

実装可能な超耐久性 多孔質カーボン電極型 ペロブスカイト太陽電池

兵庫県立大学 大学院工学研究科
教授 伊藤 省吾

2023年10月17日

従来技術とその問題点 (シリコン太陽電池の価格)

既に実用化されているものには、中国によるシリコン太陽電池パネルがあるが、

中国政府から企業への補助金中止が発生し、さらに人件費の上昇によりシリコン太陽電池価格の上昇

の問題があり、原子力発電所や火力発電所の代替として利用されるまでの低価格化には至っていない。

従来技術とその問題点 (シリコン太陽電池のリサイクル)

既に実用化されているシリコン太陽電池パネルは、非常に頑丈に作製されているために

リサイクル

の問題がある。予算とエネルギーをつぎ込めばリサイクル可能であるが、現状では地中に埋めるしかないと言われている。そのリサイクルできないゴミが、2040年には日本の年間ごみ総量の1.8% [=東京ドームの約2杯分]になると試算される。

従来技術とその問題点 (太陽電池のビジネススタイル)

日本の太陽光産業は中国の低価格シリコン太陽電池の前に撤退することとなった。それに対して、既にアメリカで太陽光エネルギービジネスとして実用化されているものには、印刷製法によるCdTe太陽電池があるが、

Cd(カドミニウム)に起因する公害懸念の問題があり、日本国内では広く利用されるまでには至っていない。

従来技術とその問題点 (フレキシブル薄膜型ペロブスカイト太陽電池の価格と耐久性)

別途に研究開発が進んでいるものとしては、スピンコート成膜法などによる薄膜型ペロブスカイト太陽電池があるが、

- ・ 湿度（水）に起因する劣化が発生
- ・ フレキシブル透明導電性基板のコストとガス（湿度）バリア性
- ・ 真空蒸着による金（銀）の背面電極積層のコスト高、および金（銀）とペロブスカイト結晶材料との反応劣化
- ・ 高額な有機正孔・電子輸送層（基本的に金より高額）

等の問題があり、低価格基幹電源として利用するためには大きな課題となっている。

従来技術とその問題点

(多層多孔質カーボン電極型ペロブスカイト太陽電池)

低価格・高耐久性のペロブスカイト太陽電池としては「多層多孔質カーボン電極型ペロブスカイト太陽電池」があるが、

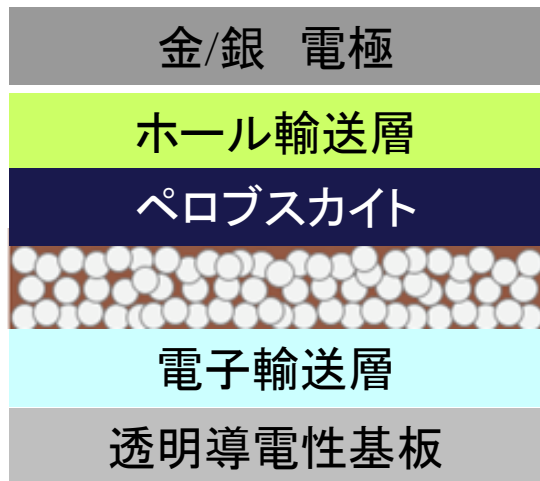
太陽エネルギー変換効率が若干低い
(20%以下)

という問題があり、高効率化が困難であり、研究者数が限られている状態である。

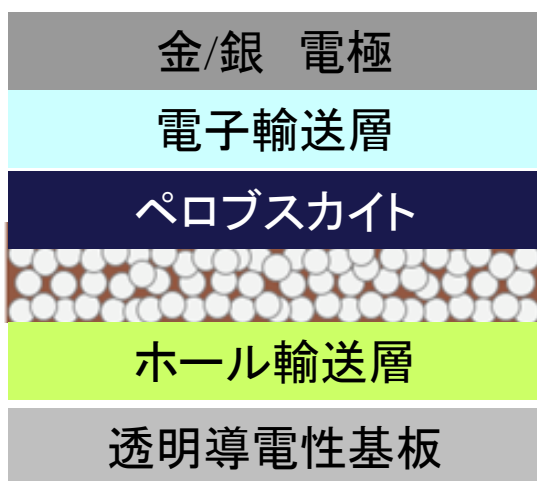
新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、「多層多孔質電極型ペロブスカイト太陽電池」の太陽エネルギー変換効率を改良することに成功した。
- 従来はモジュールを作製しても変換効率が低いという点で、研究室内での小型太陽電池の作製に限られていたが、サブモジュールで11.5%まで性能が向上できたため、実証研究を行うことが可能となった。
- 本技術の適用により、太陽電池が低価格な非真空・印刷プロセスで製造できるため、太陽光パネルのコストが1/2～1/3程度まで削減されることが期待される。

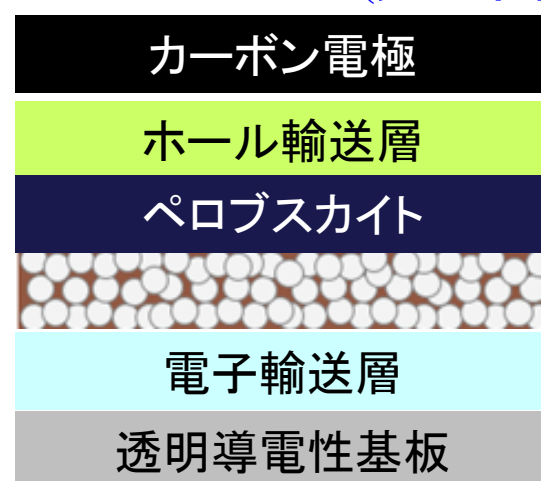
ノーマル-多孔質



逆層-多孔質



ノーマル-カーボン (完全印刷)



