

氏名・（本籍）	GUO ZHANGLIN（中国）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	生工博甲第353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	Composition and Interface Engineering of Efficient and Stable Perovskite Solar Cells（高効率かつ安定なペロブスカイト太陽電池の組成制御及び界面エンジニアリング）
論文審査委員会	委員長 パンディー シャム スディル 准教授
	吉野 賢二 教授
	飯久保 智 准教授
	馬 廷麗 教授
	早瀬 修二 教授

学位論文内容の要旨

本論文では、高効率かつ安定性に優れたペロブスカイト太陽電池を開発するための材料開発、組成制御及び界面のエンジニアリングに焦点を当てた研究を行われたものである。

第一章では、太陽光発電技術の研究背景、ペロブスカイト太陽電池の開発状況、材料及びデバイス構造などについて紹介している。また、ペロブスカイト太陽電池の研究課題と本論文の研究目的などについて説明されている。

第二章では、ペロブスカイトの材料合成、太陽電池を製作するための試薬及び測定装置を示している。また、材料の同定及び光電変換デバイスのキャラクタリゼーションに用いた測定手法、XRD、SEM、PL、TRPL、EISなどの基本原理を紹介している。更に、ペロブスカイト太陽電池の性能評価及び原理などを記述している。

第三章では、従来のペロブスカイト太陽電池の光電変換効率を改善するために、高い導電性を有する二次元材料であるMXene ($Ti_3C_2T_x$)を用いて、ペロブスカイト吸収層のパッシベーションを行っていた。 $Ti_3C_2T_x$ の末端基がペロブスカイトの結晶核の形成速度に非常に影響することがわかっている。結果として、ペロブスカイト ($CH_3NH_3PbI_3$)の結晶サイズが増大し、結晶粒界と界面欠陥の極めて少ない薄膜が得られている。更に、MXeneの高い導電率及び電荷移動度があるため、ペロブスカイト粒界中の電荷移動が促進され、デバイスの光電変換効率は15.54%から17.41%へ向上している。

第四章では、電子収集層とペロブスカイト層の界面のエネルギー損失を減少させるために、 $SnCl_2$ 溶液を用いて、界面のパッシベーションを行っている。処理する前より、 SnO_2 電子収集層

の欠陥が少なくなり、電荷の再結合が抑制された。その結果として、全無機CsPbI₂Br₂のペロブスカイト太陽電池の性能が改善され、光電変換効率は4.73%から7.00%に大幅に向上している。また、開路電圧は1.31 Vに達し、この値は現在までに報告された無機系のペロブスカイト太陽電池の中で最も高い開路電圧であったことを示している。

第五章では、全無機ペロブスカイト構造の安定性を改善するために、ニオブイオン(Nb⁵⁺)をCsPbI₂Brペロブスカイト構造にドーピングし、安定性への影響について検討している。その結果、ペロブスカイト構造中、わずかなNb⁵⁺がPb²⁺を置換することにより、光学活性なBlack Phaseである α -CsPbI₂Br相が安定になることが分かった。また、本研究はNb⁵⁺のドーピング量についても検討された。その結果、0.5%のNb⁵⁺を加えた場合、全無機ペロブスカイト太陽電池の効率は最も高く、10.42%を達成している。更に、Nb⁵⁺のドーピングによって、ペロブスカイト層の電荷再結合が減少され、1.27 Vの高い開路電圧が得られている。

第六章では、本論文の全体的な結論及び将来の展望をまとめた。ペロブスカイト材料の結晶制御及びデバイスの各界面のパッシベーションは、電子の再結合およびエネルギー損失を減少させることがわかった。これらの手法はペロブスカイト太陽電池の性能向上及び安定性の改善に対して非常に重要であることを見出している。しかし、依然としてペロブスカイト太陽電池の長期安定性という課題がまだ残っており、高性能かつ安定性に優れた光吸収層材料の開発は今後の研究課題であることを提案している。

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、材料の合成方法、ペロブスカイト吸収層のパッシベーションの効果とメカニズム及び今後の展開などについて質問がなされ、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。