコン堆積層を厚くすると、個々のシリコン粒子の膨張収縮が不均一になり、かえって負極の機械的変形を増長させると予測しました。入手性が高く安価な直径 $2\ \mu\text{m}$ のシリコン粒子を用いて、異なる厚さの堆積層を有するシリコン負極を製造し、それらを組み込んだリチウムイオンキャパシタの充放電試験を行いました。堆積層の厚みが粒子径の 5 倍の $10\ \mu\text{m}$ と非常に薄いシリコン負極を用いたリチウムイオンキャパシタが、最も長いサイクル寿命を示しました。3 万回の充放電サイクル後でも、エネルギー密度の維持率は 78.3 % と高いものでした。また、およそ $1\ \text{kW/kg}$ の出力密度においても、 $100\ \text{Wh/kg}$ に近いエネルギー密度が得られました。シリコンの場合、個々の粒子を密に堆積させて、1 粒子あたりの負担を軽減するより、1 粒子あたりの負担を増加させても、電極構造の崩壊を抑制する方が、長寿命化には効果的にあることが分かりました。また、堆積層が薄いと電極材料そのものが少なくなるため、必然的にエ

エネルギー密度と出力密度も向上しました。

以上の研究成果により、量産が容易で安価なマイクロメートルオーダーの粒径を有するシリコンを負極材料に用いたとしても、高いエネルギー密度とサイクル寿命を両立したリチウムイオンキャパシタを製造することが可能となりました。今後は、シリコン系リチウムイオンキャパシタの実用化を目指して、実用品に近い規模での試験を進めていきます。



3 研究プロジェクトについて

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金 若手研究 23K13319（代表：江口卓弥）、同基盤研究（B） 22H01460（代表：熊谷誠治）の支援を受けて行われました。

【お問い合わせ先】

日本大学 工学部 電気電子工学科

助教 江口卓弥

TEL : 024-956-8657 E-mail : eguchi.takuya@nihon-u.ac.jp

秋田大学 大学院理工学研究科 数理・電気電子情報学専攻

教授 熊谷誠治

TEL : 018-889-2328 / FAX : 018-889-2328 E-mail : kumagai@gipc.akita-u.ac.jp