

補助事業番号 2020M-191

補助事業名 2020年度 高効率無機/有機太陽電池を実現するナノ金平糖粒子表面へのナノ空隙制御技術の開発 補助事業

補助事業者名 東京電機大学 工学部 電気電子工学科 ナノエネルギー研究室 佐藤慶介

1 研究の概要

温室効果ガスの削減は地球規模の課題であり、2015年にパリ協定が締結されている。その中で、日本は中期目標として2030年の温室効果ガスを2013年度の水準から26%削減することが目標と定められている。この目標を達成するためには、再生エネルギーの導入量を増やすこととエネルギーの効率化の追求が必要となる。経済と環境を両立させて実現するには、単独技術では達成不可能であり、複数の技術を組み合わせ、産業や生活様式を転換する必要がある。再生エネルギーとしては、太陽電池の普及拡大が重要な取り組みとなる。

本事業は、再生エネルギーの中核となる太陽電池の材料および製造方法に関するものであり、発電効率や信頼性という性能の向上と簡易な製造方法による低コスト化の両立を目指す実用化に向けた要素研究という位置づけとなる。具体的には、ウェットプロセスを用いて、金平糖構造を有したシリコンナノ粒子を開発することで上記の太陽電池の普及拡大に貢献するものである。本事業では、これまでにない全く新たな発想に基づくシリコンナノ金平糖粒子/有機ポリマー複合太陽電池を提案するものである。シリコンナノ金平糖粒子の創製技術は、本事業の実施により構築することができ、「金平糖構造形成技術(特願 2022-006070)」として特許を出願した。また、太陽電池の製造方法として、溶液プロセスの有用により、低コストで画期的な太陽電池の製造が可能となる。本事業以降に実用化開発へ進めば、2030年のパリ協定における温室効果ガス26%削減目標の実現に向けて、大きな貢献が可能と考える。さらに、本事業におけるシリコンナノ金平糖粒子の要素技術は、シリコンナノ構造体/ポリマー太陽電池の基幹技術となるばかりでなく、リチウムイオン二次電池の負極電極材としても応用できる技術であり、環境/エネルギー分野でナノシリコンデバイス創生に向けた新たなプラットフォームも目指すことができる。

2 研究の目的と背景

本事業では、価格低減可能なウェットプロセスを用いてシリコンナノ粒子表面に金平糖構造を創製する技術を構築するとともに、溶液プロセスを用いてシリコンナノ金平糖粒子と有機ポリマーを複合化した太陽電池の開発を目指すものである。本事業で開発する太陽電池は発電コスト低減に寄与する材料・製造コスト削減と発電効率向上の両立に貢献するだけでなく、環境/エネルギー問題に取り組む我が国における太陽電池の普及拡大にも貢献する重要な取り組みである。

3 研究内容

(1) ナノ空隙制御したナノ金平糖粒子の創製技術の開発(1年目)

シリコンナノ粒子表面の金平糖形態の評価

(ナノエネルギー研究室のホームページ:<http://www.eee.dendai.ac.jp/eee/labo/sato/sato.html>)

金平糖構造は、フッ化水素酸(HF)/硝酸銀とHF/過酸化水素酸(H₂O₂(2は下付け))を用いてナノ粒子表面に細孔構造を形成した後、HF/硝酸(HNO₃(3は下付け))による化学研磨エッチング処理することで作製した。HF/HNO₃(3は下付け)混合溶液中のHNO₃(3は下付け)によりナノ粒子表面の細孔部分が酸化され、その酸化層をHFによりエッチングすることで金平糖構造を形成した。HF/HNO₃(3は下付け)のモル濃度をパラメータとして作製したシリコンナノ粒子の走査型電子顕微鏡写真を図1に示す。HF/HNO₃(3は下付け)のモル濃度を変化させたところ、1:5と1:10の条件で金平糖構造を有したナノ粒子を多数形成することができた(図1(d)、(e)参照)。また、金平糖構造の空隙間隔は30nm以上であり、比表面積は50m²(2は上付け) /g以上あったことで多孔度の高い金平糖構造を形成することができた。