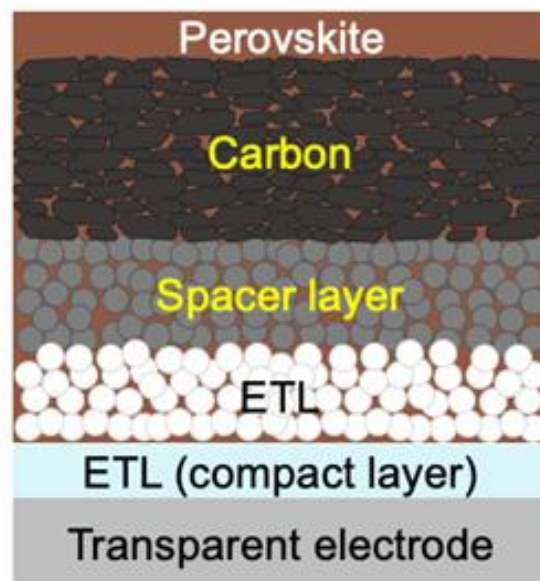
ノーマル-平滑



逆層-平滑



多層多孔質電極構造

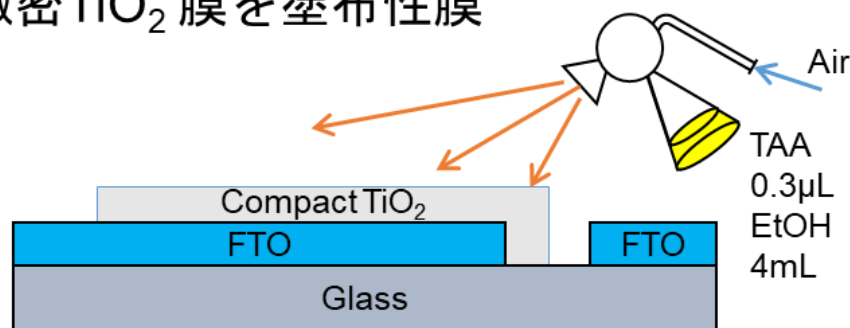


薄膜構造はフレキシブルで変換効率20%以上の高効率のペロブスカイト太陽電池が作製できますが、湿度に非常に敏感で、グローブボックスやドライルームでの作製が必要で、耐久性に問題があります。金や銀の真空蒸着による背面電極を使用するものが多いです。

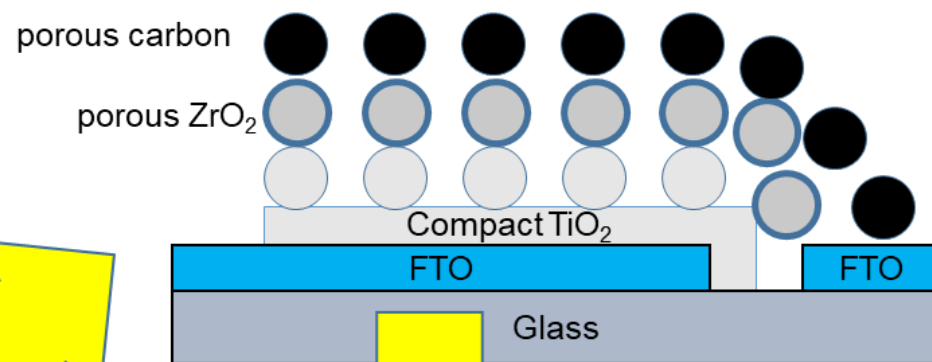
変換効率は12%程度と若干低いですが、通常大気下での作製が可能で、非常に耐久性が高いです。

多層多孔質電極構造ペロブスカイト太陽電池の作製方法 (非真空・大気下作製, グローブボックスおよびドライルームは不使用)

