

審査の結果の要旨

氏名 杉本広紀

本論文は「フォトルミネッセンスイメージングを用いた太陽電池用半導体基板の品質評価に関する研究」と題し、近年、クリーンエネルギー源として注目される太陽電池の品質低下要因を明らかにするとともに、品質を高速かつ高空間分解能に診断する新評価手法の開発および実証について論じており、6章より構成され、和文で記されている。

第1章は序論であり、急速に拡大する太陽電池市場の動向と、太陽電池の品質改善に向けた最近の研究動向を概説した後、本研究の目的を明らかにしている。

第2章は「多結晶 Si 太陽電池の品質低下要因」と題し、太陽電池の中で現在最も主流な多結晶 Si 太陽電池の製造法と構造について説明し、フォトルミネッセンス (PL) を用いた品質評価の原理を説明している。そして、多結晶 Si 基板の品質低下要因の解析の結果、多結晶 Si インゴット外周部はルツボ不純物の拡散により、上部はインゴット中の不純物の偏析により、また、中央部は高密度に密集した欠陥により品質が低下していることを明らかにしている。さらに、これらの欠陥は結晶成長方向に伸びる筒状の形状を有し、亜粒界に起因する転位クラスターであることを示し、転位クラスター部に軽度の重金属汚染と酸素析出物が関与して品質低下を引き起こしている結論付けている。

第3章は「太陽電池の高速品質評価法の開発」と題し、太陽電池の品質を高速かつ高空間分解能に診断するための新評価手法である PL イメージング法を提案し、装置の作製および実際の結晶 Si 太陽電池を用いて実証を行なっている。そして、コンパクトで簡便な装置で、従来法と比較して空間分解能を数十倍に細密化し、なおかつ測定時間を千分の一まで短縮できることを実証している。しかし、太陽電池製造工程初期の低品質な表面を有する結晶 Si 基板を評価する場合、キャリアの表面再結合の影響で高速かつ正確な測定が困難となることを示し、表面状態の重要性を示唆している。

第4章は「HF 水溶液浸 PL イメージング法の開発」と題し、初めに数値シミュレーションにより結晶 Si 基板の表面状態が PL 強度に与える影響について議論

している。次に、表面再結合を抑制するための様々な手法に言及し、弗酸 (HF) 水溶液の透光性および表面再結合抑制効果に着目し、試料を HF 水溶液に浸した状態で品質評価を行う HF 水溶液浸 PL イメージング法を提案している。そして、低品質な表面を有する多結晶 Si 基板を用いて実証を行い、HF 水溶液浸法を用いることで高速かつ正確な品質評価が可能であることを実験的に明らかにしている。また、基板を切り出す前のインゴットの状態でも品質評価が可能であることを示し、結晶 Si 太陽電池のすべての製造工程を診断できる技術を実現している。さらに、本手法の高速性を利用して、従来法では実現困難であった結晶品質の 3 次元評価を行い、インゴットスケールで不純物汚染や欠陥の分布を明らかにしている。そして、最後に PL イメージング法の定量化について理論的に考察するとともに、誤差は大きいが実験的に定量化が可能であることを示している。

第 5 章は「PL イメージング法による化合物太陽電池の品質評価」と題し、複数の波長の光源と適切な光学フィルタを用意することで、PL イメージングを結晶 Si 太陽電池だけでなく、次世代化合物太陽電池として注目される InGaP/GaAs/Ge 多接合太陽電池や CuInGaSe (CIGS) 太陽電池の品質評価にも応用している。これらの太陽電池は複数の異なる半導体材料が積層した構造をしているが、選択的に各層の品質評価を行うため選択励起 PL イメージング法を提案し、InGaP/GaAs/Ge 多接合太陽電池の InGaP トップ層と GaAs ミドル層、CIGS 太陽電池の CdS バッファ層と CIGS 光吸収層の品質評価を選択的に行えることを実験的に示している。また、本手法により太陽電池の直列抵抗、並列抵抗成分の分布も評価できることを明らかにしている。

第 6 章は結論であり、本研究で得られた成果を要約し、将来の課題・展望について言及している。

以上これを要するに、本論文は太陽電池の品質低下要因を明らかにするとともにフォトルミネッセンスイメージング法とそれを拡張した弗酸水溶液浸法および選択励起法を開発することにより結晶 Si 太陽電池や化合物太陽電池の各製造工程における品質評価を従来法に比して飛躍的に高速かつ高空間分解能で実現したものであり、電子工学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。