The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Material and Device Design for High Efficiency Polycrystalline Silicon Thin Film Solar Cells
Author(s)	松井, 卓矢
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2373
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

氏　　名	松　井　卓　矢（まつ い たく や）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学 位 記 番 号	第　17109　号
学位授与年月日	平成14年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学 位 論 文 名	Material and Device Design for High Efficiency Polycrystalline Silicon Thin Film Solar Cells （多結晶 Si 薄膜の材料物性制御と高効率太陽電池の開発）
論 文 審 査 委 員	（主査） 教 授　岡本　博明 （副査） 教 授　奥山　雅則　　教 授　高井　幹夫

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では非平衡プロセスにより製膜された低温多結晶 Si（poly-Si）薄膜を次世代低コスト太陽電池材料として提案し、太陽電池高効率化に向けた poly-Si 薄膜の材料物性制御と、キャリア輸送評価を介した最適デバイス設計を行った。poly-Si 薄膜は基板温度180℃において VHF 帯励起－高水素希釈 SiH_4 プラズマにより製膜した。結晶構造解析とプラズマ発光分析から、poly-Si の結晶相/アモルファス相の比（X_c）や結晶粒径、またその配向性はプラズマ気相反応における原子状水素の生成レートにより制御できることを見出した。p-i-n 型太陽電池において最も高い性能を示す poly-Si の X_c は約50％で、且つ（220）優先配向していることが必要であることを明らかにした。太陽電池動作解析とキャリア輸送評価により、X_c～50％の poly-Si 膜は、結晶粒界における残留酸素の電気的活性度を抑制し、かつキャリアの粒界再結合を低減していることを示した。poly-Si 薄膜のキャリア移動度評価により、X_c～50％の poly-Si 膜の正孔移動度は一般的なアモルファス Si に比べて 2 桁以上高いことを示し、その電気的性質は結晶粒内でのキャリア輸送が支配的であることを示唆した。一方、X_c～50％の poly-Si 膜はその結晶的性質を反映し、間接遷移型光吸収特性を示すため、2-3 μm といった膜厚で有効に太陽光スペクトルを吸収できない問題点が浮上した。そこで、薄膜で高い光電流を期待するために、表面凹凸加工した $ZnO/Ag/SnO_2$/glass なる新型光閉じ込め基板を提案した。基板表面の RMS ラフネスが約38nm で長波長域量子効率の増加に基づく太陽電池光電流の顕著な改善が認められ、最高変換効率9.18％を達成した。基板温度200℃以下かつ成長速度3Å/s 以上で製膜された poly-Si 太陽電池において、これまでの報告の中では最も高い値である。

論文審査の結果の要旨

太陽光発電の大量普及にむけて必要不可欠な高効率高性能太陽電池とその大幅な低価格化を実現するために、最も有望視されている薄膜シリコン系太陽電池の高性能化、高スループット化、プロセスの低温化が最重要課題とされている。近年、非熱平衡プロセスにより製膜された低温多結晶シリコン（poly-Si）薄膜は、同様の製膜技術で培われてきたアモルファスシリコンを凌ぐ高性能高安定太陽電池材料として脚光を浴び、その実用化を目標とした基礎的研究が世界中で展開されている。しかしながら、200℃近傍のプロセスで製膜した超低温 poly-Si 薄膜は、他の多結晶

材料に比べて極度に結晶粒径が小さく、さらに結晶とアモルファスが混在するといった不均一材料であるために、その材料物性の理解と高性能太陽電池実現への具体的ガイドラインが確立されていないのが現状である。本論文は太陽電池高効率化に向けたpoly-Si薄膜の材料物性制御とキャリア輸送評価を介した最適デバイス設計を目的として行った一連の理論的・実験的研究の成果と、そこから得られた知見をまとめたものである。

本論文ではまず自ら開発したデバイスシミュレータにより、poly-Si光活性層における結晶粒径やキャリアの粒界再結合といった効果がいかなる形でデバイス特性に反映されるかについての理論的考察を行っている。その中で、数10nmオーダーの結晶粒径を有するpoly-Si太陽電池で高い変換効率を期待するためには、粒界の不活性化に加えて、3 μm以下の太陽電池薄膜化と有効な光閉じ込めが必要であるとの材料・デバイス設計の上で重要な指針を得ている。実際のpoly-Si薄膜はVHF帯励起－高水素希釈SiH_4プラズマを用いて製膜し、これが高品質poly-Siの高速製膜に優れていることを実証している。広範囲の製膜環境において作製されたpoly-Si薄膜の微細構造とその太陽電池特性を綿密に検証した結果、poly-Siの結晶相/アモルファス相の比や結晶粒径、またその配向性はプラズマ気相反応における原子状水素の生成レートにより制御できることを実証するとともに、poly-Si薄膜の結晶構造と太陽電池特性との間に潜む普遍的関係を見いだし、太陽電池としての最適材料を決定付けている。

さらに結晶構造と太陽電池特性とを結びつける要因を究明するべく、新規な評価方法を提案し、これを用いてこれまで観測され得なかった太陽電池特性を直接決定付けるキャリア輸送パラメータを実験的に導出することに成功している。最後には変換効率のさらなる向上を目指して、新規な光閉じ込め基板を提案し、これが光学的設計ならびpoly-Si成長を有効に制御できる基板材料であることを実証している。これらを総合した成果として、本論文の最後に本研究で達成した最高変換効率9.18%の太陽電池性能特性を示し、基板温度200℃以下かつ成長速度3 Å/s以上で製膜されたpoly-Si太陽電池において、これまでの報告の中では最も高い値を得ている。

以上の研究成果は、poly-Si薄膜の新しい電子材料物理とその太陽電池実用化にむけた先導的な貢献をしたものであり、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。