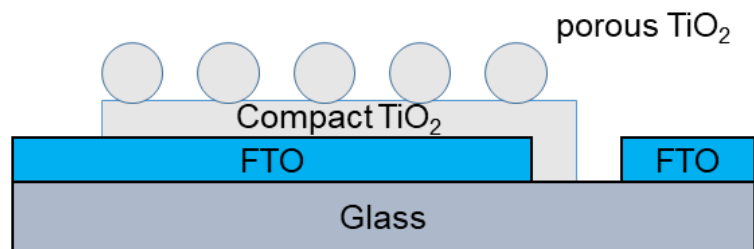
(a) スプレー熱分解法で
緻密TiO₂膜を塗布性膜



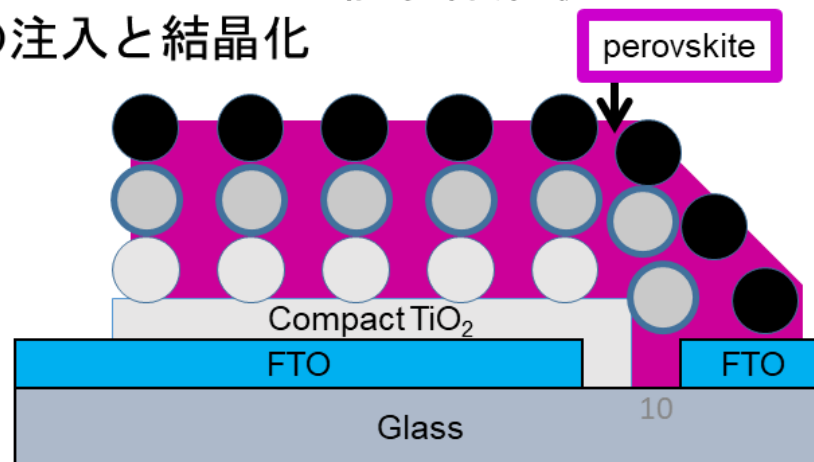
(c) スクリーン印刷による
多孔質ZrO₂のとカーボンの成膜



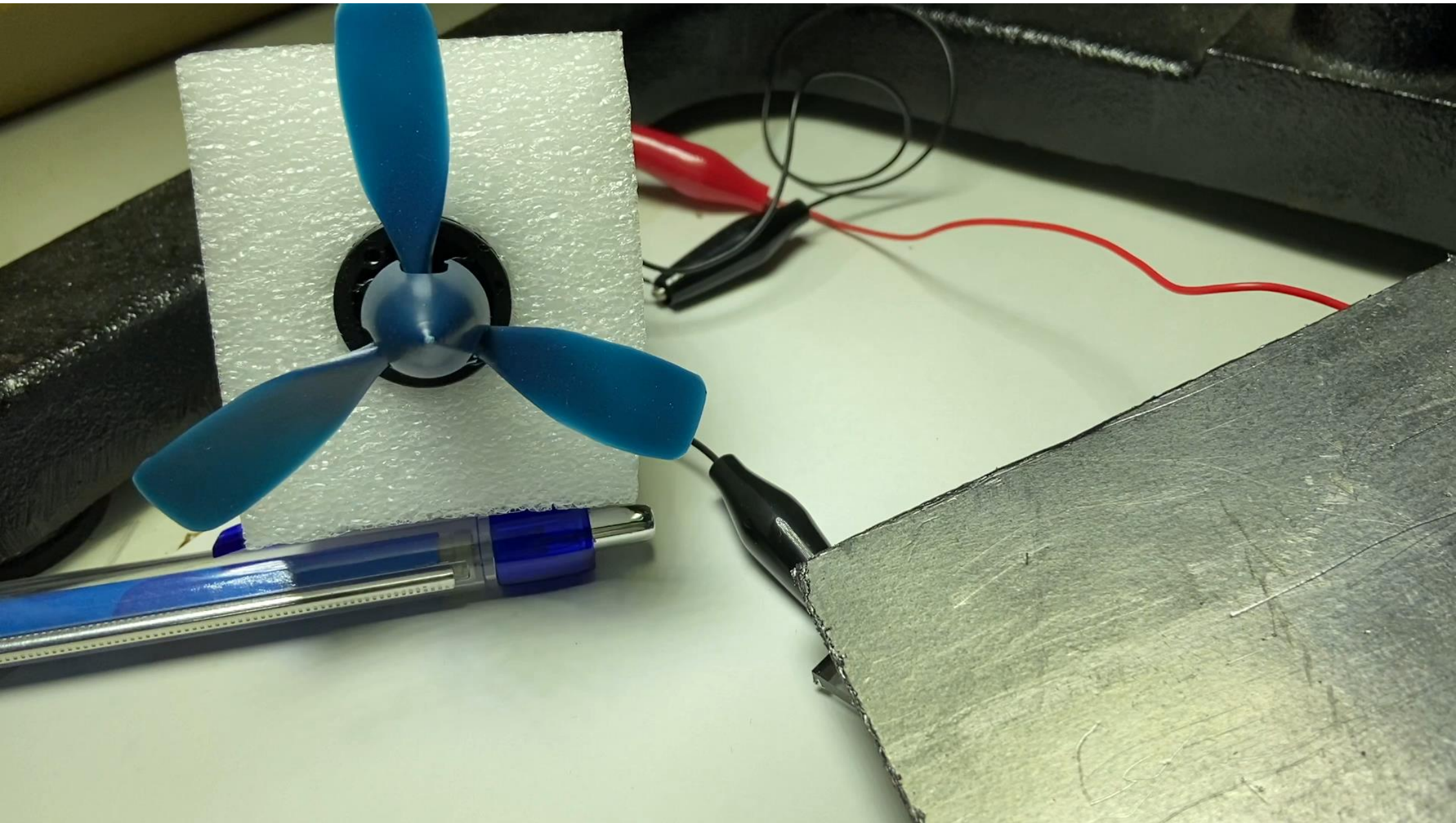
(b) スクリーン印刷による
多孔質TiO₂の成膜



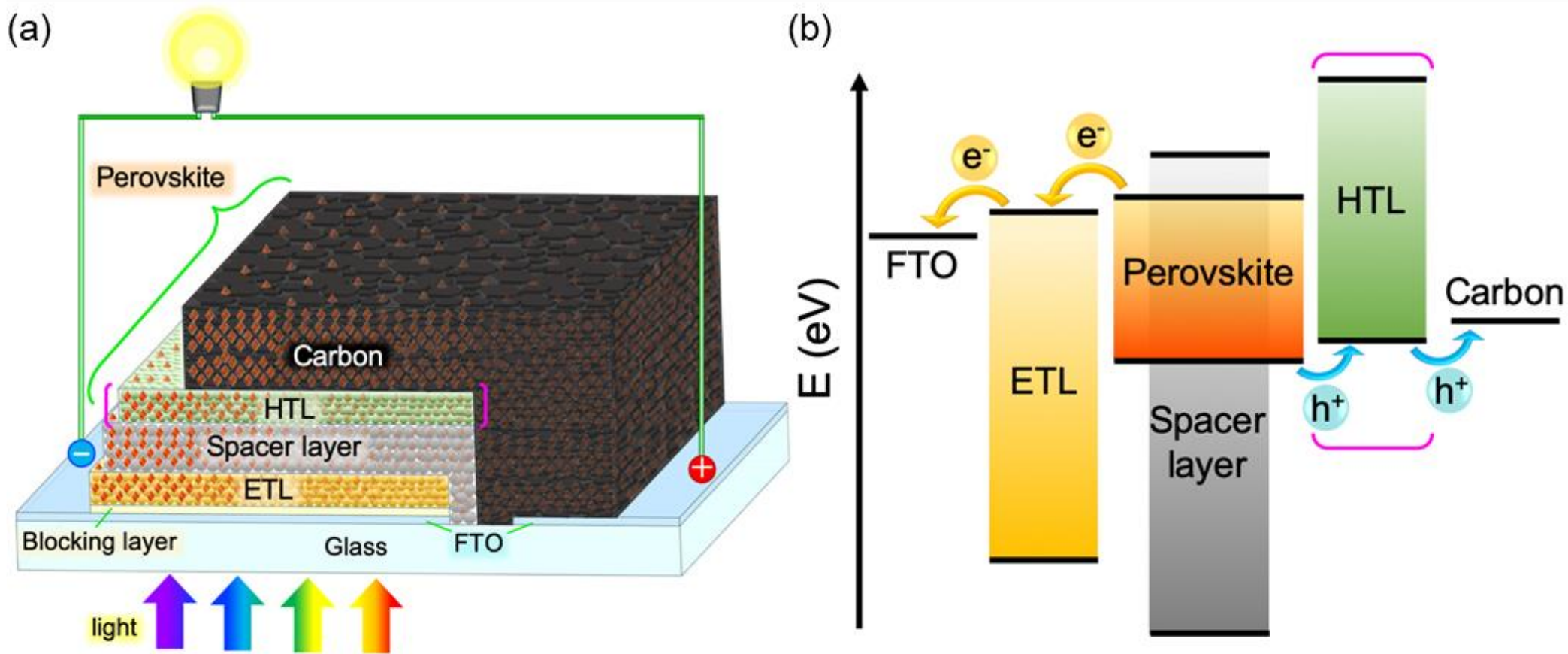
(d) ペロブスカイト前駆体溶液
の注入と結晶化



多層多孔質電極構造ペロブスカイト太陽電池の作製動画

