

NEDO再生可能エネルギー分野成果報告会2025 プログラムNo.1-6

グリーンイノベーション基金事業/次世代型太陽電池の開発/
次世代型太陽電池実用化事業/

次世代型太陽電池基盤技術開発事業の取り組み

発表：2025年07月16日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

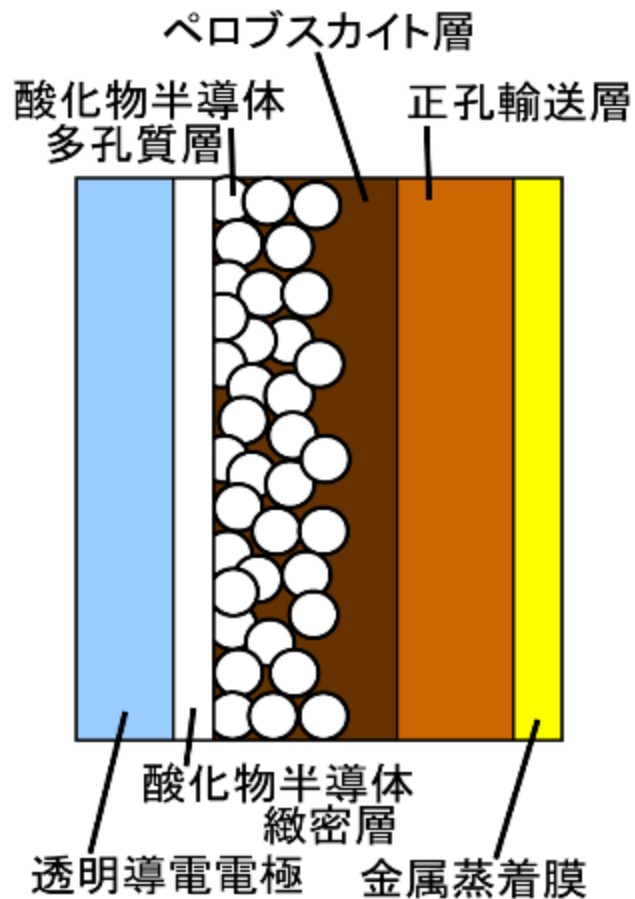
発表者名 瀬川 浩司

団体名 (国) 東京大学、(株)東芝、積水化学工業(株)、(株)アイシン、(国) 電気通信大学、(国) 九州大学、
(国) 熊本大学、 問い合わせ先 東京大学瀬川研究室 <https://www.dsc.rcast.u-tokyo.ac.jp/>

