

審査の結果の要旨

論文提出者 文 瑜

本論文は、"An Investigation on Strain-balanced Stepped-potential Quantum Well Solar Cells for Higher Efficiency (高効率化に向けた歪み補償階段ポテンシャル量子井戸太陽電池に関する研究)"と題し、多接合太陽電池のミドルセルとしての量子井戸太陽電池について、キャリアの取り出し効率を高める独自構造を提案し、その設計、試作、特性評価解析を行った成果を英文で纏めたもので、7章より構成されている。

第1章は序論であって、研究の背景、動機、目的と、論文の構成が述べられている。化石燃料の枯渇や二酸化炭素排出問題が懸念される中で、新たなエネルギー創出手段として太陽電池への期待が益々高まっていること、太陽電池の動作原理、単接合太陽電池の変換効率限界、量子井戸太陽電池の動向に関し、記述している。

第2章は"Solar cell processing and characterization"と題し、本論文内で共通に用いられる太陽電池の製造技術、評価技術に関し論じている。表面のフォトリソグラフィによるパターンニングと電極形成、キャップ層と素子分離のエッチング、裏面電極堆積技術の詳細について述べた後、X線回折(XRD)、フォトルミネッセンス(PL)、紫外～可視域分光測定、透過型電子顕微鏡(TEM)観察などの材料評価技術について述べ、最後に太陽電池素子としての電流電圧特性および量子効率の測定評価方法を記述している。

第3章は"Strained and strain-balanced InGaAs/GaAsP MQW solar cells"と題し、本研究で狙う多接合太陽電池のミドルセルとしての量子井戸電池において、不可避免的に導入される格子歪みにどのように対処するかが論じられている。まず、GaAs基板上のInGaAs/GaAsP量子井戸システムにおける歪み補償条件を、連続弾性体モデルと高精度XRDによって決定したことについて述べている。次に、異なる格子歪みを有するInGaAs/GaAsP多重量子井戸を有機金属気相エピタキシャル成長(MOVPE)を用いて成長し、フォトルミネッセンス、XRD、TEMにより評価解析した結果について述べている。さらに、格子歪みが太陽電池としての電圧電流特性と量子効率特性にどのように影響するかが比較検討されている。

第4章は"Strain-balanced stepped quantum well solar cell"と題し、量子井戸太陽電池のキャリア取り出し効率を高める独自の「階段ポテンシャル構造」を提案するとともに、その特性を理論、実験両面で論じている。まずInGaAs/GaAsP量子井戸にGaAs階段層を導入してキャリア取り出しを向上する考え方について述べ、GaAs階段層入りの量子井戸構造を実際に成長して、それが結晶品質に与える影響をXRDと原子間力顕微鏡(AFM)で調べている。GaAs階段層によるキャリア離脱の促進効果が時間分解PL、温度依存PL、バイアス依存PLにより評価されている。さらに、歪み補償量子井戸と階段ポテンシャル量子井戸太陽電池の電圧電流特性、量子効率を測定評価している。

第5章は"Effect of GaAs step layer thickness on the optical characteristic of quantum well solar cell"と題し、前章の階段層の層厚依存性を論じている。井戸内での再結合寿命および再結合損失を、時間分解PLとバイアス依存PLで調べた後、井戸内再結合と階段層厚との関係を求めている。その結果、階段ポテンシャル量子井戸内の再結合損失は階段層が厚くなるとともに減少することがわかり、階段ポテンシャル量子井戸が短絡電流の増加に効果的であることを明らかにしている。

第6章は"Deep MSQW solar cell"と題し、階段層をInGaAsとGaAsの二段階で構成することにより、井戸層にさらにインジウム組成の高い、従ってより狭禁制帯幅のInGaAs層を用いることができることを提案し、実験で有効性を検証したことについて論じている。InGaAs/GaAsP量子井戸におけるインジウムの拡散は、障壁層をInGaAsP化し、特性劣化に繋がることが明らかになった。これを防ぐためにも、階段層にGaAsを挿入する必要があることが示された。

第7章は結論であって、得られた成果を総括するとともに将来展望について述べている。

以上のように本論文は、III-V族化合物半導体単結晶多接合太陽電池のミドルセルとしての量子井戸太陽電池に着目し、InGaAs井戸層とGaAsP障壁層の間に中間層を挿入する階段ポテンシャル構造を提案し、その光電変換特性の解析を通じて、短絡電流とフィルファクターを同時に増加させることができることを明らかにしたもので、多接合太陽電池のさらなる高効率化に寄与するものであり、先端学際工学分野への貢献が大きい。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。