

審査の結果の要旨

氏名 洪肇佑

本論文は、「Use of Erbium for Enhancement of GaAs Based Solar Cell Performance (GaAs系太陽電池におけるEr添加・化合物の利用に関する研究)」と題し、高効率な太陽電池材料として実績のあるGaAs系化合物に対して希土類元素のErを添加することにより、既存形のセルの更なる高効率化、さらには新しい原理による高効率化メカニズムを提唱するものであり、全7章からなる。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的を解説している。太陽電池の理論変換効率が単接合セルでは30%程度であるのに対し、多接合セルでは集光動作時に50%以上の高効率化が可能である。このとき、各サブセル間を電氣的・光学的に接続させるトンネル接合に求められる電氣的特性について述べている。また本論文では、Erを添加した中間バンド型GaAsの可能性を探究することも目的としている。

第2章では、本研究で用いた分子線エピタキシー(MBE)装置等の実験装置と評価法を述べている。

第3章は、GaAs(001)基板上ErAsナノドット(ND)の結晶成長の研究結果を述べている。成長温度と時間によりErAsNDの形状やサイズ、また結晶性がどのような依存性を示すかを系統的に調べている。Erのセル温度が980°Cのとき、ErAsの成長速度が0.222ML/minになり、0.7MLまた1.5ML堆積させて形成したErAsNDの結晶構造の観察を行っている。その結果、ErAsNDの自己形成成長では成長初期段階から3次元成長が進行し濡れ層が形成されないVolmer-Weber成長様式になることを明らかにした。

第4章では、前章で明らかにしたErAsNDの成長過程を基に成膜条件の最適化を進め、面内密度 $5.5 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$ の高密度化を達成し、またErAsNDが高い電気伝導率を有することを示した。このような高密度のErAsNDを埋込んだ p^+-n^+ GaAsトンネル接合(TJ)を作製した結果、1000倍集光レベルの電流が流れる条件でのTJにおける電圧損失は30mV程度と世界トップレベルの低い値であり、本手法を現在の多接合セルに適用することで高効率化が見込めることを示した。

第5章では、ErをドーピングしたGaAsとAlGaAs単結晶薄膜の作製及び光物性の評価についてまとめている。Er³⁺イオン特有の発光特性フォトルミネッセンス(PL)法を用いて調べ、MBE成膜時のErのセル温度を800°CでドーピングしたGaAs薄膜からのPL発光強度が最も強くなるとした。

第6章では、前章で求めたGaAs材料へのErドーピング特性のデータを基に、中間バンド型太陽電池への適用を研究している。中間バンドセルの動作を実証するためには、Erドーピングにより形成される中間バンド(IB)から伝導帯(CB)への光吸収(太陽光の赤外

光)による遷移及び電流の検出を観察することが必要となる。本論文では、赤外光の照射の有無による外部量子特性の差 ΔEQE の温度特性を測定・解析し、IB から CB への光遷移が生じていることを示唆する明瞭な信号を得た。また信号のピークが、 Er^{3+} イオン内の遷移エネルギーの 1500nm に一致することを明らかにし、現段階では遷移レートがまだ低いものの、将来の中間バンド型太陽電池の材料となり得ることを示した。

第 7 章は、結論であって、本研究で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、高効率な太陽電池材料として実績のある GaAs 系化合物に対して希土類元素の Er を添加することにより、(1)多接合セルに欠かせないトンネル接合の低抵抗化を可能とする ErAs ナノドット、また(2)従来にない新しい中間バンド太陽電池材料として Er ドープ GaAs 薄膜の可能性を提案した。本論文の研究成果は、先端学際工学、特に太陽光発電分野、単結晶材料評価技術分野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。