ペロブスカイト太陽電池の主な積層構造

(1) ナノ構造型

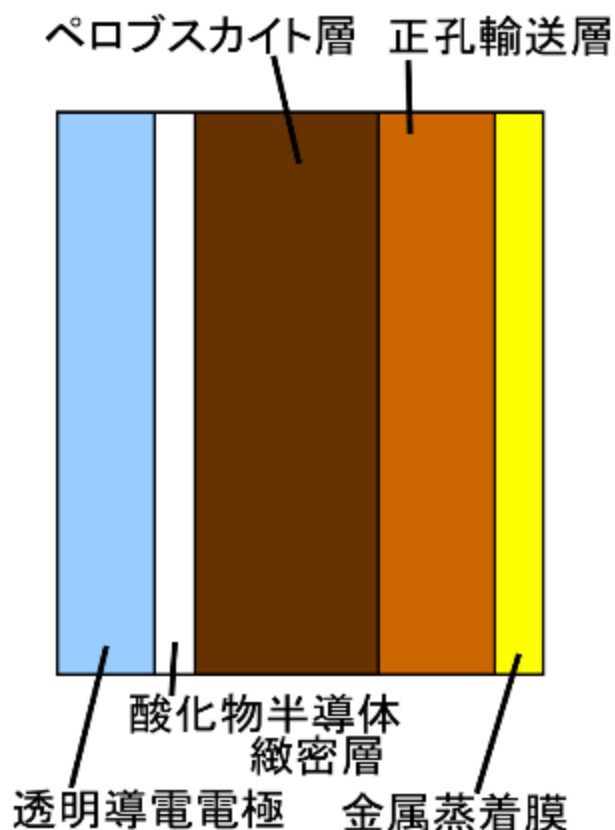
"mesoscopic"
perovskite solar cell



ナノ構造型

(2) 平面ヘテロ接合型

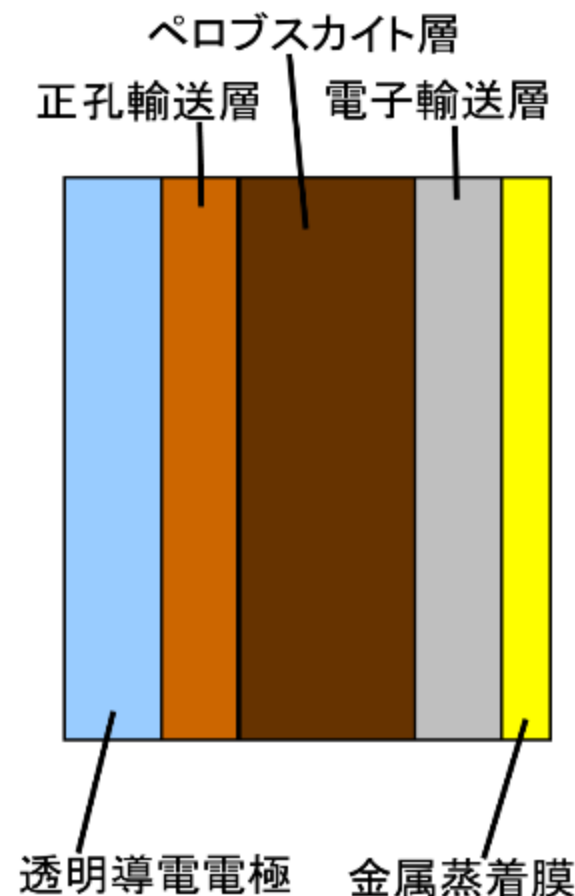
"planar"
perovskite solar cell



平面ヘテロ接合型

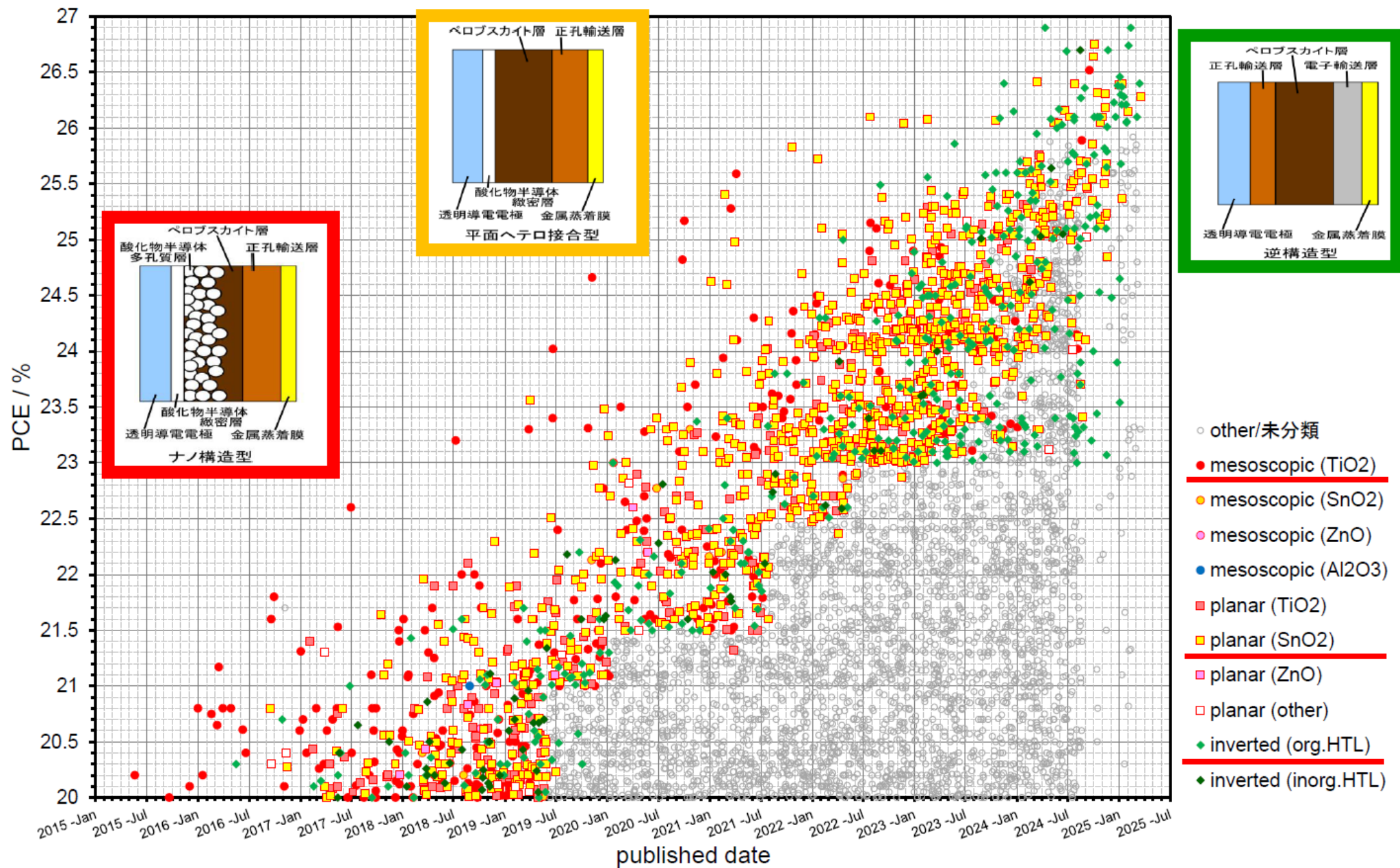
(3) 逆型(有機薄膜類似)

