



応用物理学会春季学術講演会 注目講演プレスリリース

2023年 3月 13日

ペロブスカイト/シリコンタンデム太陽電池の1000時間光耐久性
1000 h Light-Soaking Stability in Perovskite/Silicon Tandem Solar Cells

次世代の太陽電池「タンデム型太陽電池」で、 1000時間の光耐久性を実現

東芝エネルギーシステムズ株式会社 / 株式会社東芝
塩川美雪、五反田武志

【発表概要】

- ・ 光耐久性の高い初期PCE（エネルギー変換効率） 21.2%のペロブスカイト/シリコンタンデム太陽電池を開発。
- ・ ペロブスカイト/シリコンタンデム太陽電池で、紫外光をカットしない1SUNの疑似太陽光での連続照射実験を行った。
- ・ ペロブスカイト/シリコンタンデム太陽電池における、発電出力が初期値の90%になるまでに要する時間が1000時間以上（ $T_{90}>1000$ 時間以上）となる、高い耐久性を世界で初めて実現。

東芝エネルギーシステムズらの研究グループは、2端子構造のペロブスカイト/シリコンタンデム太陽電池を開発している。研究グループは、ペロブスカイトを構成するイオンの安定性を高める独自の技術を適用することで、耐久性を向上することに成功した。初期PCE（エネルギー変換効率） 21.2%のペロブスカイト/シリコンタンデム太陽電池に、紫外光をカットしない1SUNの疑似太陽光を連続照射した結果、1000時間後の劣化率は9.57%となった。これはペロブスカイト/シリコンタンデム太陽電池における、発電出力が初期値の90%になるまでに要する時間が1000時間以上（ $T_{90}>1000$ 時間以上）となる、高い光耐久性を世界で初めて実現したものである。

【詳細】

高効率・高信頼の次世代の太陽電池「タンデム型太陽電池」

世界各国政府にとって、カーボンニュートラルはもっとも優先度の高い目標のひとつである。日本の経済産業省は「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」で、2050年までに日本の発電に占める再生可能エネルギーの割合を50～60%に引き上げることを目標に掲げている（※1）。この目標を達成するためには、再生可能エネルギーの主電源化を推進する必要がある。

太陽光は再生可能エネルギー源であり、産業界では太陽光発電の技術革新が続けられている。現在、2つの太陽電池セルを重ね合わせることによって、より高いエネルギー変換効率を実現する「タンデム型太陽電池」の開発が加速している。太陽電池の高効率化と高信頼性は、発電コストを低減して社会への普及を促進するためには欠かせない。東芝エネルギーシステムズ株式会社などによる研究グループは、2端子構造のペロブスカイト/シリコンタンデム太陽電池を開発し、そのPCE（エネルギー変換効率）と耐久性の向上に取り組んだ。

同研究グループが開発を続けてきたペロブスカイト/シリコンタンデム太陽電池は、トップセルにペロブスカイト層（バンドギャップ約1.7eV）を、ボトムセルにシリコン層（バンドギャップ約1.1eV）を持つ構造だ。ペロブスカイト層で短波長光を、シリコン層で長波長光を吸収することで、より効率の良い発電を実現することができる。同研究グループが開発したペロブスカイト/シリコンタンデム太陽電池は、ペロブスカイト層によってシリコン層単体のPCE 17.3%に8.2% absを上乗せすることを実現した。「私たちが開発した2端子構造のペロブスカイト/シリコンタンデム太陽電池は、PCE 25.5%を達成しており、ボトムセルのPCEに対する上乗せポイントは世界トップレベルの数値を実現しています」と開発者らは話す。

世界初となる、1000時間の光連続照射試験を実施

同研究グループは1000時間の光連続照射試験を、開発中のペロブスカイト/シリコンタンデム太陽電池で行った。光連続照射試験で用いられたタンデム型太陽電池のペロブスカイト層は一般的な貧溶媒法で形成した。素子はガラス円筒管に封入され、疑似太陽光（AM1.5G, 1000 W/m², UVカットフィルター不使用）を連続照射した。

光連続照射試験の結果、初期PCE 21.2%の素子を用いて試験を開始し、1000時間後の劣化率は10%以下だった（図）。非常に低い劣化率を実現することができたのは、同研究グループがこれまでに行ってきた耐久性向上のための研究開発の賜物だった。ペロブスカイト層を構成するイオンのマイグレーション（拡散）が耐久性に悪影響を与えることは先行研究によって報告されており、耐久性の向上にはイオンのマイグレーションを抑制することが重要である。同研究グループはスパッタ膜（※2）の性質を使い、イオンのマイグレーションをブロックできることをこれまでに報告している。しかしスパッタは、ペロブスカイト層にダメージを与えてしまう。そこで同研究グ

