

未来社会創造事業 探索加速型
「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域
年次報告書(探索研究)

令和元年度 研究開発年次報告書

平成 29 年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名：早瀬修二]

[電気通信大学・インフォ・パワードエネルギーシステム研究センター・特任教授]

[研究開発課題名：Sn からなる Pb フリーペロブスカイト太陽電池の開発
／Development of Pb free perovskite solar cells consisting of mixed metal Sn
perovskite]

実施期間：平成 31 年 4 月 1 日～令和 2 年 3 月 31 日

§1. 研究開発実施体制

(1) 「SnGe ペロブスカイト太陽電池の高効率化」グループ (電気通信大学)

①研究開発代表者：早瀬修二 (電気通信大学大学・インフォ・パワードエネルギーシステム研究センター、特任教授)

②研究項目

SnGe ペロブスカイト太陽電池の粒界欠陥密度を低減させるためのパッシベーション手法を提案し、実験的に証明する。

・SnGe ペロブスカイト層 (粒界を含める) の欠陥密度をさらに減少できることを示す実験的証拠。

・SnGe ペロブスカイト太陽電池を高効率化できるエネルギーバンドアライメントを提案し (特に Voc)、それを証明する実験的証拠。

(2) 「Pb フリーペロブスカイト太陽電池の光物性と電荷分離機構の解明」グループ (電気通信大学)

①主たる共同研究者：沈 青 (電気通信大学基盤理工学専攻、教授)

②研究項目

・Pb フリーペロブスカイトの光物性評価・Pb フリーペロブスカイト太陽電池の光励起キャリアダイナミクスの評価

「Pb フリーペロブスカイト太陽電池の最適設計と動作解析」グループ (立命館大学)

①主たる共同研究者：峯元 高志 (立命館大学理工学部、教授)

②研究項目

・デバイスシミュレーションによる最適設計・実デバイスの動作解析

(4) 「Pb フリーペロブスカイト太陽電池の電子物性と耐久性」グループ (宮崎大学)

①主たる共同研究者：吉野 賢二 (宮崎大学工学部、教授)

②研究項目

・Pb フリーペロブスカイト太陽電池の電子物性・Pb フリーペロブスカイト太陽電池の耐久性

(5) 「第一原理計算、自由エネルギー計算などの計算機科学を駆使したペロブスカイト組成の提案」グループ (九州工業大学)

①主たる共同研究者：飯久保 智 (九州工業大学、准教授)

②研究項目

・SnGe ペロブスカイトの Sn 欠陥生成エネルギーが大きくなる系を提案する。

§2. 研究開発実施の概要

本プロジェクトの目標はパッシベーション技術、キャリアダイナミクス解明技術、科学計算およびデバイスシミュレーターを用いて、Ge イオンをドーブした Sn ペロブスカイト(PVK)太陽電池の結晶、粒界、ヘテロ界面の欠陥密度の低減、効率向上への指針を提案し、12%の効率を実証することである。多くの Pb-free Sn PVK 太陽電池に関する論文が報告されているが効率が低いという問題点がある。SnPVK の太陽電池の効率が低い原因として、 Sn^{2+} の欠損密度が高いこと、および Sn^{4+} イオンに起因する欠陥のため、キャリア密度が太陽電池としては非常に高く、太陽電池として有効に働くキャリア密度($10^{15}/\text{cm}^3$)をはるかに超えて $10^{20}/\text{cm}^3$ に達するためである。この高いキャリア密度を低下させるため、 Sn^{2+} よりも酸化しやすくまたペロブスカイト構造の格子に取り込まれやすいイオンサイズを持った Ge^{2+} を添加したところ、 Sn^{4+} の含有量、キャリア密度が大きく低下することが分かった。また、ジアミノエチレンを用いてペロブスカイト表面の欠陥をパッシベーションすることにより電子注入速度が増大すること(キャリアダイナミクス測定結果)、結晶格子ひずみを小さくすること(参照文献 1)、n 層/PVK/p 層のバンド構造をコントロールすることにより(デバイスシミュレーション結果)、上記問題点を解決し、世界最高の 13.2%の効率を実現し(参照文献 1、および図1)、今年(2020年)の目標である12%を達成した。太陽電池の V_{oc} loss (光電変換時のエネルギーロスの目安)は 0.9 eV から 0.39 eV まで低下させることに成功した。この値は25%の効率を有する Pb ペロブスカイト太陽電池の V_{oc} loss の 0.3 eV に迫っており、Pb-PVK 太陽電池と同等、またそれを超える高効率が期待できることを強く示唆する。今後、科学計算で得られた Sn^{2+} 欠損密度を減少させるアプローチ、デバイスシミュレーションで得られた高効率化指針(参照文献2)とこれまでの実験で得られた手法を組み合わせることにより、高効率化を狙う。

参考文献

- 1.Kohei Nishimura, et al., Nano Energy, 2020, 74, 104858.
- 2.Takashi Minemoto, et al., SOLMAT, 10.1016/j.solmat.2019.110208.

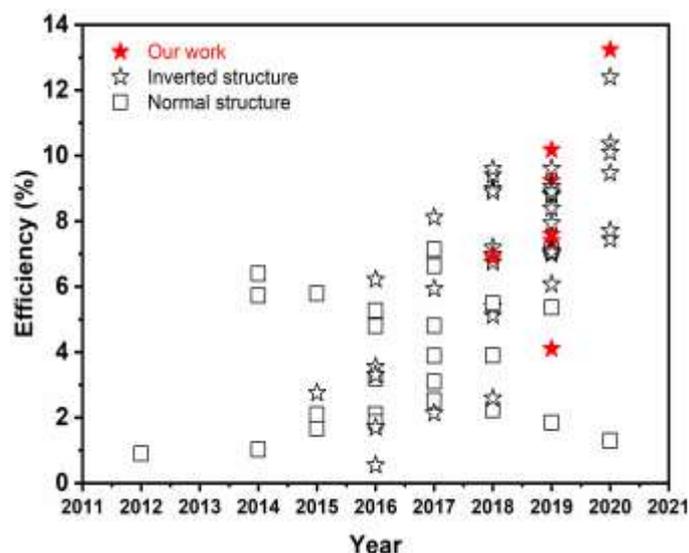


図1 Sn-ペロブスカイト太陽電池の効率向上の推移 (赤い★が我々の結果)