"inverted"
perovskite solar cell

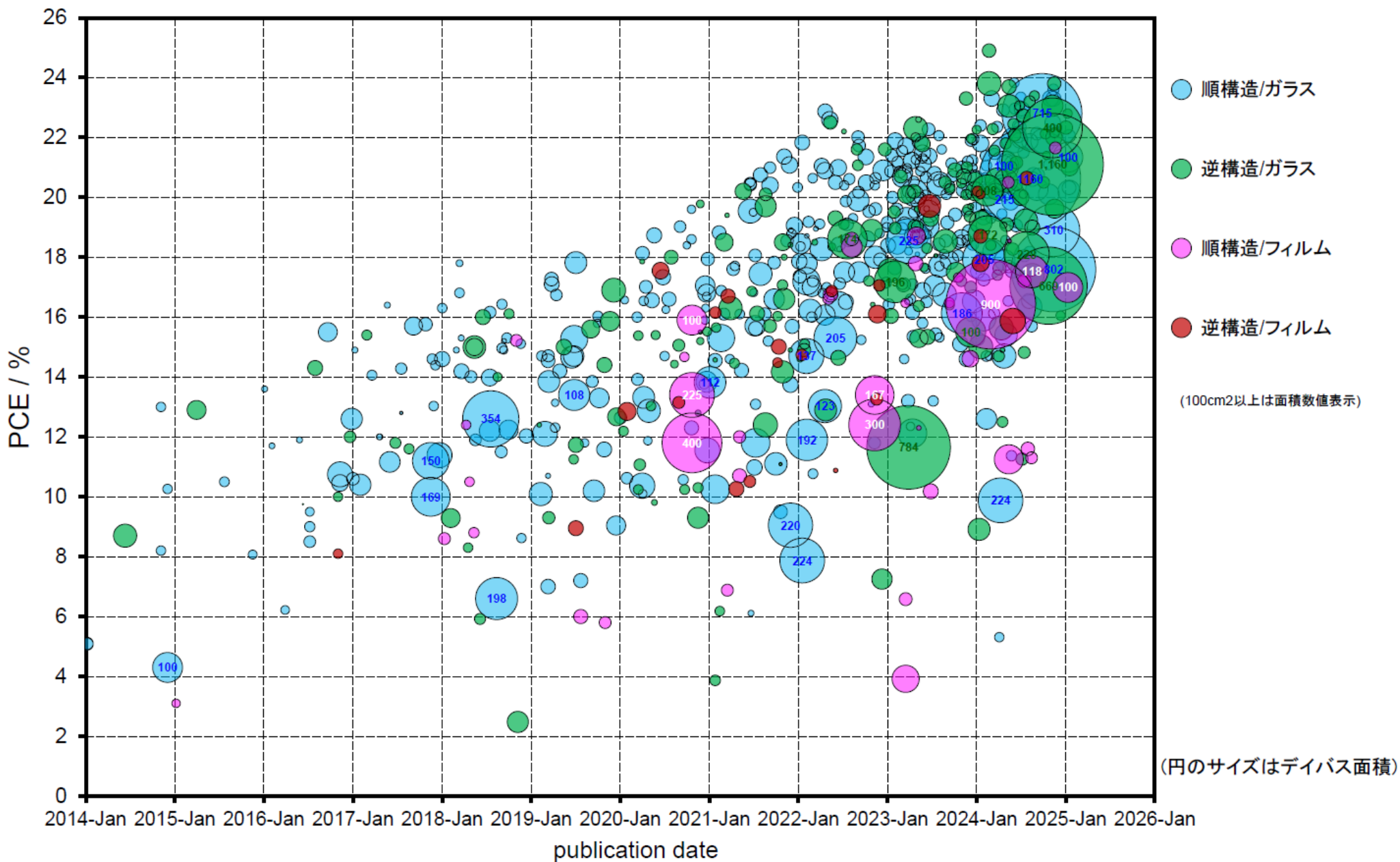


逆構造型

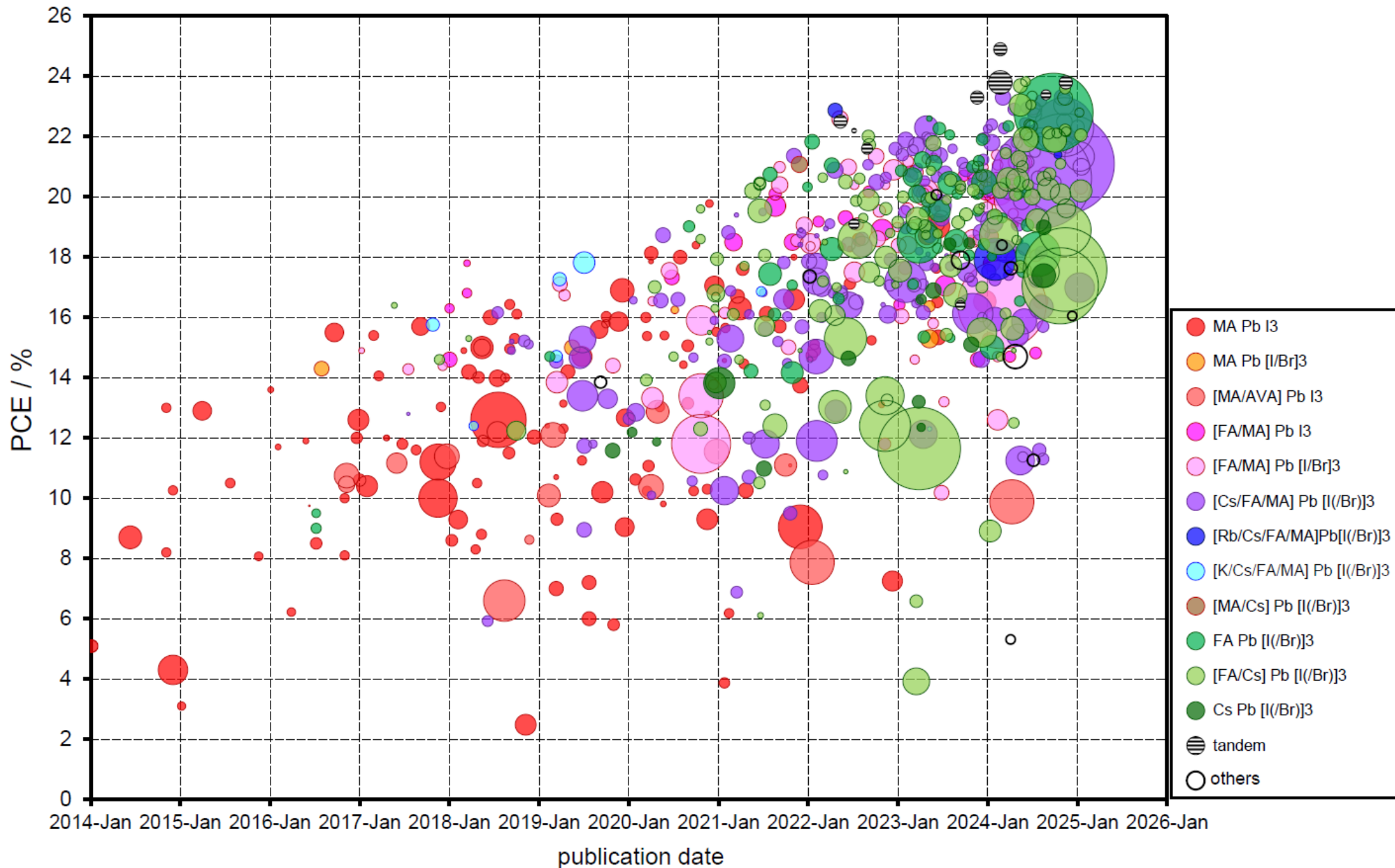
ペロブスカイト太陽電池セルの積層構造別の変換効率



ペロブスカイト太陽電池モジュールの積層構造別の変換効率



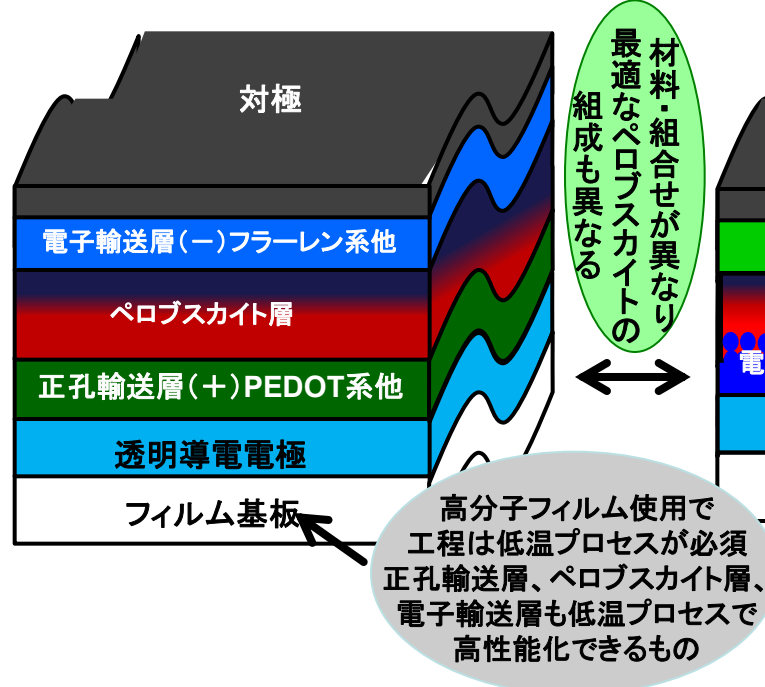
ペロブスカイト太陽電池モジュールの積層構造別の変換効率



