

博士論文要旨

論文題名：Cu₂ZnSn(S,Se)₄太陽電池セルの高品質ヘテロ 接合形成に関する研究ふりがな ひろにわ だいすけ
氏名 廣庭 大輔

太陽光発電システムの2020年の我が国の目標として、導入規模28GW、モジュール変換効率20%、モジュールワット単価45円が掲げられている。現在、量産化されている太陽電池では、この目標を同時に達成することは極めて困難である。そこで、理論変換効率が高く、材料が比較的安価であり、Cu(In,Ga)Se₂(CIGS)の量産化技術を応用できるCu₂ZnSn(S,Se)₄(CZTSSe)太陽電池に注目した。本研究では、CZTSSe太陽電池を量産化するために必要な高効率化技術の開発を行った。

高効率化技術の開発に先立ち、本研究で用いているCZTSSe太陽電池を評価した。その結果、CZTSSe吸収層内の様々なドナー欠陥とアクセプタ欠陥の存在、バッファ層と吸収層の界面付近の欠陥が、セル特性に大きな影響を及ぼしていることがわかった。これらが原因で、他の太陽電池と比較して、CZTSSe太陽電池の開放電圧が低くなったと推測する。以上のことから、太陽電池特性を改善するためには、吸収層自体の品質の改善、バッファ層と吸収層の界面欠陥を不活性化することを目的としたバッファ層の開発が必要であることがわかった。

高効率なCIGS太陽電池では、吸収層の高品質化のため、バンドギャップグレーディング構造が採用されている。デバイスシミュレータで、この構造の優位性を評価した結果、キャリア収集効率の改善により顕著にセル特性が向上することがわかった。

また、実デバイスの作製においては、バッファ層形成前に洗浄処理とアニール処理を加えることで太陽電池特性が顕著に向上した。特に、アニール処理を加えることによって、変換効率は3.3%向上し、CZTSSe吸収層の非輻射再結合となる欠陥の低減、キャリア濃度と正孔移動度が向上することがわかった。バッファ層と吸収層の界面の欠陥の影響を低減するために、(Zn,Mg)Oバッファ層の開発を行った結果、スパッタリングダメージとセルの表面反射の影響により特性が顕著に低下する結果が得られた。この問題を解決するために、薄いCdS層と(Zn,Mg)O層を積層したハイブリッドバッファ層を採用した。また、セルの表面反射を低減するために反射防止膜を形成し高効率化を行った。その結果、最も実績の高いバッファ層であるCdSバッファ層より、0.3%の特性改善を得た。本研究では、最終的に、世界最高レベルである変換効率11.5%を達成した。また、このハイブリッドバッファ層を用いれば、CZTSSeを高バンドギャップ化してもバッファ層との伝導帯の制御が可能であり、高い変換効率を得ることが期待できる。