

氏名・（本籍）	WANG ZHEN（中国）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	生工博甲第352号
学位授与の日付	令和元年 9 月 20 日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Study of light harvesting materials for next generation solar cells (次世代太陽電池の光吸収材料に関する研究)
論文審査委員会委員長	パンディー シャム スディル
論文審査委員	吉野 賢二
論文審査委員	飯久保 智
論文審査委員	馬 廷麗
論文審査委員	早瀬 修二

学位論文内容の要旨

PbS や Pb ハロゲン化ペロブスカイトはプリンタブル光電変換素子（プリンタブル太陽電池を含む）の光吸収層として有望であり注目されている。光吸収層は光を吸収しホールと電子を効率よく生成し、それらを安定して各電極に運ぶ。電荷の生成率、およびキャリアの移動度は光吸収層に存在する電荷トラップの密度によって左右される。本研究の目的はヘテロ界面、粒界に存在する電荷トラップの密度を低下させ、光電変換効率を上げるための指針を提案し、それを実証することである。本報告では光吸収層として赤外光電変換が可能な PbS 量子ドット光吸収層と、近赤外での光電変換が可能なハロゲン化ペロブスカイトを用いている。

第一章は光電変換素子開発の背景、光電変換素子の種類、その光電変換メカニズム、光吸収層の役割を述べている。

第二章では光吸収層として量子ドット PbS を用いた太陽電池の高効率化に関する議論を行っている。PbS は単一化合物であり、化合物の組成を変えることによって色を変える（バンドギャップを変える）ことができない。しかし PbS を量子ドット化すると量子ドットの半径を変えることによりバンドギャップを変えることができる。PbS の量子ドットを安定化させるにはその表面に単分子保護層を形成する必要がある、通常長鎖アルキル基（絶縁層）が表面を覆っている。従って PbS 量子ドットの薄膜を作製後、薄膜に光を照射すると PbS 量子ドットは光を吸収し電子とホールが生成するが、電荷は PbS 量子ドット間を十分に移動できないという問題点があったと述べている。このため、これまで薄膜を形成中、または形成後に化学反応により長鎖置換基を取り除く操作を行い電荷移動を向上させていた。しかし保護層を取り除いた後でも PbS 量子ドット間の相互作用は弱く電荷移動は満足できるレベルではなかったと述べている。早瀬研究室ではザンテ

ートを使って PbS 等の半導体を塗布—低温分解で作製する研究をしており、これをヒントにし問題を解決する提案を行っている。長鎖アルキルを有するザンテートで保護した PbS 量子ドット溶液を作製している。この溶液をスピコートし薄膜を作製の後、低温で分解させ PbS 量子ドット同士を S で架橋する方法を提案しその効果を実証している。S で架橋した量子ドット型太陽電池は従来法で作製した太陽電池よりも高い効率を示したと述べている。

第三章では上記方法をヘテロ界面に展開している。光入射方向から n 型半導体/ペロブスカイト層/p 型半導体からなる構成では n 型半導体層 (SnO₂) とペロブスカイト層のヘテロ界面に電荷トラップが生成しやすい。アルキル基を有するザンテートで n 型半導体表面 (SnO₂) を保護したのち低温加熱処理を行い、SnO₂ の表面をサルファイド化することにより SnO₂ 界面の電荷トラップの密度を下げる事ができたと述べている。この処理をした太陽電池の光電変換特性および耐久性は処理前よりも高くなることを実証できた。

第四章はペロブスカイト粒界に存在する電荷トラップ密度の減少に関する報告である。ペロブスカイトの粒界は結晶構造が途切れるところであり電荷トラップ密度が高い。これまでアミノ基、カルボキシル基をもった化合物が粒界に選択的に吸着し電荷トラップ密度が下がることが報告されている。今回新しくスクアリル基が粒界に選択的に吸着し電荷トラップ密度を減少し、光電変換効率の向上を実現したことを述べている。

第五章は全無機ペロブスカイト層の安定化と効率向上に関する。CsPbI₂Br₂ に代表される全無機ペロブスカイトは高温での高い耐久性が期待できるが室温付近では、光電変換しない相に変化するという欠点を持っていた。ザンテートを使った粒界パッシベーションにより光電変換できる相の安定化が可能となり、また粒界での電荷トラップ密度が低下し光電変換効率の向上を達成することができたと述べている

第六章はこれらをまとめている。太陽電池の光吸収層の粒界、ヘテロ界面での電荷トラップ密度を低下させることにより、光電変換効率の向上と耐久性向上を達成することができた。これらの技術は工業化時に有効な知見になると考えられる。

学位論文審査の結果の要旨

本論文に関し、論文審査委員から、パッシベーション方法、その効果、およびメカニズムに関する質問がなされ、いずれも著者から明確な回答が得られた。また、公聴会においても、多数の出席者があり、種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文審査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が博士 (工学) の学位に十分値するものであると判断した。