

最先端・次世代研究開発支援プログラム
事後評価書

研究課題名	プラズマスプレーPVDをコアとする次世代Liイオン電池Si系ナノ複合負極開発
研究機関・部局・職名	国立大学法人 東京大学・大学院工学系研究科・准教授
氏名	神原 淳

【研究目的】

リチウム(Li)イオン電池は次世代グリーン社会に向けたエネルギー戦略の中核技術として期待され、現行電池に対して更なる電池容量増加と充放電サイクル効率向上の特性両立が求められる。負極材料に注目すれば、シリコン(Si)は現行グラファイト(C)に対して10倍の理想容量を有し高密度化の有力な材料と目されるが、C系材料の単なる置き換えでは解決できない技術課題が残る。即ち、充放電時のLi-Si合金化の過程で高容量化と引き替えに400%近い体積膨張が生じ、Si粉末は粉碎して電気伝導パスを失うために、数サイクルで電池容量が著しく低下する。この課題に対して、近年、ナノ複合構造が極めて有効であることが判明してきた。例えば、150nm以下のナノ粒子化により耐割れ強度が向上すること、多孔体構造は体積膨張を吸収する効果が有ること、Siナノ粒子へのCコーティングは導電性を高めつつ比較的良好な固体電解質相(SEI)形成に効果的とされ、Si/SiO₂を始めとするコアシェル構造は粒子補強の役割を果たすとされる。但し、共通して重要な点として、これまで検討されてきたナノ複合化技術の多くが、低圧CVDや多段・低速プロセスであり、報告される高速値でも高々1g/hr程度と、Liイオン電池の巨大市場の要請に応える低コスト・高スループット技術に止揚するには、技術の壁があると言わざるを得ない。

ここにプラズマスプレーPVD(PS-PVD)法に着目すれば、原理的に安価な粉末を原料にナノ粒子を高速で製造することが可能であり、電池産業が求める技術要請に合致する。一方で、本技術は、近年、超高温プラズマ反応場での原料粉末の加熱・蒸発と続く急速凝縮の制御によって、ナノ組織を有するコーティングを可能とする高速PVD技術として発展し始めており、複合構造を有するナノ粒子の高速製造技術としての可能性も秘めているとできる。以上を要すれば、Liイオン電池に求められる社会的及び技術的要請とプラズマスプレーの技術的進捗が極めて整合していると見ることができる。そこで本研究では、PS-PVDを利用して、冶金級Si及びSiOを主要原料に利用しながら様々なナノ複合化粒子を高速製造し、Liイオン電池特性の向上を実証すると共に、急速共凝縮過程の理解深化を通じて産業移転可能な複合構造ナノ粒子製造プロセスの技術指針を打ち出すことで、グリーン・イノベーション推進に貢献することを目標とした。

【総合評価】	
○	特に優れた成果が得られている
	優れた成果が得られている
	一定の成果が得られている
	十分な成果が得られていない

【所見】	
① 総合所見	
<p>プラズマスプレー技術の高度化を通して Si 系ナノ複合粒子の製造法を確立し、作製した電極微細構造の放充電時の変化に関連した電池特性への影響などを系統的に把握し、原子状に分解した高温蒸気の急速凝縮を通して、多元系複合ナノ粒子を高効率で製造すること、その際、材料組成と構造組織を制御する本法の根幹過程を解明できた。得られた知見に基づき電池特性を向上させ得るナノ複合粒子を開発し、Li 電池のナノ複合構造の最適化を実施する等、優れた成果を輩出した。</p>	

② 目的の達成状況	
<p>・所期の目的が <input checked="" type="checkbox"/> 全て達成された ・ <input type="checkbox"/> 一部達成された ・ <input type="checkbox"/> 達成されなかった</p>	
<p>プラズマスプレー技術の高度化を通して Si 系ナノ複合粒子の製造法を確立し、作製した電極微細構造の放充電時の変化と関連した電池特性への影響などを系統的に把握し、得られた知見に基づき製造したナノ複合粒子を含む Si 系電極材料を用いることによって、研究当初に設定した Li 電池特性の目標値を達成した。</p>	

③ 研究の成果	
<p>・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が <input checked="" type="checkbox"/> ある ・ <input type="checkbox"/> ない</p>	
<p>・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が <input checked="" type="checkbox"/> 創出された ・ <input type="checkbox"/> 創出されなかった</p>	
<p>・当初の目的の他に得られた成果が <input checked="" type="checkbox"/> ある ・ <input type="checkbox"/> ない</p>	
<p>プラズマスプレーの急速冷却によって Si 系複合ナノ粒子の製造を約 10g/min (～0.5kg/hr) で達成できたことは大きな成果であり、また他の多くの複合系ナノ粒子の製造に対しても本法の適用性と更なる高機能性を有する複合粒子製造を構築したことに、技術等に先進性・優位性を有し、及び、ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が創出された。</p> <p>原子状に分解した高温蒸気の急速凝縮を通して、多元系複合ナノ粒子を高効率で製造し、その組成と構造組織を制御し得る本法の根幹過程を解明でき、当初の目的の他に得られた成果はあったと判断された。</p>	

④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

プラズマプレーによるナノ粒子が期待どおりのコアシェル構造を形成していることから、制御可能なプラズマ条件の解析を十分に行い、また多元系化を進めれば、関連する研究分野への波及効果が見込まれる。

各種材料に対してプラズマプレー法を適用して、それらの高温蒸気の急速凝縮に伴うナノ構造の制御技術は、粒子系材料だけに限らず、他の種々の複合材料に対して、他の構造体を実現する可能性あること、安価な低品質 Si からでも高品質 Si と同等の性能が得られること。また、現用の黒鉛負極材よりも数倍以上の電気特性が期待されことから社会的・経済的な課題の解決への波及効果が見込まれる。

⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが (行われた ・ 行われなかった)

研究目的の達成に向けて研究計画は適切であり、研究実施体制、助成金は有効な使用、指摘事項への対応状況は適切であった。また、国民との科学・技術対話の実施状況は行われ、国際会議等での口頭発表は積極的に行われた等、適切なマネジメントが実施された。