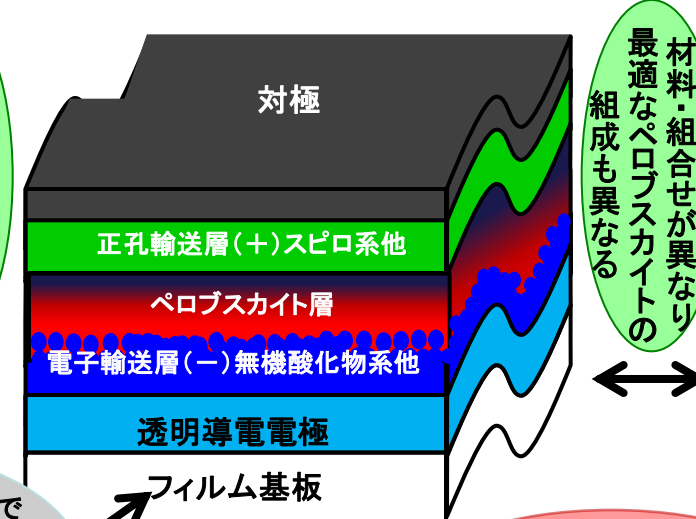
東京大学が連携するグリーンイノベーション基金の ペロブスカイト太陽電池プロジェクト

3種の構造(フィルム基板逆構造型、フィルム基板ナノ構造型、ガラス基板順構造型)で、各層の材料や組合せが異なる。また、各構造に最適なペロブスカイト組成も異なる。よって東京大学は、連携する3社((株)東芝、積水化学工業(株)、(株)アイシン)が独立に進める各構造のペロブスカイト太陽電池の高効率化や高耐久化に必要な材料や、これらを用いた製造技術に関する基盤技術研究開発を行っている。