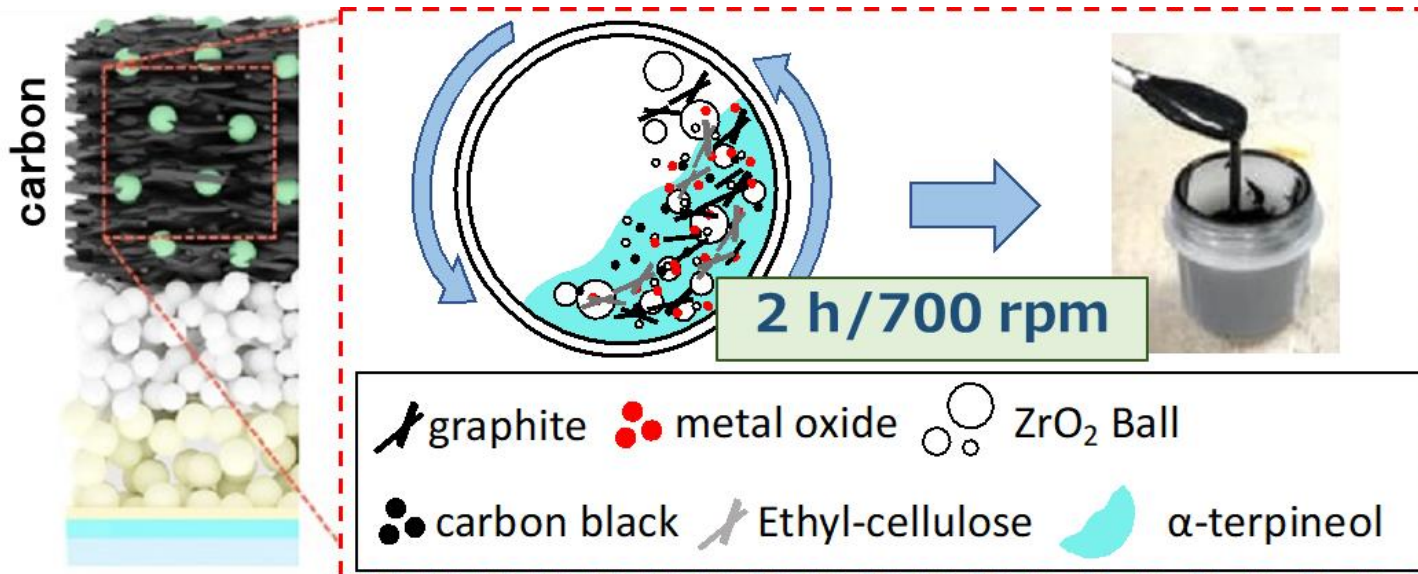


多層多孔質電極構造ペロブスカイト太陽電池の 構造とエネルギーダイアグラム



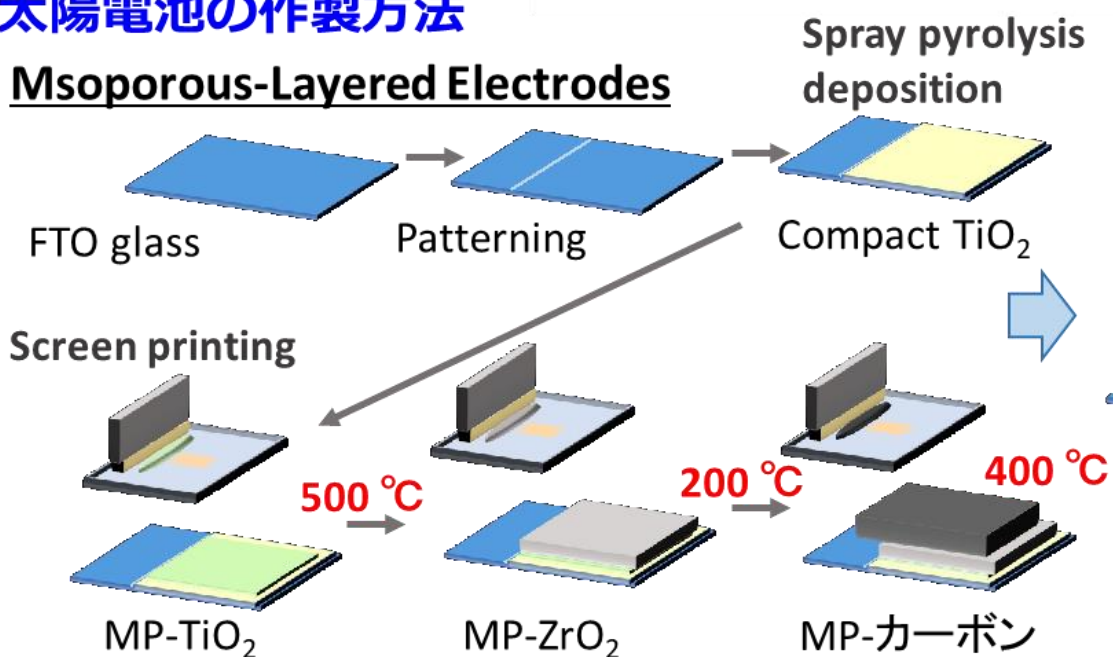
多孔質カーボン電極用の印刷インクの調合方法

ボールミルを使用し、
粉碎攪拌処理を行うことでカーボン
ペーストを作製する。

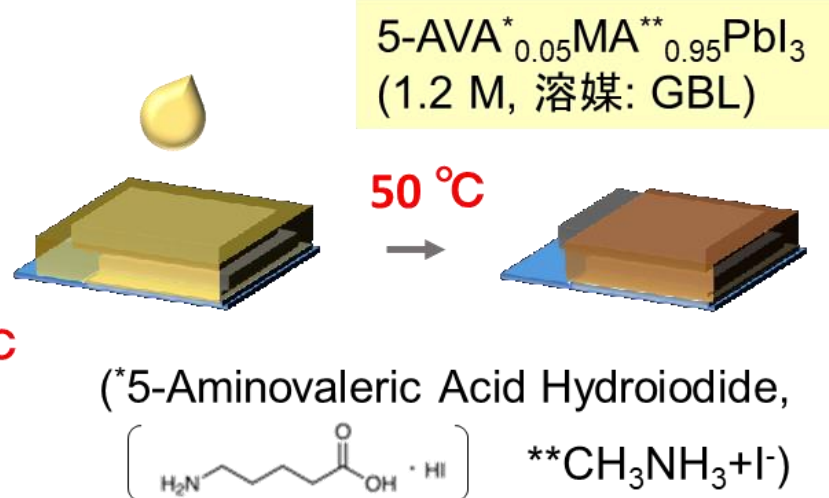


多層多孔質電極ペロブスカイト 太陽電池の作製方法

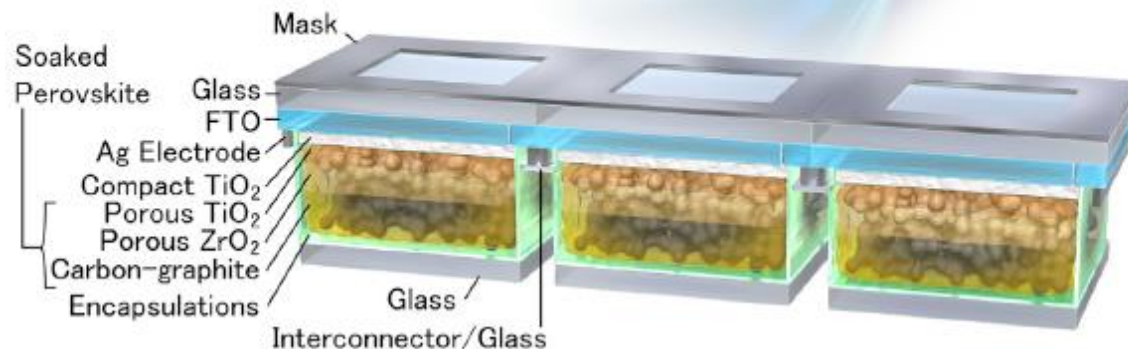
Msoporous-Layered Electrodes



