

Investigation of Si paste for coated solar cell application

朱, 暁

<https://hdl.handle.net/2324/4496118>

出版情報 : Kyushu University, 2021, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

氏 名 Name	シュ カン ZHU HUAN
論 文 名 Thesis Title	Investigation of Si paste for coated solar cell application (シリコンペーストを用いた塗布型太陽電池に関する研究)
論文調査委員	主 査 九州大学 准教授 加藤 喜峰 副 査 九州大学 教授 岡田 重人 副 査 九州大学 准教授 堤井 君元

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨 Thesis Review Result Summary

エネルギー危機問題、地球温暖化問題は国際社会の重要な課題である。再生可能でクリーンな太陽エネルギーを利用しこの課題を解決するためには、現在シリコン(Si)太陽電池が最も有望である。しかし、その材料である結晶性 Si ウェハは太陽電池普及には高価であり更なる低価格化が必須である。高価である主な要因は Si 単結晶インゴットのチョクラルスキー成長と切削工程に起因しており、更なる低価格化を妨げる大きな障壁となっている。これまでの研究では遊星ボールミル法を用いて n 型または p 型 Si ナノ粒子ペーストを製作し塗布することで、チョクラルスキー法と切削工程コストを削減できる方法が考案されてきた。しかし、Si ナノ粒子は極めて酸化しやすい材料なため、ペーストを焼結する Si の融点(1414°C)近くまで昇温する際に酸化してしまい熔融できない問題があった。本論文では Si の酸化を低減するための焼結法の低温化を提案、実施し、さらに Si ナノ粒子ペーストを薄膜太陽電池へ応用する事を試みており、5 章より構成されている。本論文では遊星ボールミル法で Si をナノ粒子に粉碎し、ペースト状にして基板に塗布後、焼成する際の酸化抑制に関する新技術の基礎を確立することを目的としている。各章に独自に考案した酸化低減法を用いて製作した Si ナノ粒子ペーストの製法、結晶および電気特性の評価結果、デバイス製作・評価に至るまでの技術について述べており、以下の点で業績評価することができる。本論文では 3 つの酸化低減法について記載している。

第 2 章ではアルミニウム誘起結晶化 (AIC) を利用した熱処理温度の低減を試みている。Al および Al スパッタリングした Fe 基板の上に塗布した p 型および n 型 Si ペースト膜を低温(400~550°C)で 3 時間熱処理し、pn 接合デバイスを作製している。このプロセスでは低温で酸化を抑制しながら Si ペースト膜を再結晶化することができる。この AIC 法を用いたデバイス作製の前例はなく、Si ペースト pn 接合デバイスの電流-電圧特性は整流比が約 3200、逆方向電流密度が 10^{-9} A/cm² 位の整流性を示し、また、AM1.5 の照明下では 0.058 μ A/cm² の光電流が初めて観測されている。

第 3 章では、Si ペーストの酸化を低減させるために、赤外線炉を用いた瞬間熱処理 (RTA) 法について述べている。RTA 法では、1200°C、1 秒間の加熱でも Si ナノ粒子が熔融し、酸化を抑えられたことを報告している。熔融温度の低下は、Si ナノ粒子のサイズ効果と表面エネルギーの放出によるものと考えられ、理論的考察を行って融点の低温化を計算立証している。炭素基板上に Si ペースト pn 接合構造を作製し、良好な整流特性が得られ、10 μ A/cm² の光電流を観測している。

第 4 章では、RTA 中の Si ペーストの酸化をさらに抑えるために、酸化 Si を還元できる Ti を用いている。p 型 Si ペースト薄膜上に Ti 薄膜をスパッタリングしてから熱処理を行っている。1200°C、2 秒の RTA で Si ペーストの酸化が最も抑えられ、Ti 薄膜が TiO₂ に変化したことが X 線回折より確認されている。また、電子顕微鏡観察により熔融した Si 塊が観測され、Ti 層によって表面 Si ナノ粒子の熔融が促進されたためであることを理論的に突き止めている。TiO₂/p-Si ペースト接合デバイスを製作し、良好な整流特性およびこれまでで最も大きな光電流(36 μ A/cm²) の観測が報告されており、本研究が価値の高い業績として世の中に貢献できたものとして評価できる。

以上、本論文における Si ナノ粒子ペーストの酸化抑制技術の大幅な躍進と太陽電池特性の向上について得られた成果は今後の新しい太陽電池製造等の基礎となるものであり、今後 Si ペーストが低コスト塗布型太陽電池の原料として注目され、将来の人類社会における太陽光発電システムの大量導入に貢献できることが期待される。よって、本論文は博士（工学）の学位論文に値するものと認める。また、各章はそれぞれ投稿論文として受理または公表済みである。

[最終審査]

論文調査委員会は、令和 3 年 8 月 16 日 10 時からオンラインにて、Zhu Huan 氏および論文調査委員全員の出席により、公開による論文発表及び最終審査を実施した。論文内容について、Zhu Huan 氏は予備調査委員会でのコメントに対して、適切な修正を行い、論文調査委員ら公聴会出席者から活発な質疑がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上の結果より、本論文調査委員会は同氏が最終試験に合格したものと認める。