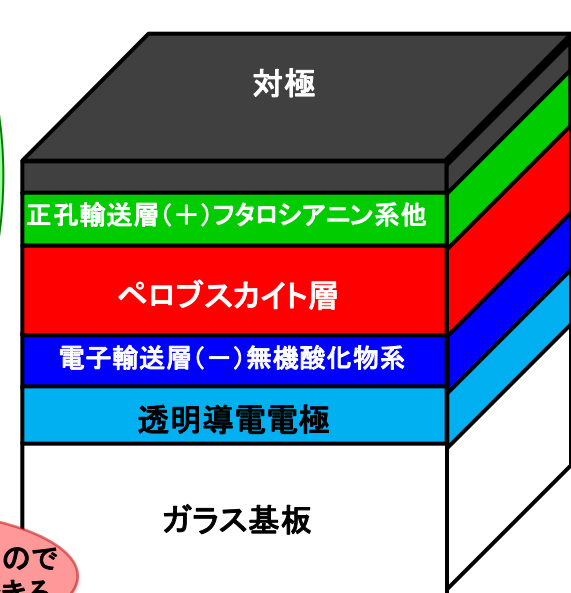
フィルム基板 逆構造型 セル
(株)東芝



フィルム基板 ナノ構造型 セル
積水化学工業(株)



ガラス基板 順構造型 セル
(株)アイシン



株式会社東芝

研究開発の内容 フィルム型ペロブスカイト太陽電池実用化技術

- ・システム単価の低減と総発電量増大の開発
- ・フィルム基板逆構造型ペロブスカイト太陽電池をベースにした、高効率・高耐久性・低コスト化開発

社会実装に向けた取組 大面積化・量産化のための技術開発を行う

積水化学工業株式会社

研究開発の内容 超軽量太陽電池R2R製造技術開発

- ・パネルコスト低減
- ・モジュール変換効率向上
- ・幅広製造技術構築

社会実装に向けた取組 社内既存事業領域での実装テスト／グループ・協業企業との事業推進／協業パートナーとの新分野開拓

株式会社アイシン

研究開発の内容 高効率・高耐久モジュールの実用化技術開発

- ・大面積モジュール製造技術開発
- ・高耐久モジュール製造技術開発
- ・低コスト材料・製造技術開発

ペロブスカイト太陽電池製品の製造／発電実証試験
評価／自社（グループ）工場等へ発電設備設置によるCO₂削減有用性検証

国立大学法人東京大学

高効率高耐久性ペロブスカイト太陽電池に向けた革新的要素技術開発

研究開発の内容 高効率高耐久性フィルム基板逆構造型ペロブスカイト太陽電池の要素技術開発

- ・フィルム基板逆構造型セルの高効率化・高耐久化に向けた材料開発
- ・フィルム基板逆構造型セルの低コスト製造に向けたペロブスカイトナノ粒子開発
- ・鉛比率低減ペロブスカイトの高性能化（一部再委託：電気通信大学）
- ・フィルム型太陽電池用の低温省エネ製造可能な無機材料の開発（一部再委託：桐蔭横浜大学）

社会実装に向けた取組 低コストを維持しながら環境適応性の高い素材やプロセスの実用化等を担当

研究開発の内容 高効率高耐久性フィルム基板ナノ構造型ペロブスカイト太陽電池の要素技術開発

- ・フィルム基板ナノ構造型セルの高効率化・高耐久化に向けた材料開発
- ・フィルム基板ナノ構造型セルの低コスト製造に向けたペロブスカイトナノ粒子開発
- ・高効率化に向けた有機系添加材の開発
- ・FA系材料の高耐久化技術開発（一部再委託：九州大学）

社会実装に向けた取組 低コストを維持しながら高効率高耐久性を両立させるハイエンド製品化等を担当

研究開発の内容 高効率高耐久性ガラス基板順構造型ペロブスカイト太陽電池の要素技術開発

- ・ガラス基板順構造型ミニモジュールの高効率化・高耐久化に向けた材料開発
- ・ガラス基板順構造型ミニモジュールの低コスト製造に向けたペロブスカイトナノ粒子開発
- ・ガラス基板順構造型ミニモジュールの超軽量化に向けた材料開発
- ・マテリアルインフォマティクス等の理論的手法を活用した材料開発（一部再委託：熊本大学）

社会実装に向けた取組 過酷な環境下で利用可能な高性能ペロブスカイト太陽電池で用途拡大を担当

高効率高耐久性の実現というアウトプット目標を達成するために必要な複数のKPIを設定

研究開発項目	アウトプット目標		
1.高効率高耐久性ペロブスカイト太陽電池の開発	モジュール発電コスト 20 円/kWh 以下に貢献する要素技術の確立		
研究開発内容	KPI	KPI設定の考え方	
1 ・ 高効率高耐久性 フィルム基板逆構造型 ペロブスカイト太陽電池の要素技術開発 (株)東芝との共同)	逆構造型ミセル変換効率21%と耐久性両立	逆構造型ペロブスカイト太陽電池ミセル変換効率21%にてモジュール発電コスト20円/kWh達成可能と試算。	
2 ・ 高効率高耐久性 フィルム基板ナノ構造型 ペロブスカイト太陽電池の要素技術開発 (積水化学工業(株)との共同)	フィルム基板ナノ構造型ミニモジュール(3直列)変換効率20%と耐久性両立	ミニモジュール変換効率20%達成できれば、RtoR製膜プロセスによる30cm角モジュール効率15%達成可能と試算。	
3 ・ 高効率高耐久性 ガラス基板順構造型 ペロブスカイト太陽電池の要素技術開発 (株)アイシンとの共同)	変換効率22%のガラス基板順構造型ミニモジュールの軽量化で1kg/m ² 以下を実現	現状の高効率ミセル作製プロセスを最大限活用し、ミニモジュールへの大型化と軽量化を実践する。実用サイズモジュールで工場・事業所・店舗などの金属製屋根に設置可能な重量と試算。	

