

氏 名	こ まつ ゆう じ 小 松 雄 爾
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 1619 号
学位授与の日付	平 成 9 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 電 気 工 学 第 二 専 攻
学位論文題目	Study on silicon-based tandem solar cells with novel structure towards super high efficiency (シリコンを基板とした新構造タンデム太陽電池の超高効率化に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 松 波 弘 之 教 授 藤 田 茂 夫 教 授 松 重 和 美

論 文 内 容 の 要 旨

新エネルギー開発用の太陽電池の高効率化のために、異なる禁制帯幅を持つ二種類の半導体を用いてそれぞれの pn 接合を縦続接続し、太陽光のスペクトルを広い範囲で有効に活用するタンデム型太陽電池が期待されている。従来、異なる材料で作製した二つの太陽電池を機械的に重ねあわせ、それぞれの太陽電池から個別に電力を取り出す 4 端子型タンデム太陽電池があるが、精密な機械的重ねあわせを必要とし、外部回路への接続も複雑となるなどの問題点がある。さらに、二種類の半導体基板のコストが二重にかかり、基板の大面积化が困難な材料もあって、その実現のためには新しい視点の研究が必要である。

本論文は、外部回路への接続が簡単で、4 端子型に比べ低コストでの作製が可能な 2 端子型で、下層には、埋蔵量が豊富で大面积基板が比較的低価格で得られる Si 太陽電池を用い、上層は、Si 上にヘテロ成長した広禁制帯幅 III-V 族半導体太陽電池とする新型タンデム太陽電池に関する研究結果をまとめたものである。新構造のタンデム型太陽電池を提案し、その動作特性を理論的に論じるとともに、素子作製のための基礎実験を行った結果をまとめたもので 6 章から成る。

第 1 章は序論であり、Si を基板とするタンデム型高効率太陽電池の必要性について言及し、本研究の目的、位置づけを明らかにしている。

第 2 章では、下層の太陽電池としての新構造薄型 Si 太陽電池を提案し、その変換効率の理論的な計算と実験による検証を行っている。構造の特徴である広禁制帯幅半導体によるパッシベーション効果や基板薄型化の効果により高い光電変換効率が期待できることを理論的に示すとともに、実際に薄型 Si 基板を用いた実験結果によって検証している。光閉じ込め構造の工夫により、50 ミクロン程度の薄型基板で最も高い効率が得られることを明らかにしている。

第 3 章では、上層の太陽電池に用いる III-V 族三元系半導体（ガリウム・砒素・リンならびにインジウム・ガリウム・リン）の光吸収係数を、任意の組成比の材料に対して、半経験的に計算する手法を提案し

ている。また、作製した試料を用いた実測値や報告値との比較検討により、この計算方法が妥当であり、タンデム型太陽電池の最適設計に適用できることを示している。

第4章では、Si基板を用いた新構造の2端子タンデム型太陽電池に関して、間接遷移型バンド構造を持つ半導体を緩衝層とする新しい太陽電池素子を提案し、構造の最適化と光電特性の計算、変換効率の予測を行っている。第3章で論じた計算手法により求めた光吸収係数の値など、現実的な物性定数を用いて、電流連続条件を満足しなければならないという2端子タンデム型太陽電池特有の動作特性を考慮した上で、上層太陽電池の厚さや上層Ⅲ-V族三元系半導体の組成などを中心に、構造の最適化を行っている。その結果、最適組成、最適禁制帯幅を用いると最大34.4%の変換効率が実現可能であることを予測している。

第5章では上記の理論的な検討結果を踏まえて、ガリウム・リン緩衝層を介したインジウム・ガリウム・リンのSi基板上へのヘテロ成長を、有機金属化学的気相成長法を用いて行い、成長層の結晶学的、電子的特性を検討している。成長方向に向かって組成比が徐々に減少するステップ傾斜緩衝層を導入することによって、Si上へのヘテロエピタキシャル成長に成功している。特に、格子定数の測定結果から、界面の応力緩和に関して詳細な検討を行い、緩衝層構造の設計について新たな知見を得ている。また、これらの成長層の少数キャリア拡散長の測定や、ショットキー接合による光電効果の評価を行っている。

第6章は、結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、結晶成長ならびに電子物性制御に関しての将来の課題について議論している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、太陽電池の超高効率化を目的として、シリコン(Si)太陽電池を下層に、Ⅲ-V族半導体太陽電池を上層にして縦続接続する2端子タンデム構造を提案し、動作特性を理論的に論じるとともに、素子作製のための基礎実験を行った結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. タンデム型太陽電池用の薄型Si太陽電池を提案し、変換効率の理論的な計算を行うとともに、広禁制帯幅半導体によるパッシベーション効果や基板薄型化の効果を実験的に検証して、下層太陽電池としての有用性を明らかにした。
2. Ⅲ-V族三元系半導体(ガリウム・砒素・リンならびにインジウム・ガリウム・リン)の任意の組成に対して光吸収係数を簡便に計算する新しい手法を提案し、実験結果と対比してその妥当性を検証した。
3. Siを基板とする2端子タンデム型太陽電池の新構造を提案し、特有の動作特性を考慮した上で、現実的な物性定数を用いて、実現可能な変換効率を予測し、構造の最適化を行った。最適の禁制帯幅を有する上層材料を用いると最大34.4%の変換効率が得られることを初めて予測した。
4. 有機金属化学的気相成長法を用いてSi上にインジウム・ガリウム・リンを成長する際、組成傾斜の緩衝層を導入して高品質のエピタキシャル層の作製に成功した。界面の応力緩和に関して詳細に検討し、Si基板を用いると界面近傍で格子不整合が十分緩和され、成長層の応力歪みが解放されることを明らかにした。また、成長層の少数キャリア拡散長を実測し、太陽電池への応用を目的とした光電効果特性の解析を行った。

以上要するに、本論文は、Siを基板とする超高効率の2端子タンデム太陽電池の提言と、その理論的、

実験的検証であり，得られた成果は学術上のみならず，實際上寄与するところが少なくない。よって，本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また，平成9年1月28日，論文内容に関して試問を行った結果合格と認めた。