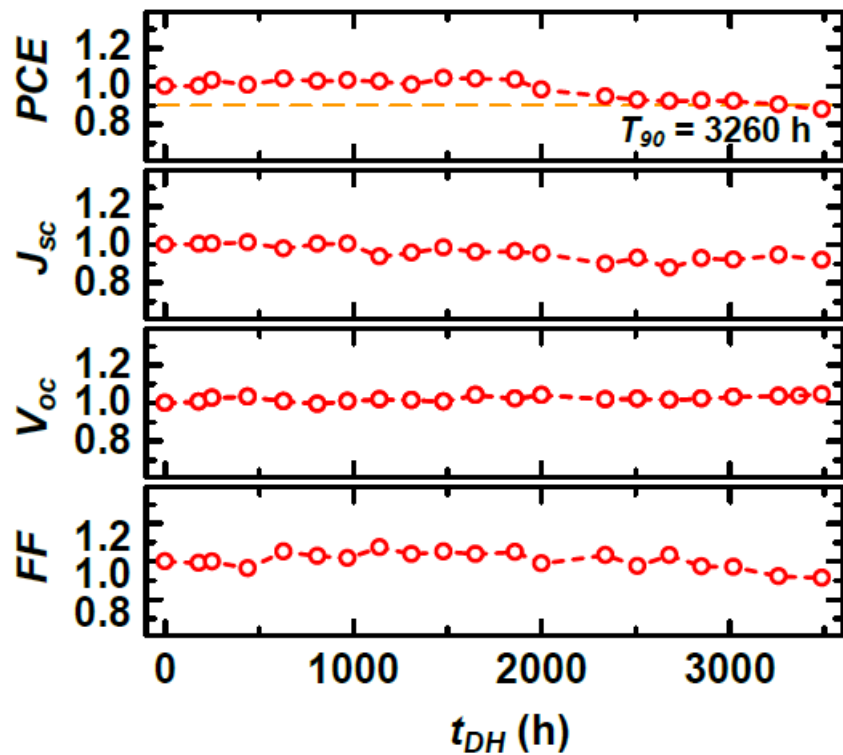
Deposition of perovskite precursor and crystallization



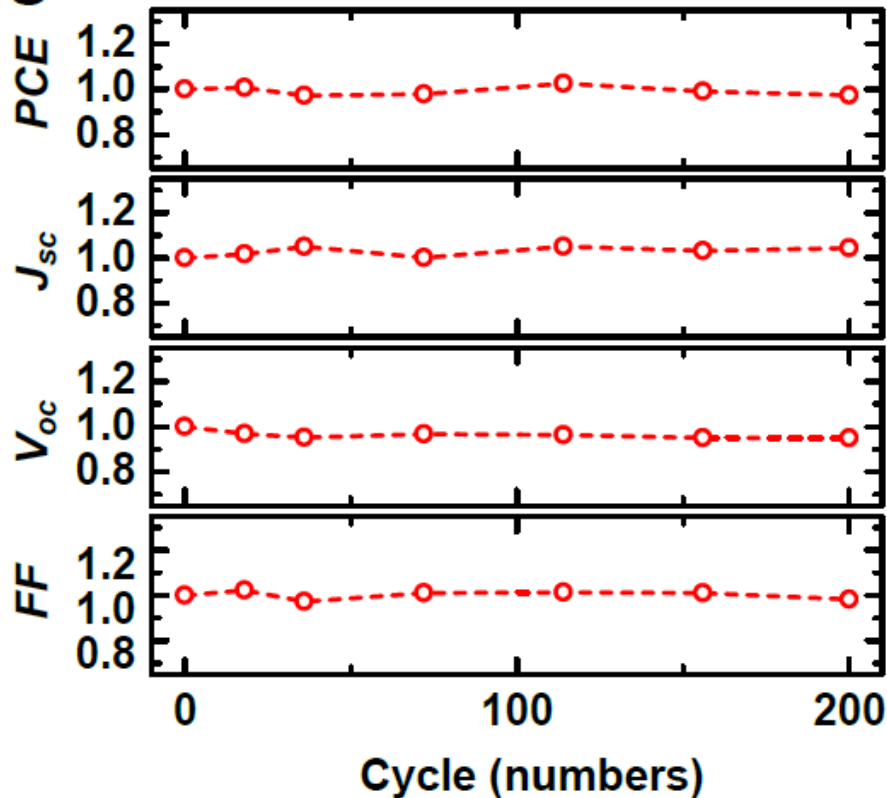
20年保証を示すことが出来る, 多層多孔質電極ペロブスカイト太陽電池の耐久試験結果



Damp-heat (85 ° C/85% RH) results.

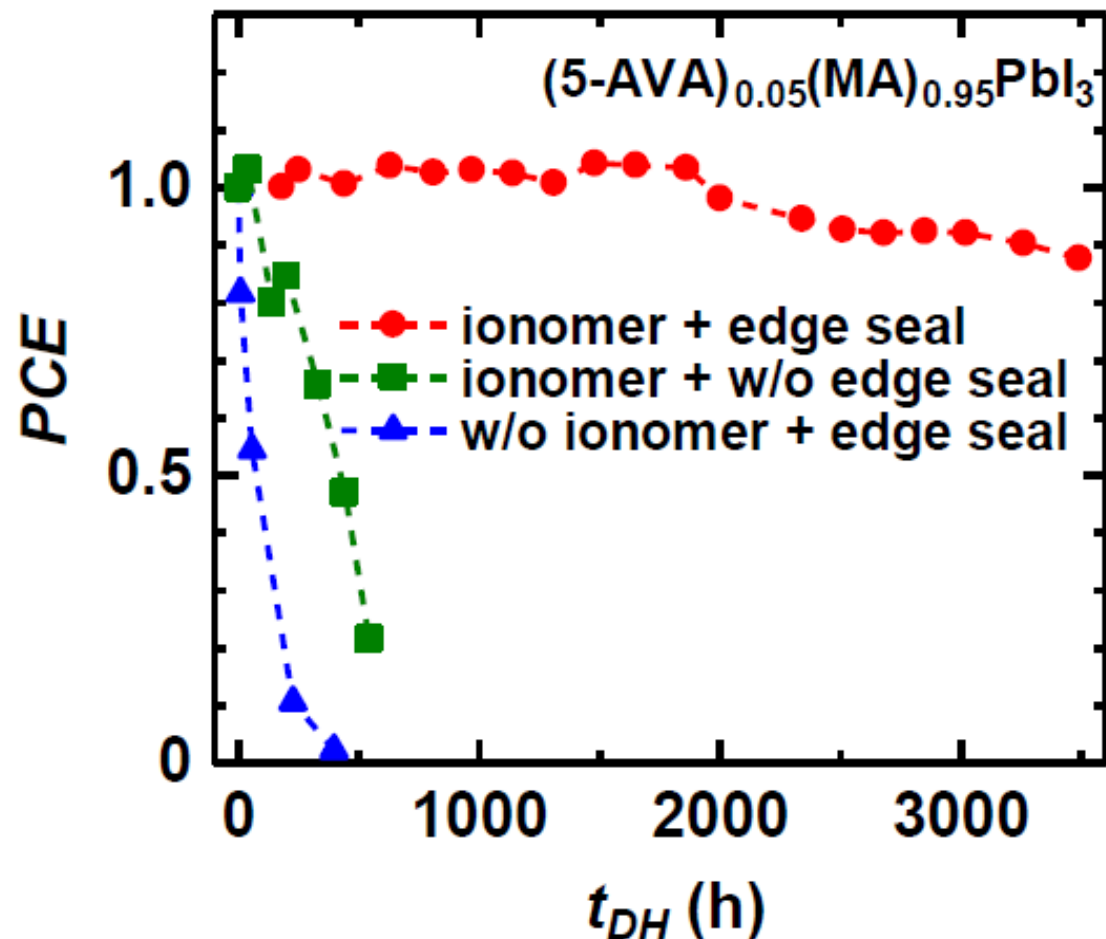


Thermal cycling (-40 ° C to 85 ° C) results.



