

審査の結果の要旨

氏名 ユヘコ ベーニス メー フェタルペロ

本論文は、「Role of homogeneous luminescent coupling effect in III-V based multijunction solar cells (III-V 族多接合太陽電池におけるルミネセンス結合と均質化の効果)」と題し、III-V 化合物多接合太陽電池における各サブセルの動作状態、特にサブセル間のルミネセンス結合の面内均一性のセル温度、集光倍率の依存性を明らかにし、均一性を高めることにより、多接合太陽電池の変換効率の向上を図る研究成果を英文でまとめたもので、全7章より構成されている。

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。太陽電池の理論最大効率を与える Shockley-Queisser モデルに基づき、単接合型では 30%程度の効率になるのに対し、多接合タンデム型では集光動作時に 50%以上の高効率化が可能である。このとき、各サブセルの電気特性を個別に抽出し、セルの設計にフィードバックできることの重要性について述べている。

第2章では、多接合太陽電池で観測される特有のルミネセンス結合についてより詳細に解析し、特に集光動作時の特性にどのような影響を与えるかを論じている。サブセル間のルミネセンス結合が多接合太陽電池全体の特性に影響することを、結合係数を導入して解析している。また多接合太陽電池の評価解析技術の先行研究例と比較しながら本研究で用いた Laser Beam Induced Current (LBIC) 等の評価法の特徴、優位性を論じている。

第3章では、InGaP/GaAs/Ge 多接合太陽電池の LBIC 測定・評価を行い、GaAs ミドルセルから Ge ボトムセルへのルミネセンス結合が面内で不均一であること、特にセル周囲の再結合損失の増大がセル周囲部におけるルミネセンス結合を小さくしている主な原因であること、またセル温度が上昇すると不均一性が小さくなること、などを明らかにした。ルミネセンス結合の面内不均一性を改善することにより、高倍集光動作時に、1.4%程度の高効率化が期待できるとしている。

第4章では、InGaP/GaAs/Ge 多接合太陽電池のエレクトロルミネッセンス(EL)、フォトルミネッセンス(PL) 評価を行い、ルミネセンスの面内均一性とそのバイアス電圧依存性を調べている。バイアス電圧の増大に伴い InGaP トップセル内の発光が増大し、GaAs 下部セルへのルミネセンス結合の他、表面からの損失が増大することが面内ルミネッセンスの不均一性の増大につながっているとしている。

第5章では、前章で得られたルミネセンス結合の効果や面内不均一性の結果を基に、電流整合条件を調整して高効率化を図るための検討を行っている。具体的には、InGaP/GaAs/Ge 多接合太陽電池周りの側壁を atomic layer deposition (ALD) 法で蒸着させた Al₂O₃ 薄膜でパッシベーションした結果、2.5V 前後の実際の駆動バイアス電圧条件におけるルミネセンスの面内均一性が、パッシベーション保護をしていないセルと比較して約 37.5%改善されることを示した。これにより変換効率も約 1.18%の増大が得られている。

第6章では、多接合太陽電池における電流整合条件を微調整するためのもう一つのアプローチとして、トップセル上にコロイド量子ドット発光体を分散させて、直接 GaAs ミドルセルへ光を伝搬させる方法を検討している。

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、多接合太陽電池の新しい評価・解析法を提案したもので、ルミネセンス結合の面内均一性の改善、及び各サブセル間の電流整合条件の微調整を図ることにより、高効率化が可能であることを明らかにした。このことは特に集光型セルの最適設計の際にルミネセンス結合を考慮することで更なる高性能化が期待できることを示唆している。本論文の研究成果は、先端学際工学、特に太陽光発電分野、計測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。