各KPIの目標達成に必要な解決方法を提案

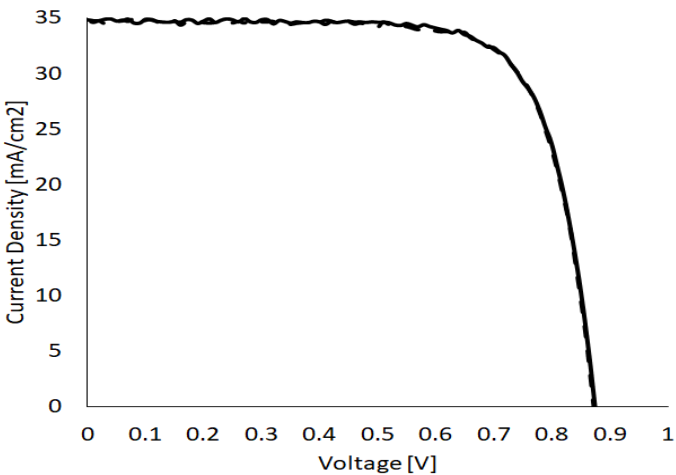
	KPI	現状	達成レベル	解決方法	実現可能性 (成功確率)
1	高効率高耐久性 フィルム基板逆構造型 ペロブスカイト太陽電池の要素技術開発（㈱東芝との共同）	ミセル変換効率21%と耐久性両立	十分な耐久性で変換効率21%と耐久両立（TRL5） ↔ 現状：耐久性未確認時の変換効率23%（TRL3）	• フィルム基板逆構造型ペロブスカイト太陽電池に向けた材料と製膜プロセスの開発 - ① 高純度材料開発 - ② 逆構造用ペロブスカイトナノ粒子開発 - ③ 鉛比率低減ペロブスカイト開発 - ④ 低温製膜無機材料開発	前NEDOプロジェクト研究実績があり実現性高い。（80%）
2	高効率高耐久性 フィルム基板ナノ構造型 ペロブスカイト太陽電池の要素技術開発（積水化学工業㈱との共同）	ミモジール変換効率20%と耐久性両立	十分な耐久性でミモジール変換効率20%（TRL5） ↔ 現状：耐久性未確認時のミセル変換効率24%（TRL3）	• フィルム基板ナノ構造型ペロブスカイト太陽電池に向けた材料と製膜プロセスの開発 - ① 劣化メカニズム明確化 - ② 添加剤開発 - ③ ナノ構造用ペロブスカイトナノ粒子開発 - ④ 封止技術開発	前NEDOプロジェクト研究実績があり実現性高い。（80%）
3	高効率高耐久性 ガラス基板順構造型 ペロブスカイト太陽電池の要素技術開発（㈱アイシンとの共同）	変換効率22%のミモジールの軽量化で1kg/m ² 以下	変換効率22%ミモジール1kg/m ² （TRL5） ↔ 現状：変換効率22%ミモジール2.8kg/m ² （TRL4）	• ガラス基板順構造型ペロブスカイト太陽電池に向けた材料と製膜プロセスの開発 - ① 基材薄型化 - ② 低密度基材開発 - ③ 順構造用ペロブスカイトナノ粒子開発	前NEDOプロジェクト研究実績があり実現性高い。（80%）

逆構造のSnPbペロブスカイト太陽電池、高耐久性ALDSnOx層 各層の最適化で世界最高レベルの効率

Ag	Ag
BCP	BCP
C60	C60
ALD SnOx	ALD SnOx
PCBM	PCBM : Y6
EDA	EDA
Ge doped Cs _{0.025} MA _{0.5} FA _{0.475} Sn _{0.5} Pb _{0.5} I _{2.975} Br _{0.025}	Ge doped Cs _{0.025} MA _{0.5} FA _{0.475} Sn _{0.5} Pb _{0.5} I _{2.975} Br _{0.025}
MeO2PACz	MeO2PACz
FTO	FTO
Glass	Glass

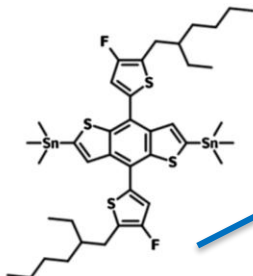
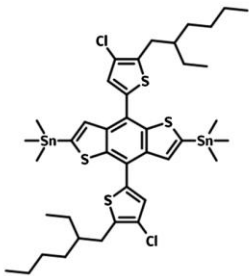


Ag
BCP
ETL: C60 (20 nm)
ALD SnOx (20 nm)
Passivation: PCBM
EDA
Gel ₂ doped Rb _{0.04} Cs _{0.025} FA _{0.5} MA _{0.435} Sn _{0.5} Pb _{0.5} I _{2.975} Br _{0.025}
HTL: MeO2PACz + 2PACz
FTO
Glass

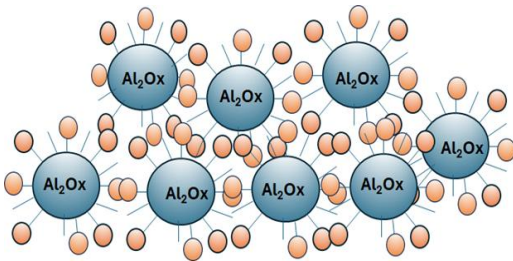


ETL側パッシベーションとAサイト最適化、
および混合SAM HTL で効率 **22.7%**

パッシベーションによる耐熱性向上



EDA
Ge doped Cs _{0.025} FA _{0.475} MA _{0.5} Sn _{0.5} Pb _{0.5} I _{2.975} Br _{0.025}
BDTT-Sn-F
HTL
FTO
Glass