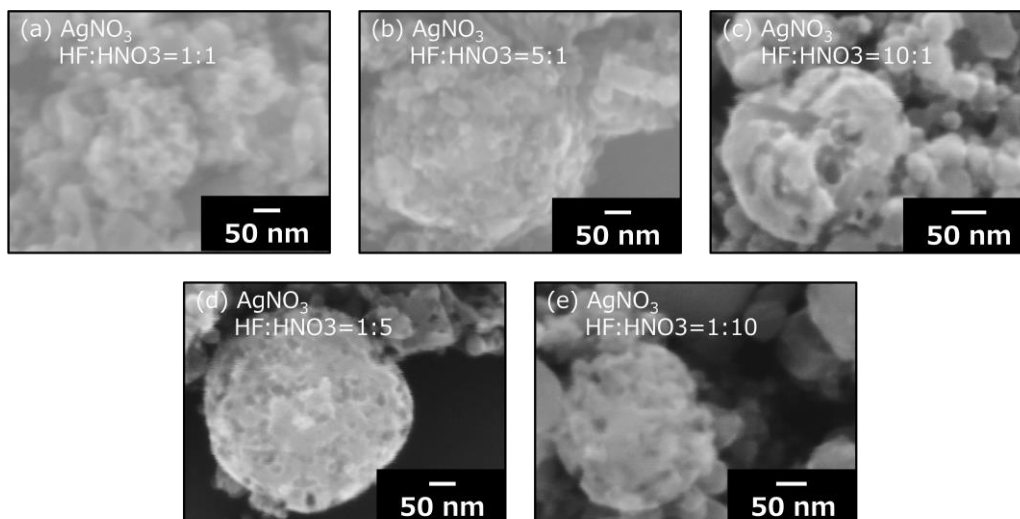


図 1 HF:HNO₃(3 は下付け)のモル濃度を可変させて作製したシリコンナノ粒子の走査型電子顕微鏡写真。(a) HF:HNO₃=1:1、(b) HF:HNO₃=5:1、(c) HF:HNO₃=10:1、(d) HF:HNO₃=1:5、(e) HF:HNO₃=1:10

(2) ナノ空隙制御したナノ金平糖粒子の創製技術の開発(2年目)

n型ナノ金平糖粒子/導電性ポリマー太陽電池のセル構造と発電効率の最適化

(ナノエネルギー研究室のホームページ):
<http://www.eee.dendai.ac.jp/eee/labo/sato/sato.html>

太陽電池は、ナノワイヤ構造を有した下地基板にシリコンナノ金平糖粒子と有機ポリマーをスピンドーターにより塗布することで作製した。図2に抵抗率を可変させたナノ

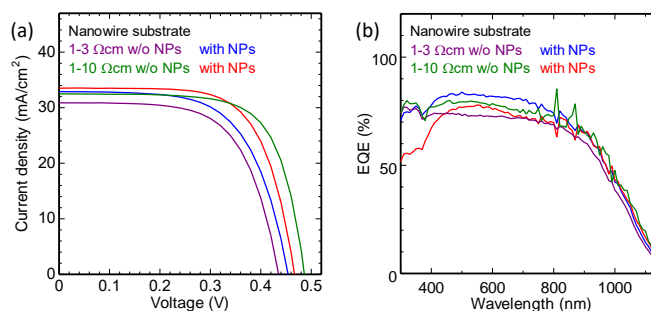


図 2 抵抗率を可変させたナノワイヤ基板に対して、シリコンナノ金平糖粒子有無の無機/有機太陽電池の(a)電流密度-電圧特性と(b)EQE スペクトル

ワイヤ基板に対して、シリコンナノ金平糖粒子有無の無機/有機太陽電池の電流密度－電圧特性と分光感度・量子効率 (EQE) スペクトルを示す。1～3 Ω cmの抵抗率のナノワイヤ基板にシリコンナノ金平糖粒子を導入した太陽電池からは、短絡電流密度が32.9 mA/cm² (2は上付け)、開放電圧が0.454 V、曲線因子が0.625、発電効率が9.34%のセル性能が得られた。抵抗率を1～10 Ω cmに高くすると、短絡電流密度が33.5 mA/cm² (2は上付け)、開放電圧が0.467V、曲線因子が0.674に増加することで最も高い10.5%の発電効率を得ることができた。この太陽電池は、ナノワイヤ基板上にナノ粒子を一様に配列させることができるため、電気を作るキャリアを効率良く生成できたことで最も高い発電効率が生じた。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

日本は中期目標として2030年の温室効果ガスを2013年度の水準から26%削減することが目標と定められている。この目標を達成するためには、再生エネルギーの導入量を増やすこととエネルギーの効率化の追求が必要となり、太陽電池の普及拡大が重要な取り組みとなる。本事業では、再生エネルギーの中核となる太陽電池に対して発電効率の向上と簡易な製造方法による低コスト化の両立を目指す実用化に向けた要素研究を実施した。本事業以降に実用化開発へ進めば、2030年のパリ協定における温室効果ガス26%削減目標の実現に向けて、大きな貢献が可能と考える。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本事業で開発したシリコンナノ金平糖粒子は、高い比表面積を有し、有機ポリマーの一般的な被覆を可能にした材料のため、太陽電池の光電変換層に導入することでp/n界面領域が劇的に拡張され、多くのキャリア生成により10%以上の発電効率を得ることができた。本研究室では、環境/エネルギー分野における太陽電池の性能向上を目指した研究を実施しており、今回得た結果は今後の研究の進展につながる成果として位置づけている。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

特許出願

- ① 佐藤慶介、ミヤツ エンダラ スュエ、表面孔及び/又は微細突起を備えたシリコン粒子の製造方法、特願2022-006070、出願日2022年1月19日

