

論文審査の結果の要旨

氏名 朱 琳

本論文 (Effects of non-radiative recombination loss on multi-junction tandem solar cells) は以下の 6 つの章からなる。

第 1 章 Introduction

第 2 章 Principle and Methods

第 3 章 Impact of Subcell Internal Luminescence Quantum Yields on Energy Conversion Efficiencies of Double Junction Tandem Solar Cells

第 4 章 Impact of Subcell Internal Luminescence Quantum Yields on Energy Conversion Efficiencies of Multi-Junction Tandem Solar Cells

第 5 章 Absolute Electroluminescence Measurement and Subcell Diagnosis

第 6 章 Experimental study of radiation-damaged triple-junction solar cells

多接合タンデム太陽電池は、何種類かのバンドギャップの異なる物質で pn 接合を形成し直列に結合した光電変換素子である。本論文は、この素子について、非輻射再結合が変換効率と最適バンドギャップ配合に与える効果を明らかにし、発光ダイオード特性から個別の pn 接合の分光感度特性、電流電圧特性を与える実験手法を編み出し、太陽電池の放射線劣化の解析に応用した実験について詳述したものである。

第 1 章では、本研究の背景となる太陽電池素子の理論的取扱いおよび開発の現状について述べた後、先行研究についての文献レビューを行い、未解決の重要な問題として、非輻射再結合の効果を解析に取り込むこと、各 pn 接合の個別分光感度特性・電流電圧特性を不定性なく求める方法を見出すこと、を始め幾つかの問題を列挙している。

第 2 章では、以上の問題がどう解決されるか、理論原則を提示している。これは、各 pn 接合を流れる電流が共通という拘束条件のもと、非輻射再結合、輻射層間結合等の効果を取り込み、最上層と太陽間での詳細つり合い方程式を解く、というものである。

現実の素子解析では、パラメーター数がたいへん多くなるため、これらを曖昧さなしに求めるには工夫が必要である。太陽電池を発光ダイオードとして用い、最上部からの輻射を絶対強度分光することで曖昧さなしにこれらを求める実験的手法について詳述している。更に、相反性関係を用いることで、各サブセル(構成個別太陽電池)の分光感度特性、電流電圧特性を得る手法についての提案を行っている。

第 3 章以降は、第 2 章で提示した理論解析および実験的な分析の手法を具体例に適用した結果について詳述している。第 3 章では最もパラメーター数の少ない 2 接合太陽電池について、非輻射再結合の量子効率を有限に置くことで、最高効率を与えるバンドギャップ配合がどのように変化するかを数値計算により議論している。先行研究と異なる点として輻射遷移による層間結合の効果で非輻射再結合率が低い場合、バンドギャップが接近した場合でも有限効率を持ち、これが非輻射再結合の効果で抑えられることを明らかにしている。

第 4 章では、計算結果を踏まえて詳細つり合いの極限で計算される太陽電池の変換効率限界が非輻射再結合によりどのように変化するかを総括的に議論している。

第 5 章は、本研究の最も優れた成果として、発光強度を絶対測定することにより極めて信頼性の高い各サブセル分光感度と電流電圧特性を実際に求め、特に電流電圧特性の和が全体の電流電圧特性に一致する結果を得ている。

第 6 章は、本研究で追及した手法の仕上げとして、陽子線照射によってダメージを受け

た宇宙用タンデム太陽電池について各サブセルの特性劣化を調べ、陽子線のエネルギーによる侵入深さとの関係について議論している。

以上、本論文の成果は半導体物理学の応用上極めて重要な超高効率太陽電池の解析についての新しい手法を与える一方、pn接合を直列接続した物理系についての電磁場まで含めた本格的な解析は本研究が最初であり、物理的な知見としても新しいものである。これをもって、博士学位論文としての価値があるものと認める。

なお、本論文第2章から第6章は、秋山英文、金昌秀、吉田正裕、望月敏光、佐藤慎太郎、金光義彦、今泉充、陳少強各氏との共同研究であるが、論文提出者が主になって理論構築、分析、実験解析を行ったもので論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。

最終試験の結果の要旨

氏名 朱 琳

成績 合格

本委員会は、論文提出者に対し平成27年1月23日、学位論文の内容及び関連事項について、口頭試験を行った。

その結果、論文提出者は、物理学特に固体物理学について博士（理学）の学位を受けるにふさわしい十分な学識をもつものと認め、審査委員全員により合格と判定した。