

Device Physics and Design of Quantum Well Solar Cells

その他のタイトル	量子井戸太陽電池のデバイス物理と設計
学位授与年月日	2018-03-22
URL	http://hdl.handle.net/2261/00078057

審査の結果の要旨

氏名 トープラサートポン カシディット

本論文は、Device physics and design of quantum well solar cells (量子井戸太陽電池のデバイス物理と設計) と題し、量子井戸太陽電池内の物理現象を理論的・実験的に解析した上で諸特性を初めて定式化し、デバイスの設計指標および最適化指針をまとめたものであり、英文9章から構成される。

第1章は序論であり、太陽電池市場の現状およびエネルギー変換の高効率化に向けた量子井戸太陽電池課題として結晶成長とキャリア回収を指摘し、本研究の目的を述べている。

第2章では、本研究に用いた実験・解析手法をまとめている。

第3章では、本研究独自の測定手法であるキャリア走行時間測定法を用いて、光キャリアの微視的ダイナミクスを調べた。量子井戸における電子と正孔の速度が電界に比例していることを発見し、量子井戸の実効移動度という概念を提案した。

第4章では、量子井戸構造の実効移動度を記述するモデルを構築した。擬似バルク近似あるいは実効移動度モデルという概念を提案し、複雑な量子井戸構造をある実効移動度を持った等価的なバルクとして考えることができることを示した。熱脱出、トンネルと熱励起援用トンネルによるキャリア輸送過程を考慮して実効移動度を定式化し、実験結果をよく説明できることを確認した。

第5章では、光キャリアの回収効率および光電流の振る舞いを実験的に調べ、それにもとづいてモデル化を行った。光キャリアの外部電極への回収において定常キャリア分布が重要な要素であることを実験およびシミュレーションで確認し、従来のモデルでは説明できなかった量子井戸の位置やバイアス光の影響を定量的に説明した。さらに、これらの結果をもとにキャリア回収効率を定式化した。

第6章では、エレクトロルミネッセンス (EL) を用いた量子井戸の結晶品質評価手法を提案した。EL画像から量子井戸の外部発光効率と内部発光効率を求め、キャリアの非発光再結合寿命を求めた。この値は量子井戸構造の結晶品質の評価指標として用いることができ、十分な結晶品質を得るための歪み補償な

どの作製法について議論した。

第7章では、量子井戸太陽電池に適用可能な形で相反定理を一般化した。量子井戸内の擬フェルミレベル差と動作電圧におけるキャリア回収効率の関係を示すキャリア輸送の相反性と、ELと印加電圧の関係を示すに関する光子・電子の相反性を導出した。この一般化した相反定理を用いて、量子井戸太陽電池の開放電圧が量子井戸の移動度の大小に影響されないことを示した。

第8章では、第5章で議論した光電流の理論と第7章で議論した開放電圧の理論を用いて、量子井戸太陽電池の電流電圧特性を定式化した。この理論にもとづいて変換効率が正確に計算できるようになり、量子井戸構造の定量的な設計指針および結晶成長の制約を考慮した最適化手法を初めて提案した。

第9章は結論であり、上記の取り組みを総括した。

以上のように、本論文は、実効移動度や光子・電子の相反性などの概念を用いて量子井戸太陽電池の動作を記述する新たな理論を構築するとともに、キャリアの走行時間や輸送効率、発光効率などの包括的な測定・評価により理論の妥当性を検証し、光電流と電圧をともに増大させる量子井戸の定量的な設計手法を提案してエネルギー変換効率の向上指針を示したものであり、半導体デバイス物理の観点から電気電子工学に貢献するところが多大である。

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。