

課題番号	Q17E-01
課題名 (和文)	多孔質構造を有するシリコンナノ粒子の創製とそれを利用した無機/有機太陽電池の性能評価
課題名 (英文)	Development of silicon nanoparticles with mesopore structures and photovoltaic performances of inorganic/organic hybrid solar cells using porous nanoparticles
研究代表者	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 工学部 電気電子工学科 教授 氏名 佐藤 慶介
共同研究者	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 氏名
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 氏名
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 氏名
	所属 (学部、学科・学系・系列、職位) 氏名

研究成果の概要 (和文)

本研究課題では、銀ナノ粒子を用いた金属援用化学エッチング処理と熱拡散処理の併用によりシリコンナノ粒子表面への細孔形成技術とナノ粒子内部への不純物濃度制御技術を確立した。また、多孔質構造を有するシリコンナノ粒子内に高濃度の不純物 (n型リンドナーとp型ボロンアクセプタ) が添加されていることを電子スピン共鳴装置と顕微ラマン分光装置により確認し、不純物濃度の可変による抵抗率の制御に成功した。さらに、多孔質構造 (平均細孔サイズ 30 nm) を有するシリコンナノ粒子と導電性ポリマーを複合化した無機/有機太陽電池から 5.0% のエネルギー変換効率が得られた。

研究成果の概要 (英文)

In this research project, we proposed a new approach to form the mesopore on the surface of silicon (Si) nanoparticles and to control the impurity concentrations (i.e., n-type phosphorus donor and/or p-type boron acceptor) in the nanoparticles using metal-assisted chemical etching and thermal diffusion processes. The impurity-doped Si nanoparticles with mesopore structures showed low resistivity with the variation of the impurity concentrations. Furthermore, the inorganic/organic hybrid solar cells using the Si nanoparticles with mesopores of approx. 30 nm in size attained a power conversion efficiency of 5.0%.

1. 研究開始当初の背景

太陽電池のコスト削減ならびに性能向上を見据えた次世代型太陽電池として、シリコンナノ粒子と導電性ポリマーを複合化した無機/有機太陽電池が注目されている。この太陽電池のエネルギー変換効率を向上させるには、シリコンナノ粒子と導電性ポリマーからなる p/n 界面領域の拡張とナノ粒子の抵抗率の制御が重要となっている。そこで本研究課題では、銀ナノ粒子を用いた金属援用化学エッチング処理と熱拡散処理の併用によりシリコンナノ粒子表面に多孔質構造を形成する技術とナノ粒子内部に添加する不純物濃度を制御する技術を構築する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、多孔質構造を有する不純物添加シリコンナノ粒子の創製技術を確立し、多孔質構造を有するナノ粒子を用いた無機/有機太陽電池のセル性能を検証することである。

3. 研究の方法

本研究では、直径 100 nm のシリコンナノ粒子に対してフッ化水素酸/硝酸銀/純水混合溶液とフッ化水素酸/過酸化水素酸/純水混合溶液による金属援用化学エッチング処理を施すことでナノ粒子表面に多孔質構造を形成した。硝酸により多孔質構造内部に存在する銀ナノ粒子を除去した後、不純物拡散剤 (n 型リンドナーと p 型ボロンアクセプタ) を熱拡散処理することでナノ粒子内部に不純物を添加させた。以上のプロセスにより、多孔質構造を有する不純物添加シリコンナノ粒子を作製した。また、無機/有機太陽電池は、多孔質構造を有するシリコンナノ粒子表面に導電性ポリマーをスピコートにより被覆し、表面側と裏面側に金属電極を形成することで作製した。

4. 研究成果

シリコンナノ粒子表面に形成した多孔質構造

の細孔サイズと比表面積を調べるために、走査型電子顕微鏡と BET 窒素ガス吸着法による評価を行った。その結果、25~33 nm の細孔サイズを有する多孔質構造がナノ粒子表面に多数形成されており、最大で $63 \text{ m}^2/\text{g}$ の比表面積を有していることがわかった。

次に、多孔質構造を有するシリコンナノ粒子内部の不純物濃度を調査するために、電子スピン共鳴法と顕微ラマン分光法による評価を行った。両分析結果より、シリコンナノ粒子コア部分の置換位置にリンドナーおよびボロンアクセプタが局在しており、 $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高濃度で添加されていることが示唆された。また、高濃度の不純物添加シリコンナノ粒子からは、 $3.3 \times 10^3 \text{ } \Omega \text{ cm}$ の低い抵抗率が得られた。低抵抗率ならびに 30 nm の平均細孔サイズを有するシリコンナノ粒子を用いて無機/有機太陽電池を作製したところ、5.0%のエネルギー変換効率を得ることができた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 佐藤慶介、久我泰祐、小林雅典、中山文豪、ナノ材料の最新技術-無機ナノ粒子表面へのナノデザイン設計-、JETI、Vol. 67、pp. 21-25、2019 年
- ② 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、ケミカルエンジニアリング、2019 年 6 月発刊

[学会発表] (計 2 件)

- ① 佐藤慶介、有機物・生体分子等の吸着に優れた突起/細孔形状ナノ粒子、JST 新技術説明会、東京、2018 年 10 月 25 日
- ① 佐藤慶介、エネルギーハーベスティング電源やリチウムイオン蓄電池等に活用可能なシリコンナノ藻状粒子の開発、りそな中小企業振興財団 技術懇親会、東京、2018 年 12 月 3 日