Sn⁴⁺
1.5%
↓ 85°C 150h
3.8%

Al₂O₃/SAM mixture

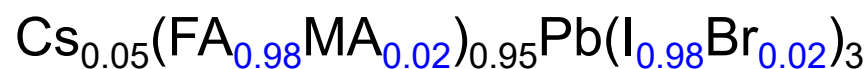
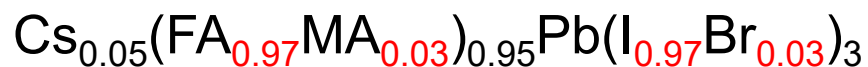
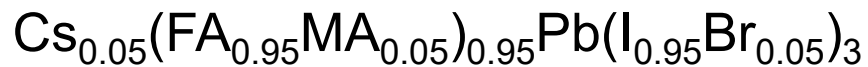
BDTT-Sn-**Cl**

BDTT-Sn-**F**

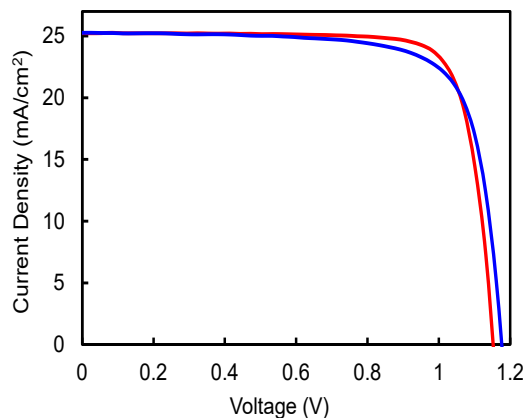
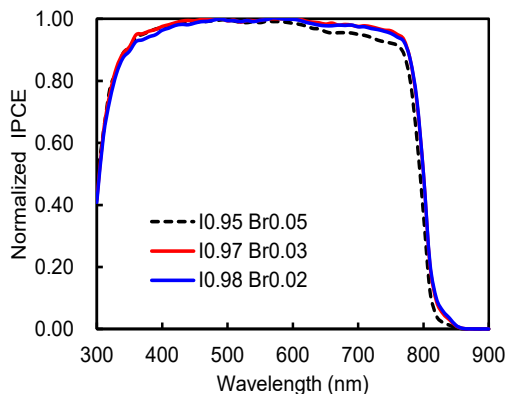
SnPb-PVK層のパッシベーション化合物をCl化物からF化物に変え、
Al₂O₃/SAM 混合膜にすることで高温耐久性が大幅に向上

逆構造のミックスカチオンミックスハロゲン系の 積層構造と組成の改善で高性能ペロブスカイト太陽電池

ペロブスカイト組成の再検討

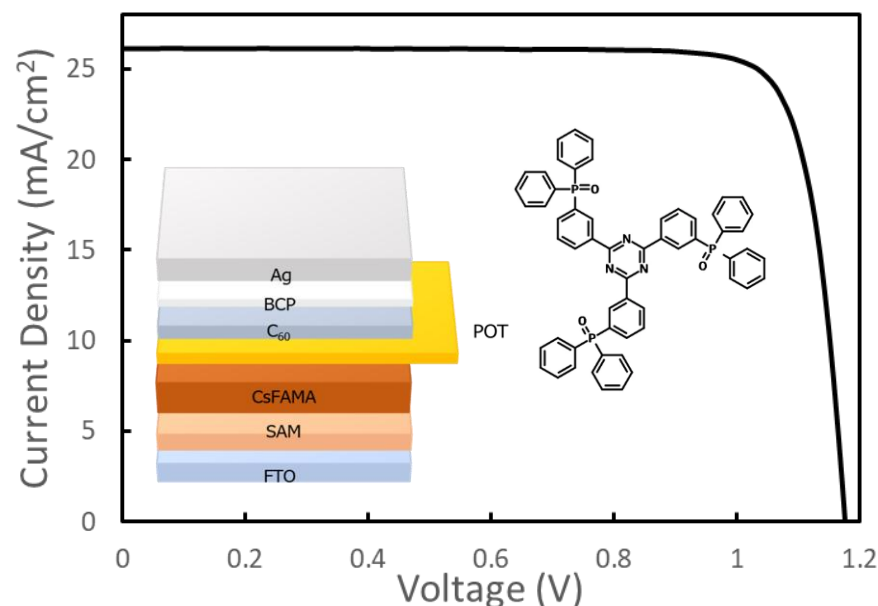


	$\text{I}_{0.97}\text{Br}_{0.03}$	$\text{I}_{0.98}\text{Br}_{0.02}$
V_{OC} (V)	1.15	1.18
J_{SC} (mA/cm ²)	25.24	25.26
FF	0.80	0.75
PCE (%)	23.39	22.40



