

## 論文の内容の要旨

論文題目 内部発光効率解析に基づく宇宙用III-V族太陽電池の高性能化に関する研究  
氏名 中村 徹哉

宇宙機に欠かすことのできない宇宙用太陽電池は、主にロケットによる輸送制約から、小型かつ軽量であることが求められる。これらの性能要求は、寿命末期におけるエネルギー変換効率向上によって実現される。寿命末期の変換効率を高めるためには、初期の変換効率向上に加え、放射線耐性を高める必要がある。

初期効率を向上させる方法はいくつか考えられる。現在、宇宙用太陽電池はInGaP/GaAs/Ge 3 接合太陽電池が主流であるが、太陽電池の接合数を増やすことで変換効率向上が可能である。しかし、本論文では接合数を変えずに変換効率を向上させる方法、つまり理論限界に変換効率を近づける方法に焦点を当てる。この場合、変換効率を向上させることと、理論限界効率からの損失を低減させることは同義である。したがって、高効率化においては、理論限界効率からの損失量・損失発生要因・損失発生領域を定量的に評価し、それらの知見を太陽電池設計にフィードバックすることが最も重要となる。そのため、第一に、太陽電池を対象とした損失の定量解析手法の開発が必要である。

損失の定量解析手法は放射線耐性向上に対しても有効である。放射線によって導入された欠陥は理論限界効率からの損失量を増やす働きをする。したがって、放射線欠陥による損失量・損失発生領域を解明することで、放射線耐性向上へフィードバックが可能となる。

本論文では、特に損失の大部分を占める非発光再結合損失に着目する。非発光再結合特

性を直接測定が可能な発光再結合特性を介して定量的に解析することで、理論限界効率からの損失の定量化を目指す。更に、非発光再結合の解析手法を用いて、非発光再結合損失を低減させる太陽電池構造とその効果を定量的に明らかにし、寿命末期の変換効率向上実現への有用な指針を得ることを目指す。

本論文は全 7 章と付録から成る。以下に各章の概要を述べる。

第 2 章では、ショックレー・クワイサー限界、外部発光限界、内部発光限界について、各モデルの理論と仮定を整理し、これらの理論限界値と現状の太陽電池の変換効率の差である損失を実験的かつ定量的に得るための方法を述べる。具体的にはエレクトロルミネッセンス (EL) 強度および外部量子効率 (EQE) の定量計測の重要性について述べる。

第 3 章では、世界最高水準の宇宙用 3 接合太陽電池について、EL 強度および EQE の定量計測による、外部発光限界からの損失の定量化を行う。また、損失の要因を分離するため、内部発光限界からの損失と比較を行う。比較結果から、非発光再結合損失と光学的な損失をそれぞれ明らかにする。さらに、実験的に得られた内部発光効率を再結合レート式から導出した AB モデルを用いて解析することで、非発光再結合損失が生じている領域の特定を行う。解析の結果、世界最高水準の宇宙用 3 接合太陽電池においては、非発光再結合損失は空乏領域の非発光再結合中心密度に大きく依存していることを明らかにした。

第 4 章では、非発光再結合寿命に関する放射線損傷効果について述べる。第 3 章で提案した AB モデルを応用して、放射線照射前後の空乏領域と中性領域の非発光再結合寿命を求める。照射前後の寿命を比較することで、宇宙用 3 接合太陽電池における主要な出力低下要因である電圧劣化について領域別による影響を述べる。また先行研究で報告されている放射線欠陥種と比較を行い、領域別で非発光再結合中心として機能している欠陥種について議論する。

第 5 章では、空乏領域の非発光再結合損失の低減方法について議論する。具体的には、空乏領域に多重量子井戸 (MQW) 構造を挿入する方法と、pn 接合をヘテロ構造化する方法について述べる。MQW 構造では、局所領域におけるキャリアの閉じ込め効果により、非発光再結合レートに対する発光再結合レートを高め、実効的な非発光再結合損失を低減できることを示した。ヘテロ pn 接合構造では、空乏領域の一部を真性キャリア密度の低いワイドバンドギャップ材料内に形成することで、空乏領域における実効的な非発光再結合レートを低減できることを示した。

第 6 章では、第 3 章から第 5 章で得られた知見をまとめ、寿命末期の変換効率を向上させるための太陽電池構造について提言を行う。

第 7 章では、本研究の総括を行う。