ループは低ダメージスパッタを独自開発し、これを使用することでペロブスカイト層へのダメージを低減しながら、耐久性の向上を行っている。さらに、ペロブスカイト層内部において、グレインバウンダリー（※3）に存在する格子欠陥をPEAI（2-Phenylethylammonium iodide）でパッシベーション（※4）することで、イオンの安定性を高めている。「格子欠陥をパッシベーションすることでイオンのマイグレーションを防げるため、耐久性の向上につながります」と開発者らは語る。

また、光連続照射試験がUVカットフィルターを使わない評価である点も重要なことだと開発者らは話す。「タンデム型太陽電池は、ペロブスカイト層で紫外光を含む短波長光を吸収することにより発電効率を高めています。しかしペロブスカイトの場合、材料によっては紫外光で劣化する可能性もあるのです。試験による劣化を避けるために、太陽電池の外側に紫外光をカットするUVカットフィルターをつけて光連続照射試験を行う場合もありますが、今回は使っていません。つまり、私たちのペロブスカイト/シリコンタンデム太陽電池は、自然な太陽光での高効率発電と高耐久性を両立できることをこの実験では示しているのです」（開発者ら）

光連続照射試験には先行例があり、世界各国の研究機関がその結果を公表している（※5）。評価時間だけを見れば、ドイツの研究機関HZBは300時間、スイス連邦工科大学ローザンヌ校EPFLは250時間、アメリカのノースカロライナ大学では100時間、トロント大学は400時間であり、同研究は1000時間である。これらの中で、同研究と同様に初期PCE 20%以上の素子に疑似太陽光（AM1.5G, 1000 W/m², UVカットフィルター不使用）を照射した先行例は、トロント大学の400時間で劣化なしであるが、同研究でも400時間では劣化なしである。さらに、同研究は高効率化の代わりに低耐久をもたらすフッ化リチウム（LiF）を使用せず、同じく低耐久性の材料であるペロブスカイトを構成するMAイオンも低い水準を保っているため、前述のイオンマイグレーション抑制技術と組み合わせることで、長時間の光連続照射試験後の劣化率を低く抑えられた。本研究は、世界各国の研究機関を大きく引き離し、世界で初めて、1000時間で劣化率10%以内の実証試験を報告するものである。

「現在開発が加速しているタンデム型太陽電池で、世界トップクラスの実証時間、耐久性を実現できたことは重要な結果です。今後もさらなる高効率化と耐久性の向上を目指していきたいと思います」と開発者らは意気込む。高効率で高耐久性を備えた2端子構造のタンデム型太陽電池は、現行の結晶シリコン太陽電池の設備を活用することで自家発電・中規模・大規模用途への置き換え需要が見込まれ、社会を支えるインフラに応用可能な革新的技術であり、今後の開発にも期待が集まる。

【注釈】

※1 <https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012.html>

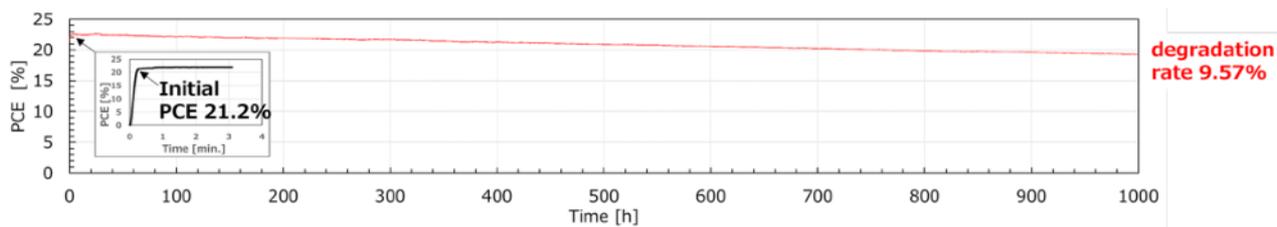
※2 **スパッタリング** 物質の表面に薄膜形成をするための物理的気相成長法（PVD）のひとつ。

※3 **グレインバウンダリー** 結晶粒界。結晶方位が異なる結晶粒がつくりだす境界のことをいう。

※4 **パッシベーション** 表面不活性化。材料の表面を安定化させること。

※5 A. A.-Ashouri et al., Science 370, 1300(2020)
F. Sahli et al., Nature Materials, 17, 820-826(2018)
B. Chen et al., Joule, 4(2020)
Y. Hou et al., Science 367, 1135(2020)

【図】



光連続照射試験 疑似太陽光 (AM1.5G, 1000 W/m², UVカットフィルター不使用) を照射して1000H後の劣化率は10%以内に収まった。初期PCEは21.2%。300H後の劣化はなし。750H後の劣化率は5.59%。1000H後の劣化率は9.57%。(T₉₅: >718時間, T₉₀: >1000時間以上)