E. Kobayashi, R. Tsuji, S. Ito *et al.*, *Cell Reports Physical Science* **2** (2021) 100648 [doi.org/10.1016/j.xcrp.2021.100648]

20年保証を示すことが出来る, 多層多孔質電極ペロブスカイト太陽電池の耐久試験結果(封止材の最適化)



Ionomer:

thermoplastic resin

Edge sealants:

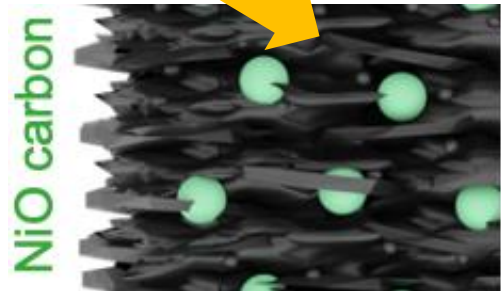
silicone potting and butyl rubber

Kobayashi et al., Cell Reports Physical Science 2 (2021) 100648
[doi.org/10.1016/j.xcrp.2021.100648]

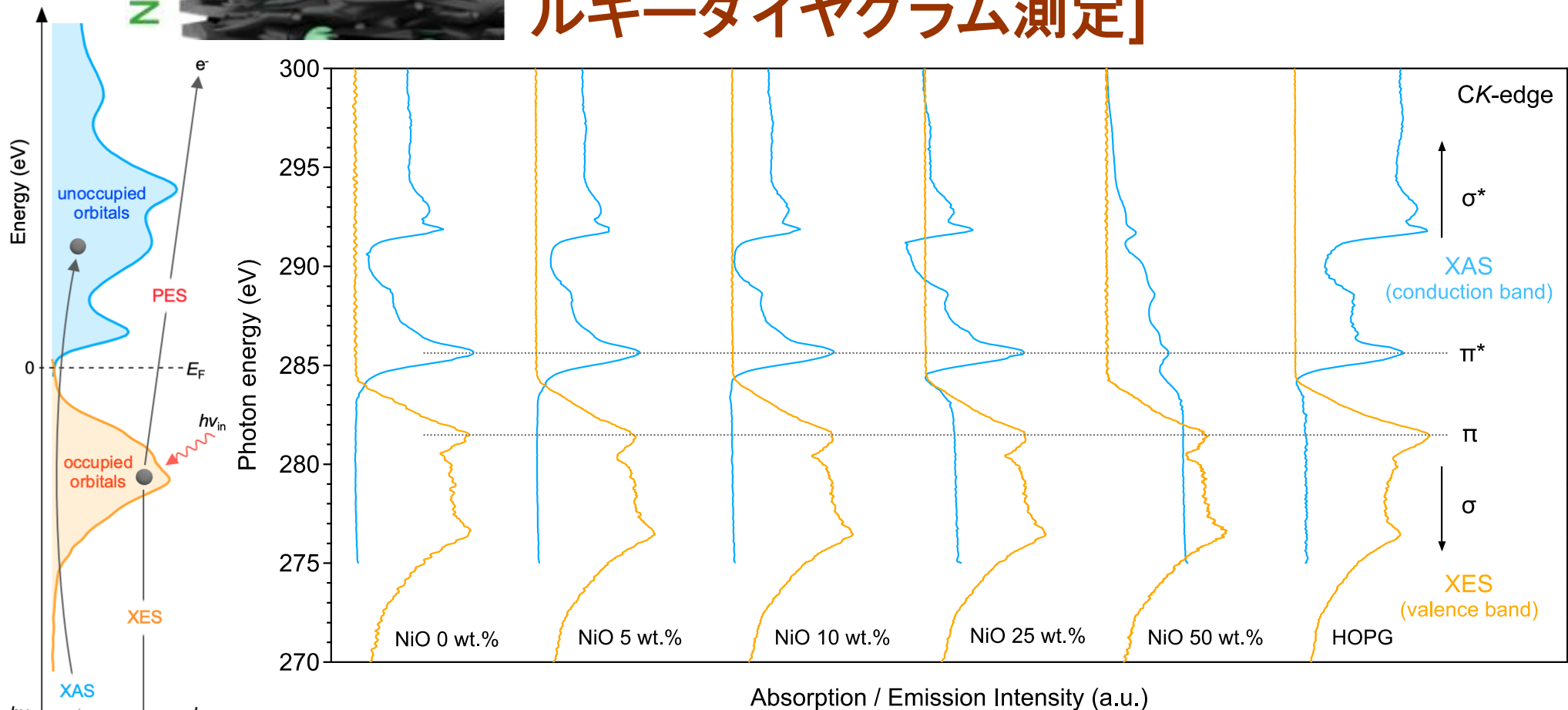


