

## 審査の結果の要旨

氏名 馬 少駿

本論文は、”Research on improvement of MQWs solar cell’s performance through development of growth technology and novel tunneling-assisted structure” (結晶成長法の改善とトンネル援用構造の導入による多重量子井戸太陽電池の特性改善に関する研究) と題し、III-V 族化合物半導体を用いた多接合太陽電池の電流整合改善による高効率化を目指した量子井戸挿入ミドルセルについて、有機金属気相成長法における格子不整合系量子井戸の精緻な歪み制御およびヘテロ界面組成急峻化と、それを活用したトンネル援用構造の作製による井戸からの光励起キャリア取り出し効率改善の取り組みをまとめたものであり、英文7章から構成される。

第1章は序論であり、高効率太陽電池とくに多接合太陽電池の必要性、および本研究の対象である InGaAs/GaAsP 歪み補償量子井戸のミドルセルへの挿入について既往の研究と本研究の目的を述べている。

第2章では、太陽電池の基本原理を解説し、ついで III-V 族化合物半導体の有機金属気相成長法および評価法について述べている。

第3章では、格子不整合系材料の多数積層を可能にする歪み補償量子井戸の成長について、レーザ光による成長中ウエハ曲率の *in situ* モニタリングを活用した高度な歪み制御法について述べている。成長層の歪みとウエハの曲率の相関について、InGaAs 3元混晶の熱膨張係数を見直すことで、Stoney の式により結晶成長中に観察されるウエハの反りから成長中の結晶層の組成および歪みを定量的に評価することに成功した。これにより、有機金属気相成長における InGaAs/GaAsP 積層量子井戸の精緻な歪み制御が可能になった。

第4章では、有機金属気相成長において InGaAs/GaAsP ヘテロ界面の組成を急峻化するためのガス切り替えシーケンスの改良について述べている。積層量子井戸においてヘテロ界面の非理想的な組成分布がウエハの反りに反映されることを発見し、従来困難であったヘテロ界面組成分布の評価についてウエハ反りの *in situ* 観察という新たな手法を導入した。これにより、ガス切り替えシーケンスがヘテロ界面の組成に及ぼす影響を迅速に評価し、InGaAs 表面における In 偏析を低減するための水素パージや、GaAsP 層成長開始時の P 組成を安定化させるための P 原料供給時間の最適化を行った。

第5章では、量子井戸挿入太陽電池における最大の課題である井戸内部からの光励起キャリア取り出し効率の改善を目指して、GaAsの吸収領域を超えた長波長光を吸収する厚い量子井戸と、そこからのキャリア脱出を促進するための薄い量子井戸を共鳴準位を介して結合した非対称量子井戸構造を提案している。厚い量子井戸における励起準位と薄い量子井戸の基底準位を電子のトンネルにより結合させ、厚い井戸からのキャリア脱出時定数を低減するための構造を設計し、その効果を定量的に評価するモデルを構築した。

第6章では、前章で設計したトンネル援用非対称量子井戸構造をGaAs単接合太陽電池に実装し、その効果を定量的に検証している。厚い井戸から薄い井戸への電子のトンネルを促進するためには4 nmという薄い障壁層が必要であり、その作製には3・4章に記述された結晶成長法の改善が活かされている。太陽電池構造における井戸からのキャリア脱出時定数を時間分解フォトルミネッセンスにより評価し、トンネル援用非対称量子井戸構造により脱出時定数を半分に短縮できることを実証し、モデルとの良い一致を確認した。また、この改善が太陽電池の短絡電流向上をもたらすことを実証した。

第7章は結論であり、上記の取り組みを総括するとともに、今後の展望を述べている。

以上のように、本論文は、量子井戸の有機金属気相成長における精緻な歪み補償およびヘテロ界面の組成急峻化をウエハ曲率のin situ観察を通して達成し、それをもとにトンネル援用非対称量子井戸構造を設計・試作して量子井戸からの光励起キャリアの脱出促進および太陽電池の短絡電流向上を実証したものであり、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。