

様式 I

博士学位論文調査報告書

論文題目 Architecture design for high efficient perovskite solar cells
(高効率ペロブスカイト太陽電池のための構造デザインに関する研究)

申請者 Yang Fengjiu

最終学歴 令和 元 年 9 月
京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー応用科学専攻博士課程
修了見込

学識確認 平成 年 月 日 (論文博士のみ)

調査委員 京都大学大学院エネルギー科学研究科
(主査) 教授 大垣 英明

調査委員 京都大学大学院エネルギー科学研究科
教授 松田 一成

調査委員 京都大学大学院エネルギー科学研究科
教授 佐川 尚

(続紙 1)

京都大学	博士 (エネルギー科学)	氏名	Yang Fengjiu
論文題目	Architecture design for high efficient perovskite solar cells (高効率ペロブスカイト太陽電池のための構造デザインに関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文では、高効率かつ高機能な太陽電池の実現を目指し、有機・無機ペロブスカイト太陽電池デバイスの構造デザインに関する研究について述べたものであり、序論 (第1章)、本文4章と結論 (第6章) より構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、本研究に至る背景、半導体の電子状態や太陽電池の基礎的な動作原理、有機・無機ペロブスカイトの構造や物性、ならびにペロブスカイト太陽電池に関する研究の現状と課題を述べた後に、本研究の目的と内容の概要について述べている。</p> <p>第2章では、ペロブスカイト太陽電池デバイスにおいて大きな課題とされている安定性の向上に関して、ポリマーを利用したペロブスカイト活性層の界面エンジニアリングの手法の詳細について説明している。最適化した厚みのポリマー層をペロブスカイト活性層とホール輸送層との界面に導入することで、活性層での欠陥形成を抑制し、ペロブスカイト太陽電池デバイスの性能劣化を著しく抑制することができることを実験的に示している。</p> <p>第3章では、ペロブスカイト太陽電池の効率や安定性に大きく関与する電子輸送層の最適化に関して、新たな電子輸送層 SnO_2 を用いたデバイスでの光電変換効率や安定性向上などの結果について示している。さらに、SnO_2 電子輸送層の特徴を生かし、フレキシブルなペロブスカイト太陽電池の光電変換性能について示している。特に、SnO_2 電子輸送層は折り曲げに対して耐久性が高く、従来の研究と比べフレキシブルペロブスカイト太陽電池の曲げ特性が大幅に向上することを実証した。</p> <p>第4章ではデバイス活性層となるペロブスカイト層を、二段階成長法と呼ばれる方法によって作製することで、平滑な表面、高い結晶性、グレインサイズの増大が可能なことを示している。これにより、21.6%の高い光電変換効率を有するペロブスカイト太陽電池デバイスを実現すると同時に、安定性を大幅に向上させることが可能であることを明らかにしている。</p> <p>第5章では、ペロブスカイト太陽電池の陽極にナノポーラス金薄膜を用いることで、電極リサイクルが可能なことを初めて実験的に示している。なおかつ、10回以上の繰り返しリサイクリングにおいても、ペロブスカイト太陽電池デバイスにおいて、高い光電変換性能を維持できることを実証している。</p> <p>最終的に第6章において本研究で得られた、高効率かつ高機能なペロブスカイト太陽電池デバイスの実現に向けた構造デザインに関する研究成果について要約するとともに、今後の研究展望について述べている。</p>			

このように本論文は、有機・無機ペロブスカイト太陽電池におけるキャリア輸送層、活性層、電極やその界面制御などの構造デザインを通して、光電変換効率のみならず安定性や柔軟性などの性能向上、さらには電極リサイクリングなど、次世代の太陽電池デバイスの高効率・高機能化に向けた成果について報告しており、実際のエネルギー応用研究に大きく寄与するものであり、博士の学位審査の請求に値すると認める。

また、修了に必要な単位を修得済みであることを確認した。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、再生可能エネルギーの有効利用に重要な役割を果たすことが期待される太陽光エネルギー利用に資する、有機・無機ペロブスカイト太陽電池デバイスの高効率・高機能化に向けた研究に関するものである。特に、ペロブスカイト太陽電池のキャリア輸送層、活性層、電極やその界面制御などの構造デザインを通して、デバイス性能の向上や新しい機能について、以下に示すような結果を報告している。

1) 活性層となるペロブスカイトとホール輸送層の間にポリマー層を導入することによる界面エンジニアリングの有用性について示し、デバイスの光電変換性能と安定性が大幅に向上すること、さらにその詳細なメカニズムを明らかにした。2) ペロブスカイト太陽電池の性能や安定性に大きく関与する電子輸送層の最適化に関して、新たな電子輸送層 SnO_2 を用いたデバイスでの光電変換効率や安定性の向上について明らかにした。特に、 SnO_2 の特徴を生かしたフレキシブルデバイスの光電変換性能と折り曲げ耐久性が、従来の研究で一般的に用いられている TiO_2 のそれと比べ大幅に向上することを実証した。3) デバイス活性層となるペロブスカイト層において、二段階成長法と呼ばれる独自の方法によって作製することで、平滑な表面、高い結晶性、グレインサイズの増大が可能なことを示した。これにより、21.6%の高い光電変換効率と同時に、安定性の向上を両立したデバイスを実現しうることがわかった。4) 金属電極としてナノポーラス金薄膜を用いることで、ペロブスカイト太陽電池の電極がリサイクル可能なことを初めて実験的に示し、なおかつ、10回以上の繰り返しリサイクリングにおいても、高い光電変換性能を維持できることを証明した。

以上のように、デバイスの構成要素であるキャリア輸送層、活性層、電極のデバイス構造デザイン、またそれらの界面制御を含む手法による新しいアプローチによって、高い光電変換効率、安定性を両立したデバイスの実現に成功し、高耐久性フレキシブル、リサイクリングなどの機能の付与など、ペロブスカイト太陽電池において新たな研究の方向性を示した。これらの研究成果は、高性能・高機能な太陽電池の実現と新たな太陽電池の設計指針を示したという工学的な意義とともに、光電変換特性の解明という基礎科学への重要な寄与を行っている。よって、本論文は博士(エネルギー科学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和元年8月23日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文の全文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日：令和 2 年 9 月 24 日以降