By mechanical scribing,
15 cm x 15 cm Large module in UH

X-ray

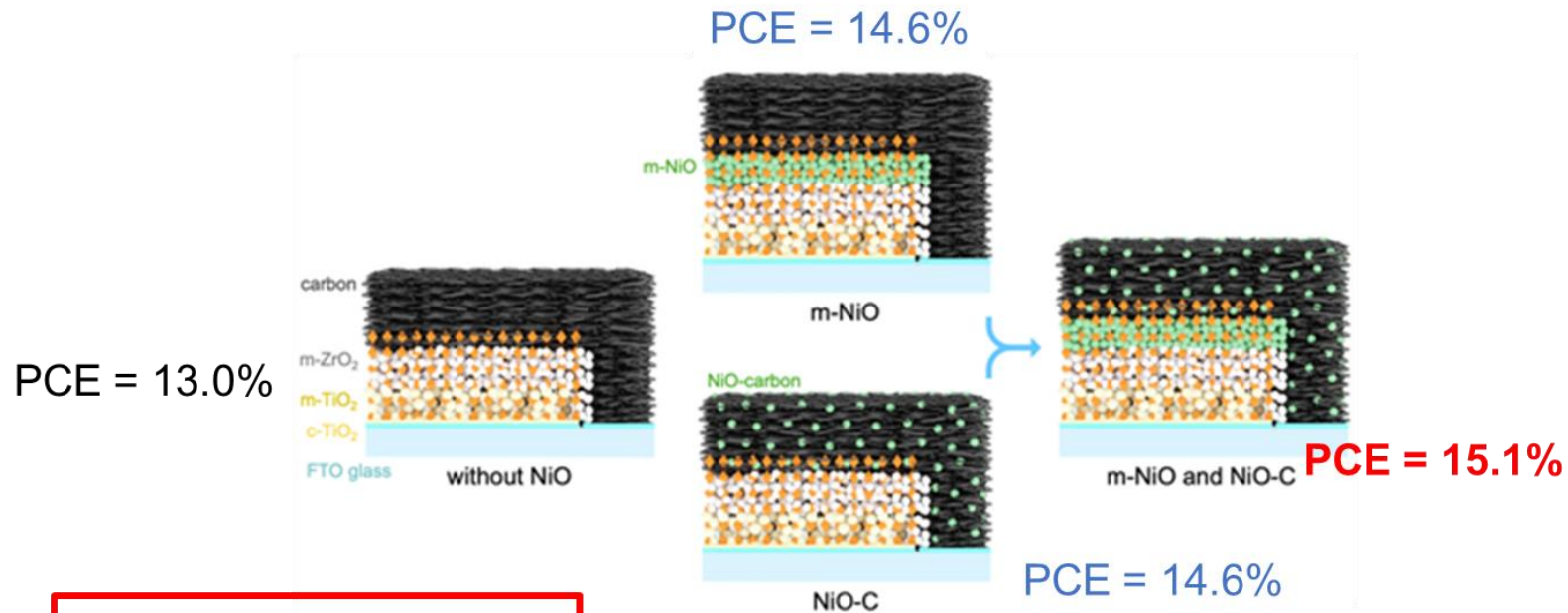


カーボンの正孔引き抜き効果を向上させるために、酸化ニッケル (NiO) を添加 [放射光によるエネルギーダイアグラム測定]



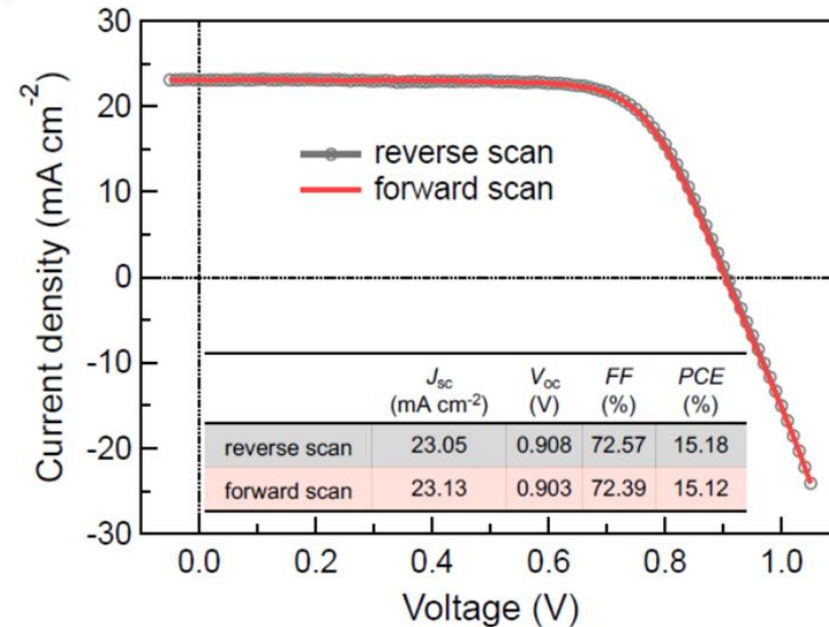
青線：空軌道エネルギー状態，橙色線：電子占有エネルギー状態
NiOをカーボンに混ぜることで，電子占有レベルに空軌道が発生し，ペロブスカイト結晶材料から正孔を引き抜く能力が向上する。

カーボンの正孔引き抜き効果を上させるために、酸化ニッケル (NiO) を添加 [太陽電池測定]



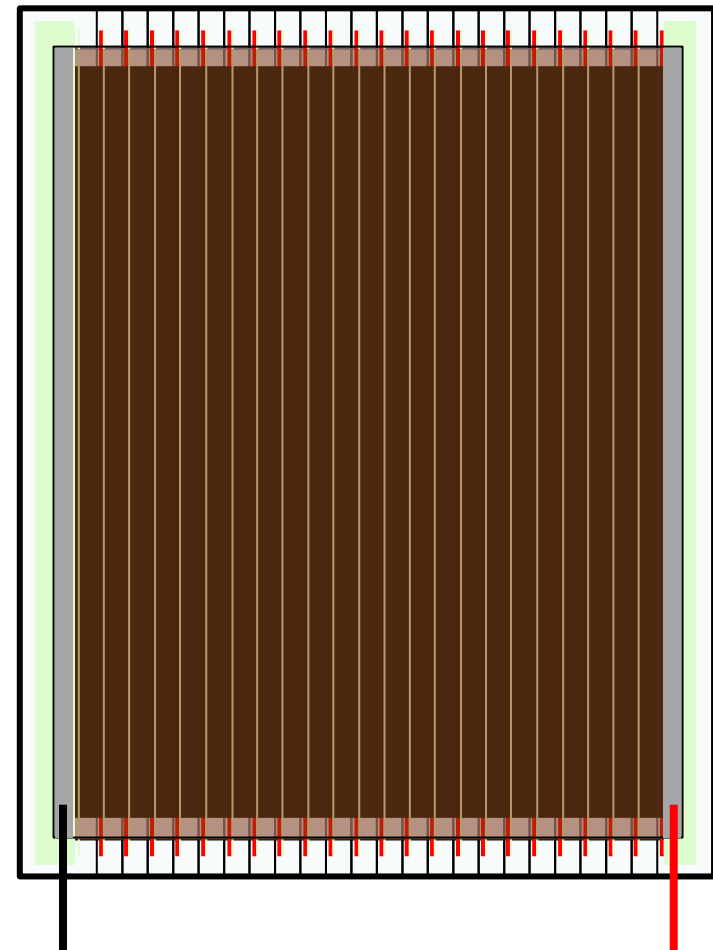
NiO on or in porous carbon

兵庫県立大学での多層多孔質電極ペロブスカイト太陽電池の最高効率: 15.1% (辻流輝博士)

