

## 審査の結果の要旨

氏名 金 ボラム

本論文は、Heteroepitaxial metal-organic vapor phase epitaxy of III-V semiconductors on Si for high efficiency and low-cost solar cells (高効率・低コスト太陽電池の作製に向けた Si 上 III-V 族半導体の有機金属気相成長) と題し、高効率と低コストを両立する III-V 族化合物半導体/シリコン多接合太陽電池の実現を目指して、量子井戸を含む素子構造を設計し、ヘテロエピタキシャル結晶成長手法を実験により検討したものであり、英文 6 章から構成される。

第 1 章は序論であり、高効率かつ低コストな太陽電池の必要性と、そのために必要な多接合技術、III-V 族化合物半導体とシリコンの集積技術に関して関連する理論および既往の研究をまとめた後、本研究の目的を述べている。

第 2 章では、本研究の対象である量子井戸挿入多接合太陽電池に関する基礎理論をまとめている。

第 3 章では、目的とする太陽電池の作製に必要な結晶成長技術である有機金属気相成長 (MOVPE) 法と、シリコン基板の表面処理および III-V 族化合物半導体結晶層の成長その場観察に用いる光学反射率異方性分光法、さらに作製した結晶層を評価するための手法をまとめている。

第 4 章では、量子井戸を挿入した GaAsP トップセルとシリコンボトムセルから成る多接合セルの構造設計をまとめている。従来の GaAsP バルク層によるトップセルでは、シリコンとの格子不整合度が大きく高品位結晶成長は困難であった。本研究では、同じ GaAsP 系結晶の中で As と P の組成を変えた井戸・障壁層からなる歪み補償量子井戸を光吸収層として用いることで、シリコン上に成長する GaAsP バルク層の格子不整合を従来の 2.8% から 1.8% に減らした構造を提案した。積層量子井戸を擬似バルクとして近似する実効移動度モデルを用い、量子井戸からのキャリア取り出し効率を太陽電池の効率を低下させない程度に維持できる量子井戸構造を求め、総厚 500 nm の積層量子井戸により 2 接合太陽電池の効率 42.6% を達成できる可能性を示した。

第 5 章では、シリコンボトムセル表面にシード層である GaP と GaAsP 傾斜組成バッファ層を高品位に成長する MOVPE プロセスについてまとめている。

まず、MOVPE 装置内でのシリコン表面処理法を、光学的その場観察を活用して最適化した。従来のシリコン表面処理法は、1000°C近傍での水素アニーリングやシリコン原料供給によるエピタキシャル成長を用いており、III-V 族化合物半導体用の一般的な MOVPE 装置への適用は困難であるとともに、シリコンボトムセルの特性を劣化させるものであった。本研究では、シリコン表面からの酸化膜除去に As 原料を用いることで、プロセス温度を 800°C近傍まで低温化した。さらに、処理温度と表面ダブルステップドメイン均一性のトレードオフなど、プロセス条件最適化の基礎となる各種データをその場観察により取得し、プロセスウインドウ決定の指針を示した。次いで、最適条件で処理したシリコン表面に GaP シード層および GaAsP 傾斜組成バッファ層を成長し、X 線回折による結晶性評価を通してシリコン表面処理の有効性を実証するとともに、シリコン表面に量子井戸下層までの III-V 族化合物半導体結晶が高品位に成長可能であることを実証した。

第 6 章は結論であり、上記の取り組みを総括した。

以上のように、本論文は、高効率と低コストを両立する III-V 族化合物半導体／シリコン多接合太陽電池に関して、歪み補償量子井戸の挿入により高効率を維持しつつ結晶成長を比較的容易にする新規構造を提案するとともに、その実現に不可欠なシリコン表面への Ga(As)P 成長に関して、光学的その場観察手法によりプロセス温度の低温化を実現したものであり、太陽電池の設計および作製プロセスの観点から電気電子工学に貢献するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。