

2023年度（第48回）学術研究振興資金 学術研究報告

学 校 名	桐 蔭 横 浜 大 学	研究所名等		
研 究 課 題	宇宙用途に向けた高効率・高信頼性ペロブスカイト太陽電池の作製		研 究 分 野	工 学
キ ー ワ ー ド	①太陽電池、②結晶工学、③デバイス工学			

○研究代表者

氏 名	所 属	職 名	役 割 分 担
柴 山 直 之	桐 蔭 横 浜 大 学 医 用 工 学 部	専 任 講 師	研究代表

○研究分担者

氏 名	所 属	職 名	役 割 分 担
池 上 和 志	桐 蔭 横 浜 大 学 医 用 工 学 部	教 授	論文作成
宮 坂 力	桐 蔭 横 浜 大 学 医 用 工 学 部	特 任 教 授	研究に対する助言
中 村 唯 我	高輝度光科学研究センター	研 究 員	放射線実験
宮 澤 優	宇宙航空研究開発機構	研 究 員	宇宙太陽電池に対する助言
金 谷 周 朔	宇宙航空研究開発機構	研 究 員	宇宙太陽電池に対する助言

宇宙用途に向けた高効率・高信頼性ペロブスカイト太陽電池の作製

1. 研究の目的

- (1) 人工衛星に向けた高信頼性、高効率な宇宙用ペロブスカイト太陽電池を開発する。
 - ①ペロブスカイト太陽電池を宇宙用に再開発し、宇宙空間での太陽光スペクトル下において、変換効率20%を達成する。
 - ②放射線耐久性試験および熱衝撃試験を行い、変換効率維持率 95%を達成する。
 - ③高耐久性かつ高効率なペロブスカイト太陽電池モジュールを実現する。

2. 研究の計画

- (1) ペロブスカイト太陽電池モジュールを作製し、高効率化を図ることが目的である。

最終的な目標としては、モジュール向けに開放端電圧等のパラメータを最適化し、モジュール変換効率 18%を達成することである。これを達成するための現状の課題として、今期は以下の2点に取り組んだ。特に、①に関して研究を行い、宇宙用ペロブスカイト太陽電池の実現に向けて、高効率化の指針を策定することを目指した。

①ラボサイズの面積において、ペロブスカイト太陽電池の変換効率を向上させる必要がある。そのために、ペロブスカイト結晶の材料組成の再探索を行う必要があり、今年度は、A サイトに用いる1価の陽イオンであるCs、FA (Formamidinium) カチオンおよびXサイトに用いるハロゲンアニオンであるIとBrアニオンの比率を調整し、地上用よりも吸収端が短波長化した状態で、高効率なペロブスカイト太陽電池の作製を目指した。ここでは、Xサイトの比率がバンドギャップを大きく変化させるため、重要である。特に、Brの比率を増やすことで短波長化が可能となるものの、特定のI/Brの比率を用いた場合、ペロブスカイト太陽電池の特性が大きく低下することが報告されている (Seok et al., *Nano Letters*, 2013)。これは光照射により、ペロブスカイト結晶が複数の相に光相分離することが原因とされている (Hoke et al., *Chemical Science*, 2015)。そのため、I:Brの比率は85:15よりもIの比率を増やすことができないことが知られている。本計画では、光相分離を生じないIの比率を90:10に固定し、CsとFAカチオンの比率や結晶化のプロセスを最適化することで、高効率なペロブスカイト太陽電池の作製を目指した。

②デバイス内の作製と抵抗値の低減が必要である。現状では、デバイス内のペロブスカイト結晶層の面内均一性が悪いために内部抵抗が高くなり、電圧の低下が大きいと考えられる。そのため、デバイス形状の改善によって、デバイス内の内部抵抗を低減し、モジュール変換効率の向上を目指すことが目標である。

3. 研究の成果

- (1) 宇宙空間の太陽光スペクトルを模したソーラーシミュレータと同様の光量において、ペロブスカイト太陽電池 (面積: ラボサイズ) を測定し、変換効率 20.5%を達成した。ここでは、カチオン比率 (CsとFA) およびハロゲン比 (IとBr) の調整を行い、地上用太陽電池と比べ、吸収領域を短波長化させたペロブスカイト発電層 $\text{Cs}_{0.10}\text{FA}_{0.90}\text{Pb}(\text{I}_{0.90}\text{Br}_{0.10})_3$ の作製を行い、2023年度の目標であった変換効率20% (宇宙空間の太陽光スペクトル条件下と同等の光量) を計画前倒しで達成した。作製したペロブスカイト太陽電池には、耐久性の低下の原因となるMA (Methylamine) を含まず、高い耐久性が得られると見込まれる。我々は、作製したペロブスカイト太陽電池を用いて高温耐久性の調査を実施した。その結果、80℃までは変換効率が維持されることが明らかになった。一方で、目標である100℃では変換効率が大きく低下することが分かった。この原因としては、正孔輸送層に用いている低分子p型有機半導体 spiro-OmeTAD の影響であると考えられる。これらの結果は、論文投稿を行っており、査読中である。また、2024年度の計画である耐久性試験を先行して行っている。作製したペロ

ブスカイト太陽電池を封止し、X線照射放射線試験などに取り組んでいる。

- (2) 宇宙放射線に対する予備調査として、大型放射光施設 SPring-8 においてペロブスカイト太陽電池に放射線の照射試験を行った。その結果、X線に対して、組成を最適化したペロブスカイト結晶は耐久性があることが分かった。

4. 研究の反省・考察

- (1) 計画よりも研究の進捗が早く、2024 年度に取り組む予定であった耐久性などの試験に先行して着手することができた。正孔輸送材料が課題であることが明らかになった。耐久性試験をクリアするために、ポリマー系の正孔輸送材料等の検討を行い、耐久性の確保を目指す。それにより、2024 年度の計画を早期に達成することを目指す。

一方で、課題としては、多数の査読付き論文を発表する予定であったが、現在 2 報の出版にとどまっている。現在、本助成の支援を受けた 4 報の論文が査読中であるため、これらの対応を行うことで、研究成果を学界にも認められた形で対外的にもアピールしていくことを目指す。

本年度の成果として、キヤノン株式会社との共同発表を行うことができた。この成果は、日経新聞 1 面（2024 年 6 月 17 日）に取り上げられた。

5. 研究発表

- (1) 学会誌等

① Tatsuya Ohsawa*, Naoyuki Shibayama*, Nobuhiro Nakamura, Shigeto Tamura, Ai Hayakawa, Yohei Murayama, Kohei Makisumi, Michitaka Kitahara, Mizuki Takayama, Takashi Matsui, Atsushi Okuda, Yuiga Nakamura, Masashi Ikegami, Tsutomu Miyasaka, “A Phthalocyanine-Based Polycrystalline Interlayer Simultaneously Realizing Charge Collection and Ion Defect Passivation for Perovskite Solar Cells” Journal of Materials Chemistry A, Advance Article, <https://doi.org/10.1039/D4TA02491E>

② 柴山直之” ペロブスカイト太陽電池の最新動向 “，光技術コンタクト，2024，62，pp4-11.

- (2) 口頭発表

① Naoyuki Shibayama, The 11th International Conference on Molecular Electronics & Bioelectronics (M&BE11), Shimane, 2024. June 21. (ポスター発表)

- (3) 出版物

なし