

補助事業番号 2018M-168

補助事業名 平成30年度 量子ドット太陽電池の高効率化を実現する機能性ナノ粒子への微細孔構造創製技術の開発 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

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、高価な装置を用いるドライプロセスではなく、溶液によるウェットプロセスを用い、微細孔構造を有したシリコンナノ粒子とすることで実現するものである。本事業では、これまでにない全く新しい発想に基づくシリコンナノ多孔粒子/導電性ポリマー複合太陽電池を提案するものである。シリコンナノ多孔粒子の創製技術は、本事業の実施により構築することができ、「微細孔形成技術(特願 2018-192870)」として特許を出願した。また、太陽電池の製造方法として高額で大規模な生産設備が必要なく、簡便に作製できることから、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多孔粒子の要素技術は、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微細孔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多孔粒子と導電性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) 微細孔構造を有した機能性ナノ粒子の創製技術の開発 (1年目)

微細孔構造の細孔サイズと比表面積の評価

(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>)

微細孔構造は、フッ化水素酸 (HF) /硝酸銀とHF/過酸化水素酸 (H₂O₂ (2は下付け)) を用いて作製した。HF/硝酸銀混合溶液においてナノ粒子表面への銀ナノ粒子の形成とシリコン/銀ナノ粒子界面の局所酸化層の形成、HF/H₂O₂ (2は下付け) 混合溶液においてHFによる局所酸化層のエッチングを連続的に処理することで微細孔を形成した。HF/H₂O₂ (2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多孔粒子の走査型電子顕微鏡写真を図1に示す。HF/H₂O₂ (2は下付け) のモル濃度を変化させたところ、全ての条件でナノ粒子表面に多数の微細孔を形成することができた。また、微細孔構造の細孔サイズは30nm以下であり、比表面積は40m²/g以上あったことで細孔率の高い微細孔構造を形成することができた。

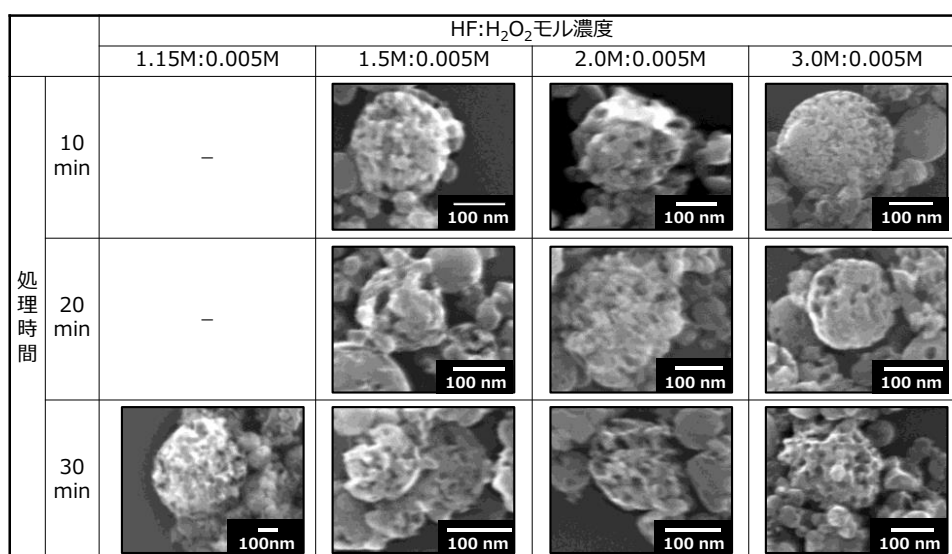


図1 HF:H₂O₂ (2は下付け) のモル濃度と処理時間を変化させて作製したシリコンナノ多孔粒子の走査型電子顕微鏡写真

(2) 微細孔構造を有した機能性ナノ粒子の創製技術の開発 (2年目)

微細孔構造を有した不純物含有シリコンナノ粒子/導電性ポリマー複合量子ドット太陽電池における微細孔形態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、ホール構造を有した下地基板にシリコンナノ多孔粒子と導電性ポリマーをスピコーターにより塗布することで作製した。図2に化学研磨処理後のホール構造を有した基板に対して、研磨処理時間を3~5秒に変化させたときの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。ここでは、ナノ粒子への細孔形成条件としてHF: H₂O₂ (2は下付け) モル濃度を3.0M:0.06M、処理時間を10分で作製したナノ粒子を用いた。研磨処理時間が3秒の条件で作製した太陽電池からは、短絡電流密度が35.5mA/cm² (2は上付け)、開放電圧が0.41V、曲線因子が0.62、発電効率が9.1%のセル性能が得られた。研磨処理時間を5秒にする

