



|              |                                                                                                                                                 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | Device Physics and Optimum Design of High Efficiency a-Si//poly-Si Tandem Solar Cell                                                            |
| Author(s)    | 馬, 雯                                                                                                                                            |
| Citation     | 大阪大学, 1995, 博士論文                                                                                                                                |
| Version Type |                                                                                                                                                 |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/39461">https://hdl.handle.net/11094/39461</a>                                                             |
| rights       |                                                                                                                                                 |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

|               |                                                                                                                                                  |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名           | 馬 雙 <sup>うま ふう</sup>                                                                                                                             |
| 博士の専攻分野の名称    | 博 士 ( 工 学 )                                                                                                                                      |
| 学 位 記 番 号     | 第 1 2 1 5 8 号                                                                                                                                    |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平 成 7 年 1 1 月 2 7 日                                                                                                                              |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第4条第2項該当                                                                                                                                     |
| 学 位 論 文 名     | Device Physics and Optimum Design of High Efficiency a-Si<br>//poly-Si Tandem Solar Cell<br>(高効率 a-Si//poly-Si タンデム太陽電池のデバイス物理及び最<br>適化設計に関する研究) |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査)<br>教 授 浜 川 圭 弘<br>(副査)<br>教 授 小 林 哲 郎      教 授 奥 山 雅 則      助 教 授 岡 本 博 明                                                                   |

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、まずアモルファスシリコン (a-Si) 系太陽電池をめぐる研究開発の歴史的な背景と今日までの発展の経緯を概観する。その流れの中で、低コスト・高効率化のためにタンデム型太陽電池構造を導入することの重要性を提示し、本論文の意義と目的を明らかにする。

高導電率・ワイドエネルギーバンドギャップの特徴を有する微結晶シリコン ( $\mu\text{c-Si}$ ) とシリコンカーバイド ( $\mu\text{c-SiC}$ ) 薄膜の製造技術及び基礎物性を述べる。また、これらの材料特性及び低温製膜技術の観点より太陽電池の性能改善に果たす役割について言及する。

a-Si 太陽電池を低温プラズマ CVD 法より形成し、その構造設計法と製作技術を確立した。さらにこの太陽電池の界面物性に注目し、微結晶薄膜の応用により光電変換特性が大きく改善されることを示した。この改善機構に関する実験的研究を行い、TCO/p 界面でのショットキー障壁の低下によるものであることを確認した。この結果に基づいて微結晶層が a-Si 太陽電池の性能改善に有効な手段であることを実証した。

ECR または RF プラズマ CVD 法により作製された  $\mu\text{c-SiC}$ ,  $\mu\text{c-Si}$  をそれぞれ窓層と裏面層として用いた  $\mu\text{c-SiC/poly-Si}/\mu\text{c-Si}$  ダブルヘテロ接合太陽電池の出力特性を光学的な観点から理論的計算を行い、その結果に基づいて作製法と構造パラメータの最適化を行った。さらに裏面に  $\mu\text{c-Si}$  を挿入することによる効果を重点的に評価した。この太陽電池の性能評価を通して、高効率化のための最適条件を決定した。

$\mu\text{c-SiC/poly-Si}$  ヘテロ接合太陽電池に  $\mu\text{c-Si}$  裏面層を適用しダブルヘテロ接合を形成することにより、太陽電池性能が大きく向上することを見出した。この物理機構の実験的解析を通して、Back Surface Field (BSF), Back Surface Ohmic Contact (BSRC) および水素パッシベーション効果によるものであることを明らかにした。これらの効果によって太陽電池の裏面界面再結合速度を大きく減少させることに成功した。

a-Si//poly-Si 四端子タンデム型太陽電池の動作原理に基づいた最適化設計を行った。これにより a-Si 上部セルの構造を決定し、その厚さは 100nm 程度が最適であることを示すと同時に、四端子タンデム型太陽電池の基本構造とその作製法及び最適化手法を明らかにした。最後に両セルの光学的マッチング最適化を理論計算、実験の両面か

を行い、21 %の総合変換効率を達成した。

## 論文審査の結果の要旨

アモルファスシリコン (a-Si) は太陽光発電プロジェクトを成功に導く鍵技術とされている太陽電池の低コスト化へのチャンピオン材料である。しかしながら、アモルファス組織をもつことから、禁止帯中に高密度の局在準位が存在し、これに起因して、太陽電池としての性能が結晶系太陽電池と比べて劣ることと、光誘起劣化を伴うことが大きな泣きどころとされている。本論文はこうした a-Si 太陽電池の欠点を克服し、低コストで高効率をもちながら光劣化を極力抑制したタンデム型太陽電池について、そのデバイス物性と最適化設計をめぐる一連の研究成果をまとめたものである。

本論文では、序論として、まずタンデム型太陽電池における最適な半導体材料の組み合わせと接続方式に関する理論的研究の概要を説明し、その結果、a-Si と多結晶 (poly-Si) 太陽電池を四端子接続するタンデム型太陽電池が理論変換効率、低コストで、材料の豊富さと無公害性などの面で最も優れた素子構造であることを示し、本研究の意義と目標を明らかにした。

第2章では、a-Si 上部および poly-Si 下部セルの高効率化には広禁止帯幅でかつ高導電性を備えた微結晶質 ( $\mu$ c-Si (C)) を導入したヘテロ接合構造を採用することが重要であることを指摘し、これらの新材料の製膜技術とその価電子制御、光電物性など一連の基礎物性について研究し、新しい光電材料としてのテクニカルデータを明らかにした。ついで、第3章では、それぞれ  $\mu$ c-Si (C) を用いた a-Si 上部および poly-Si 下部ヘテロ接合太陽電池の高効率化に関する系統的な研究を行った。第4章では、これらの  $\mu$ c-SiC を用いたヘテロ接合構造を用いることにより接合界面特性が著しく改善されることを見だし、第5章として、poly-Si 下部セルでは変換効率17.2%と低温プロセス太陽電池を実際に試作して、その最適化設計法について検討し、世界最高の値を得た。第6章では、タンデム型太陽電池の最適化設計理論を展開し、その結果に基づいて4端子タンデム型太陽電池を試作した。系統的な実験および理論的検討を通して a-Si 上部セルの厚さを100nm程度と薄くすることによって高い総合変換効率と信頼性を達成できることを示した。ボトムセルについては第4・5章で得た新しい設計指針に従って、4端子用下部セルを製作し、低コストを目指した薄膜太陽電池のなかで世界最高の総合変換効率21%を達成し、実用化技術の基礎データを明らかにした。

以上の研究成果は、低コスト実用化太陽電池をめぐるデバイス設計と作製技術開発に先駆的な貢献をしたものであり、工学博士の学位論文として価値あるものと認める。