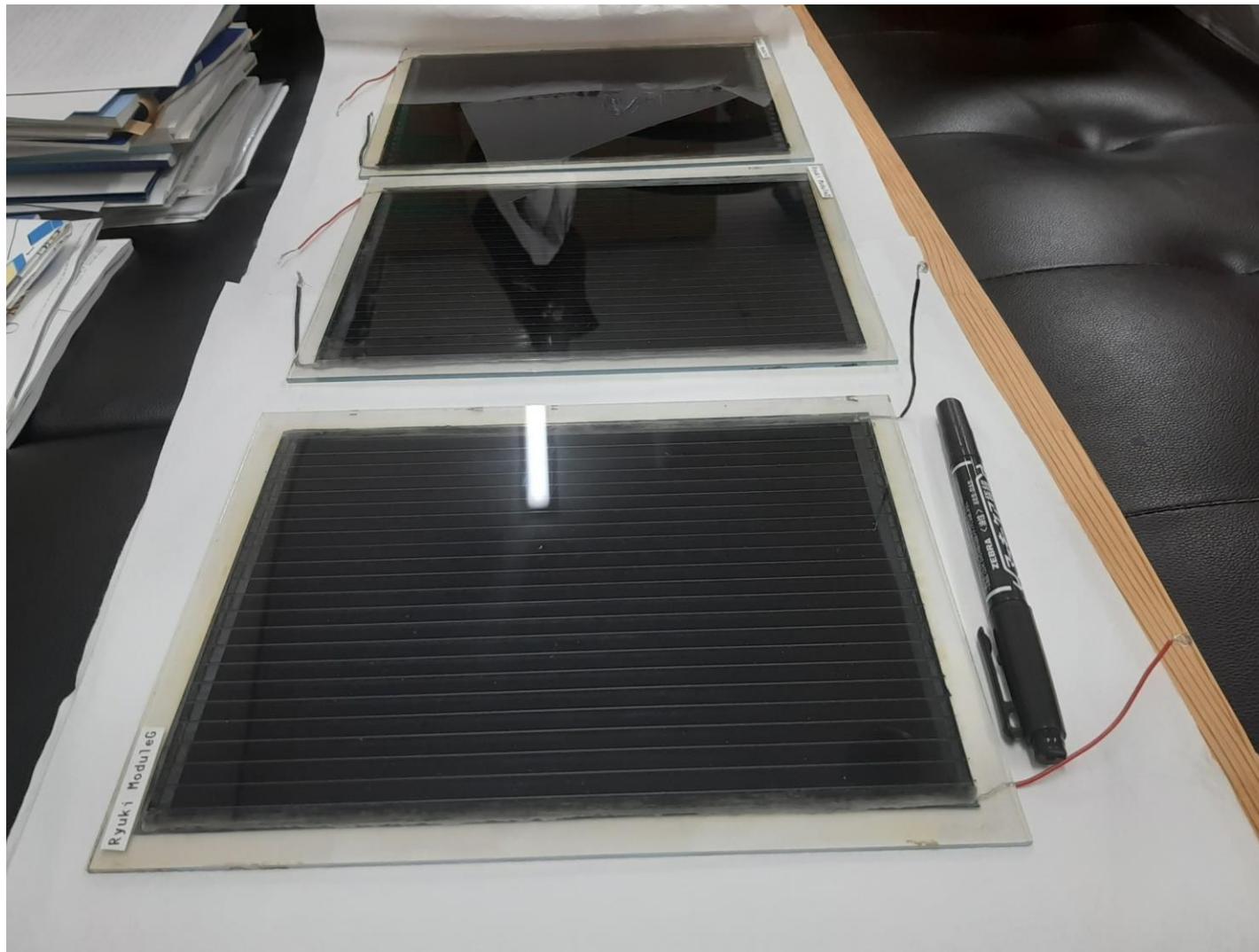


兵庫県立大学とスオングー大学 (英国)との国際共同研究による iPad (B5) モジュール

- $P1 = 0.05 \text{ mm}$, 6.5 mm apart
- $P2 = 1.0 \text{ mm}$, 0.2 mm to the right of P1
- $P3 = 0.2 \text{ mm}$, on the right side of P2
- Cell length = 196 mm
- Cell width = 5.2 mm
- No. Cells = 22
- Active Area = 224.22 cm²
- Dead length = 196 mm
- Dead width = 1.3 mm
- No. Dead Zones = 21
- $G\text{-FF} = 5.2/6.5 = 80\%$



兵庫県立大学とスオングー大学 (英国)との国際共同研究による iPad (B5) モジュール



想定される用途

- 本技術の特徴（カーボン電極）を生かすためには、高速製造に適用することで低価格化のメリットが大きいと考えられる。
- 上記以外に、カーボン電極による長期耐久化の効果が得られることも期待される。
- また、達成されたエネルギー変換効率と耐久性に着目すると、基幹エネルギーとして実用化することが可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、15cm角およびiPad (B5) サイズまで大面積化が可能、および高温・高湿度試験 (85℃・85%RH) において20年保証を出せる耐久性実証まで開発済み。しかし、シリコン太陽電池 (モジュールで18%) までの変換効率の向上、および大型モジュールの安定製造の点が未解決である。
- 今後、大型モジュールの作製およびその屋外実証試験について実験データを取得し、屋外利用に適用していく場合の条件設定を行っていく。
- 実用化に向けて、作成プロセスの精度を「歩留まり95% (不良品は20個に1個)」まで向上できるように技術を確立する必要もあり。

開発ロードマップ

西暦	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
場所:	兵庫県立大学 インキュベーションセンター	→	→	→	→	→	→	→	→
				試作工場 (パイロットライン)	→	→	→	→	→
装置:	(予算獲得)	→	→	→	→	→	→	→	→
		大型メカニカルスクライバー 大型レーザースクライバー 半自動スクリーン印刷機							オートメーションライン
セルサイズ:	15 cm角	→	25-30 cm角	→	→	→	→	→	→
				モジュール作成 (1m × 2m)					
返還効率目標:	11.5%	→	13%	→	→	→	→	→	→
				15%	→	→	→	→	→
(サブモジュール)									17% → → → → 19%
実証試験:	兵庫県立大学	→	→	→	→	→	→	→	→
									兵庫県三木市・神戸市

企業への期待

- 未解決の「変換効率の向上」については、「ペロブスカイト結晶材料の発光強度の測定」の最適化により克服できると考えている（良く光る材料は、良い太陽電池になります）。
- 太陽光発電に関わる技術（化学・材料・電気電子・機械）を持つ、企業との共同研究を希望。
- また、本技術における起業を行うにあたり、参画を希望して頂ける企業には、本研究開発への技術導入を受け入れたいと思います。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : ペロブスカイト太陽電池
- 出願番号 : 特願2022-161850
- 出願人 : 兵庫県公立大学法人
- 発明者 : 伊藤省吾、辻流輝、足立敦哉

産学連携の経歴（発表者：伊藤省吾）

- 2000年-2002年 大阪大学工学部柳田祥三研究室にて従事（共同研究企業約15社）
- 2007年- 現在 色素増感太陽電池，シリコン太陽電池，化合物太陽電池，ペロブスカイト太陽電池，水素燃料電池において，企業と共同研究（延べ約40社，現在は8社と共同研究中）
- 大学発ベンチャー設立の予定

お問い合わせ先

兵庫県立大学

産学連携・研究推進機構 知的財産本部

T E L : 079-283-4560

F A X : 079-283-4561

e-mail : chizai@hq.u-hyogo.ac.jp