

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（本格研究）

令和4年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名:若宮 淳志]

[京都大学 化学研究所・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]

実施期間 : 令和6年4月1日～令和7年3月31日

## §1. 研究開発実施体制

### (1)「若宮」グループ(京都大学)

①研究開発代表者:若宮 淳志 (京都大学化学研究所、教授)

②研究項目

- ・高出力化:材料・デバイス開発
- ・高耐久化:材料・封止技術開発
- ・タンデム化:材料・デバイス開発
- ・材料・デバイスの特性評価

### (2)「早瀬」グループ(電気通信大学)

①主たる共同研究者: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、教授)

②研究項目

- ・高出力化:材料・デバイス開発
- ・高耐久化:材料・封止技術開発
- ・タンデム化:材料・デバイス開発

### (3)「大北」グループ(京都大学)

①主たる共同研究者:大北 英生 (京都大学大学院工学研究科、教授)

②研究項目

- ・光物性測定の実験
- ・材料・デバイスの特性評

### (4)「佐伯」グループ(大阪大学)

①主たる共同研究者:佐伯 昭紀 (大阪大学大学院工学研究科、教授)

②研究項目

- ・高出力化:材料・デバイス開発
- ・TRMC の測定
- ・材料・デバイスの特性評価
- ・機械学習を用いた新規材料の探索と開発

### (5)「丸本」グループ(筑波大学)

①主たる共同研究者:丸本 一弘 (筑波大学数理物質系、教授)

②研究項目

- ・ESR のオペランド測定
- ・材料・デバイスの特性評価

(6)「沈」グループ(電気通信大学)

①主たる共同研究者:沈 青 (電気通信大学大学院情報理工学研究科、教授)

②研究項目

- ・高出力化:材料・デバイス開発
- ・材料・デバイスの特性評価

(7)「飯久保」グループ(九州大学)

①主たる共同研究者:飯久保 智 (九州大学大学院総合理工学研究科、教授)

②研究項目

- ・理論計算を用いた材料探索
- ・材料・デバイスの特性評価

(8)「吉田」グループ(千葉大学)

①主たる共同研究者:吉田 弘幸 (千葉大学大学院工学研究院、教授)

②研究項目

- ・表面・界面物性測定(UPS、MAES、LIPES 等)
- ・材料・デバイスの特性評価

## §2. 研究開発成果の概要

Sn 系ペロブスカイト太陽電池の高性能化に向けて、材料開発およびデバイス構造、作製法の開発の観点から、ペロブスカイト層の欠陥密度(バルク、粒界、ヘテロ界面)およびバンドオフセットの低減の研究項目に取り組んだ(若宮 G、早瀬 G、大北 G、佐伯 G)。界面やデバイス構造の物性評価(沈 G、大北 G、佐伯 G、丸本 G、吉田 G)と理論計算(若宮 G、飯久保 G)により、材料・デバイス構造における効果と課題抽出を行い、改良へのフィードバックを行い、材料・デバイス開発研究を進めた。主な成果として、Sn ペロブスカイト層の界面( $ZnI_2$  処理)および内部(硫黄イオン処理)の欠陥低減法を開発し、15%を超える広電変換効率を得た。従来の p-i-n 構造に加えて、n-i-p 構造のデバイス作製についても検討した。電荷回収層との界面接合について、先端分光法(PL、ESR や、UPS、MAES、および LEIPS)を用いた解析と理論計算により、メカニズムの解明と課題抽出を行い、材料開発にフィードバックした。大面積塗工技術開発に向け、プロセスインフォマティクスを用いた検討を進めるとともに、独自の真空乾燥法を開発した。これにより、基板の下地の濡れ性によらず、Sn 系ペロブスカイト層の均一な成膜が可能となった。

また、独自の電子回収材料を開発し、これを用いることで Sn 系ペロブスカイト太陽電池の耐久性も向上できることを見出した。さらに、Sn 系ペロブスカイト太陽電池をボトムセルに用いたオールペロブスカイトタンデム型太陽電池を作製し 29.7%(認証値 29.26%)の光電変換効率を得た。Sn ペロブスカイト太陽電池をトップセル、CIGS をボトムセルに用いた鉛フリータンデム型太陽電池では、世界トップレベルの光電変換効率(11.5%)を得ることができた。

【代表的な原著論文情報】

- 1) C.-Y. Chen, F. Harata, R. Murdey, A. Wakamiya, “Enhanced Power Conversion Efficiency in Tin Halide Perovskite Solar Cells with Zinc Iodide Interlayers”, *ACS Energy Lett.* **2024**, *9*, 6039. (若宮グループ)
- 2) L. Wang, H. Bi, J. Liu, Y. Wei, Z. Zhang, M. Chen, A. K. Baranwal, G. Kapil, T. Kitamura, S. Yang, Q. Miao, Q. Shen, T. Ma, S. Hayase, “Exceeding 15% Performance with Energy Level Tuning in Tin-Based Perovskite Solar Cells”, *ACS Energy Lett.* **2024**, *9*, 6238. (早瀬グループ・沈グループの共著)
- 3) T. Nakamura, T. Nagai, Y. Miyake, T. Yamada, M. Miura, H. Yoshida, Y. Kanemitsu, M. A. Truong, R. Murdey, A. Wakamiya, “Single-isomer bis(pyrrolidino)fullerenes as electron-transporting materials for tin halide perovskite solar cells”, *Chem. Sci.* **2025**, *16*, 2265. (若宮グループ・吉田グループの共著)
- 4) H. Bi, Z. Zhang, T. Kitamura, G. Kapil, A. K. Baranwal, M. Chen, L. Wang, J. Liu, Q. Shen, S. Hayase, “Lead-Free Perovskite Tandem Solar Cells with Wide Bandgap Tin Perovskite and CIGS”, *ACS Energy Lett.* **2025**, *10*, 2133. (早瀬グループ・沈グループの共著)
- 5) S. Hu, J. Wang, P. Zhao, J. Pascual, J. Wang, F. Rombach, A. Dasgupta, W. Liu, M. A. Truong, H. Zhu, M. Kober-Czerny, J. N. Drysdale, J. A. Smith, Z. Yuan, G. J. W. Aalbers, N. R. M. Schipper, J. Yao, K. Nakano, S.-H. Turren-Cruz, A. Dallmann, M. G. Christoforo, J. M. Ball, D. P. McMeekin, K.-A. Zaininger, Z. Liu, N. K. Noel, K. Tajima, W. Chen, M. Ehara, R. A. J. Janssen, A. Wakamiya, H. J. Snaith, “Steering perovskite precursor solutions for multijunction photovoltaics”, *Nature* **2025**, *639*, 93. (若宮グループ・Oxford 大グループとの共著)