

戦略的創造研究推進事業 (ALCA)
技術領域(プロジェクト名)「光マネジメントによる
CO₂ 低減技術」
課題名「環境負荷の少ないペロブスカイト系太陽電池の開発」

終了報告書

a

研究開発期間 平成28年11月～令和3年9月

研究開発代表者: 若宮淳志
(京都大学 化学研究所、教授)

○ 報告書要約 (和文)

研究開発代表研究者 : 京都大学 教授 若宮 淳志

研究開発課題名 : 環境負荷の少ない高性能ペロブスカイト系太陽電池の開発

1. 研究開発の目的

カーボンニュートラルを目指した地球規模での低炭素化技術開発として、真に有用な太陽電池の開発が求められている。これまで、シリコン系太陽電池を中心に導入が進んだが、既存の太陽電池では、設置可能な適地に限られる。これまで照度の制限や耐荷重制限等により導入が困難であった場所(工場の屋根やビルの壁面、道路の法面、屋内小型デバイス用等)に、さらに太陽光発電をエネルギー源として導入するためには、軽量・フレキシブルの形状をもつ新たな太陽電池の開発と社会実装が求められる。この特性をもつ有望な太陽電池として、ペロブスカイト太陽電池が期待を集めている。しかし、現状の本太陽電池は材料に鉛が用いられており、RoHS 指令による制約をうける。広く社会に普及するためには、鉛フリーのペロブスカイト太陽電池での高性能化の実現が必要不可欠である。

2. 研究開発の概要

(1)内容:本研究では、材料化学の視点から、鉛フリー型ペロブスカイト太陽電池の高性能化に取り組んだ。独自の高純度化材料の開発とそれらの塗布技術開発、さらにはデバイス作製技術開発を行い、特色ある測定・評価技術をもつ共同研究グループと密に連携し、開発する材料およびデバイスの特性について詳細に評価を進めた。これら独自材料の開発をもとに、光電変換効率を飛躍的に向上させ、 $>15\%$ の達成に目処をつけることができた。

(2)成果:鉛フリー型材料として、Sn 系のペロブスカイト半導体に着目した。本半導体材料では、材料の Sn^{2+} 種が Sn^{4+} 種へと酸化されやすいことが、本来の特性が得られないボトルネック課題であった。これに対し、本研究では、高純度化前駆体材料の開発、塗布法(HAT法)の開発および Sn^{4+} 種のスカベンジャー法など、独自の材料や塗布成膜手法を開発した。これにより、2020年には 11.5% (認証値 11.2%)を達成した。また、これらの手法は Sn-Pb 混合型の広帯域吸収半導体材料にも展開でき、逆型構造では世界最高効率となる 23.6% の光電変換効率を得ることに成功した。

(3)今後の展開:本研究成果をもとに、さらに成膜過程での結晶成長制御を行うことで、半導体の内部の欠陥構造の低減が可能であり、また、独自の表面のパッシベーション技術を展開することで、さらなる高性能化および高耐久化が可能になるものと期待できる。引き続き、研究を進めることで、 $>20\%$ の光電変換効率の実現に向けて取り組んでいく。

○Report summary (English)

Principal investigator: Atsushi Wakamiya, Professor, Kyoto University

R & D title: Development of High Performance and Environmentally Friendly Perovskite Type Solar Cells

1. Purpose of R & D

Efficient photovoltaic systems are a key low carbon technology for achieving carbon neutrality. While photovoltaic systems are widely deployed in Japan, remaining locations suitable for conventional silicon-based PV systems are now limited. To increase the number of PV systems in nonconventional installations, such as rooftops, walls, or indoors, light and flexible photovoltaic technologies are desirable. Solar cells based on metal halide perovskites have attracted much attention as a potential candidate for these applications. The perovskites typically contain toxic lead, however, which restricts their commercial development due to the RoHS (Restriction of Hazardous Sustainable Directive). Developing highly efficient, lead-free perovskite solar cells would remove these restrictions and allow perovskite photovoltaics to compete much more effectively in the PV marketplace.

2. Outline of R & D

(1) Contents:

In this research, we focus on improving the efficiency of lead-free perovskite solar cells, with particular emphasis on developing new materials chemistry. We have developed highly purified perovskite precursor materials, as well as printing methods for lead-free perovskites. Working photovoltaics devices using these technologies have been demonstrated. The performances and characteristics of the new materials and devices were evaluated by the collaborators, providing important stimulus for further development. Based on these materials and devices, we could pave the way for achieving lead-free perovskite solar cells with over 15% efficiency.

(2) Achievements:

Our approach uses Sn-based perovskites as the semiconductor. In these materials, we find that the facile oxidation of Sn^{2+} species to form Sn^{4+} is the bottleneck issue restricting the electronic performance. To address this, we developed various methods, including highly purified precursor materials, a new printing method (HAT method), and a Sn^{4+} scavenger method, etc. Based on these, a power conversion efficiency (PCE) of 11.5% (certified 11.2%) was obtained for Sn-based perovskite solar cells in 2020. We also found that these methods were applicable for Sn-Pb mixed systems having wide ranging photo-conversion ability. We succeeded in achieving the world record for perovskite solar cells having an inverted structure, with a PCE of 23.6%.

(3) Future developments:

Based on these results, further improvements of the materials and films become possible, leading to higher efficiency and better durability of the Sn-based perovskite solar cells: 1) reduction of defects in perovskite films by control of crystal growth during the film fabrication process, 2) gain of higher open circuit voltages and current densities by passivation technologies of the perovskite film surface, etc. We will continue to study Sn-based perovskite solar cells, aiming for >20% PCE.