と、短絡電流密度が 34.6mA/cm² (2は上付け) へとわずかに減少したが、開放電圧が 0.43V、曲線因子が0.66に増加することで最も高い9.84%の発電効率を得ることができた。

この太陽電池は、ホール構造の細孔底部までナノ粒子が充填さ

れた状態で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。

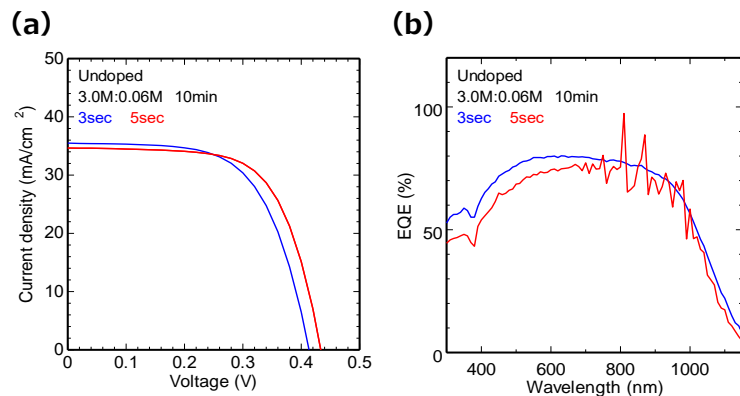


図2 化学研磨処理後のホール構造を有した基板に対して、化学研磨処理時間を3~5秒に変えたときの太陽電池の (a) 電流密度-電圧特性と (b) EQE スペクトル

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多孔粒子は、高い比表面積を有した材料のため、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ほぼ10%程度まで発電効率を向上させることができた。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、小林雅典、中山文豪、微細突起を有するシリコンナノ微粒子の製造方法、及びシリコン微粒子、特願2018-192860、出願日2018年10月11日
- ② 佐藤慶介、久我泰祐、小林雅典、中山文豪、表面孔を有するシリコンナノ微粒子の製造方法、及びシリコン微粒子、特願2018-192870、出願日2018年10月11日

発表論文

- ① 佐藤慶介、久我泰祐、中山文豪、溶液プロセスで作る安価なシリコンナノ多孔状粒子、(株)化学工業社 ケミカルエンジニアリング、Vol. 64、pp. 55-62、2019年
- ② 佐藤慶介、久我泰祐、金属ナノ粒子による細孔径制御した発電用高多孔性ナノ粒子の創製技術、(株)化学工業社 化学工業、Vol. 71、pp. 1-7、2020年

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

事業内容の成果資料

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

シリコンナノ粒子と電活性材料を組み合わせた安価な太陽電池
シリコンナノ粒子表面への多孔質構造の構築
シリコンナノ粒子表面への多孔質構造の構築

電圧 (V)	1.0E-005	1.0E-005	2.0E-005	3.0E-005	3.0E-005
電流 (mA)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
時間 (min)	30	30	30	30	30
電圧 (V)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
電流 (mA)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
時間 (min)	30	30	30	30	30
電圧 (V)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
電流 (mA)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
時間 (min)	30	30	30	30	30

シリコンナノ粒子表面への多孔質構造の構築
シリコンナノ粒子表面への多孔質構造の構築

電圧 (V)	1.0E-005	1.0E-005	2.0E-005	3.0E-005	3.0E-005
電流 (mA)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
時間 (min)	30	30	30	30	30
電圧 (V)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
電流 (mA)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
時間 (min)	30	30	30	30	30
電圧 (V)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
電流 (mA)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
時間 (min)	30	30	30	30	30

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 東京電機大学 工学部 (トウキョウデンキダイガク コウガクブ)

住 所: 〒120-8551

東京都足立区千住旭町5番

担 当 者: 教授 佐藤 慶介(サトウ ケイスケ)

担 当 部 署: 電気電子工学科(デンキデンシコウガク)

E - m a i l: satok@mail.dendai.ac.jp

U R L: <http://www.eee.dendai.ac.jp/eee/lab/sato/sato.html>