正孔輸送材料・電子輸送材料が
変わるとペロブスカイト組成の最
適値も変わるため微調整が必要

	V_{OC} (V)	J_{SC} (mA/cm ²)	FF	PCE (%)
POT (1 nm)	1.17	26.15	0.84	25.93



平面ヘテロ順構造FAPbI₃系の高性能ペロブスカイト太陽電池

製造過程の最高温度は140°C でPET基板にも適用可能



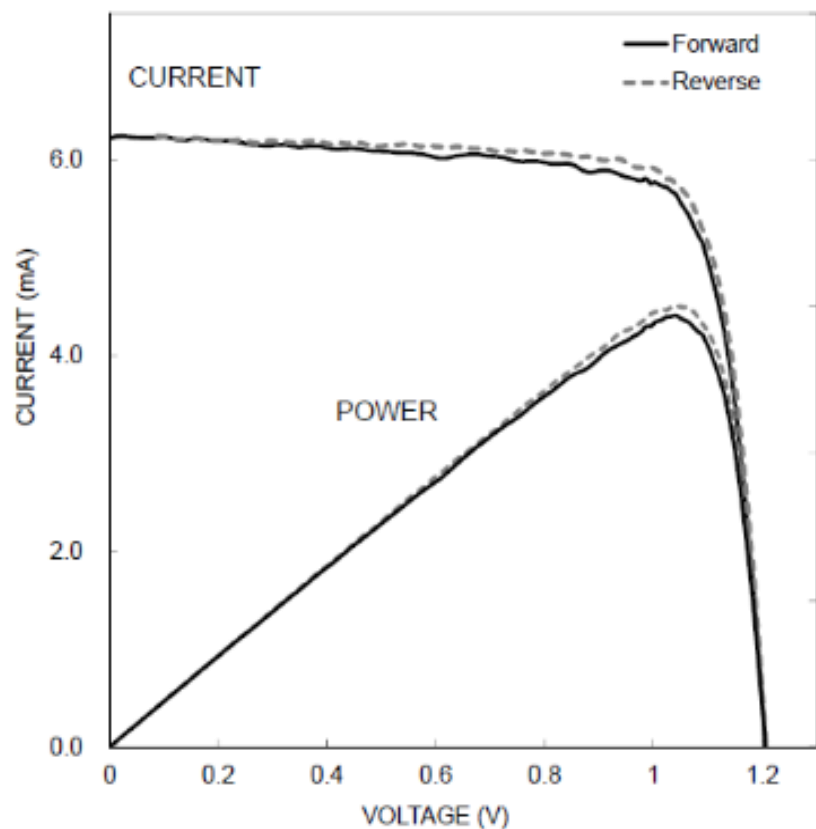
THE UNIVERSITY OF TOKYO

I-V CURVE

IEC60904-1Ed.3.0 YSS-200AA

0.235cm² (Designated area)

Scan rate: 0.1V/sec, Before MPPT measurement



Date : Dec 26, 2022

Device type :

FAPbI₃ normal structure

Manufacturer :

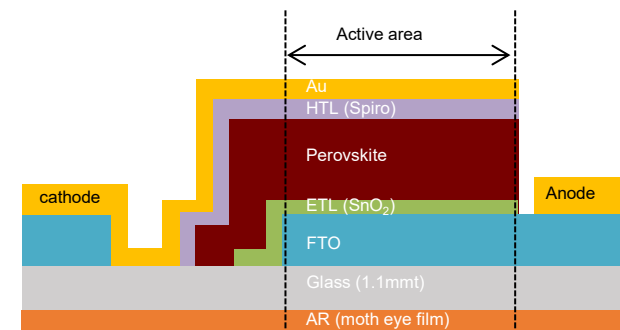
Lin Ching Chang / Segawa-lab

The University of Tokyo

Sample No. : T200-02-1

Repeat Times. : 1

	Forward	Reverse	
Isc	6.233	6.252	[mA]
Jsc	26.52	26.60	[mA/cm ²]
Voc	1.208	1.207	[V]
Pmax	5.887	6.006	[mW]
Ippmax	5.661	5.720	[mA]
Vppmax	1.040	1.050	[V]
F.F.	78.3	79.6	[%]
Eff.(Da)	25.1	25.6	[%]
M.Temp	25.0	25.0	[°C]
D Irr.	100.0	100.0	[mW/cm ²]
M Irr.	98.1	98.1	[mW/cm ²]
Ref. Device No.	JETp-A01W 1102-5		
Cal. Val. of Ref.	45.01		
	[mA at 100mW/cm ²]		



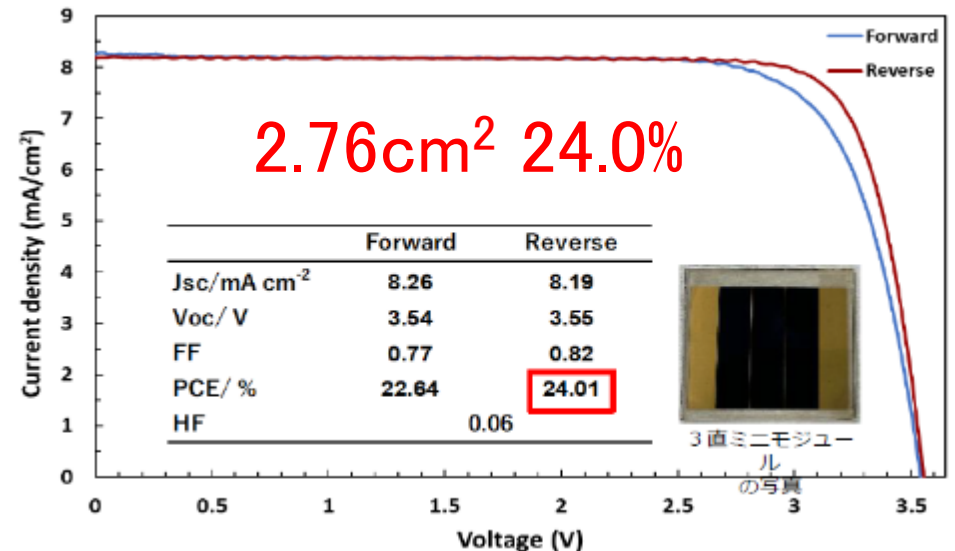
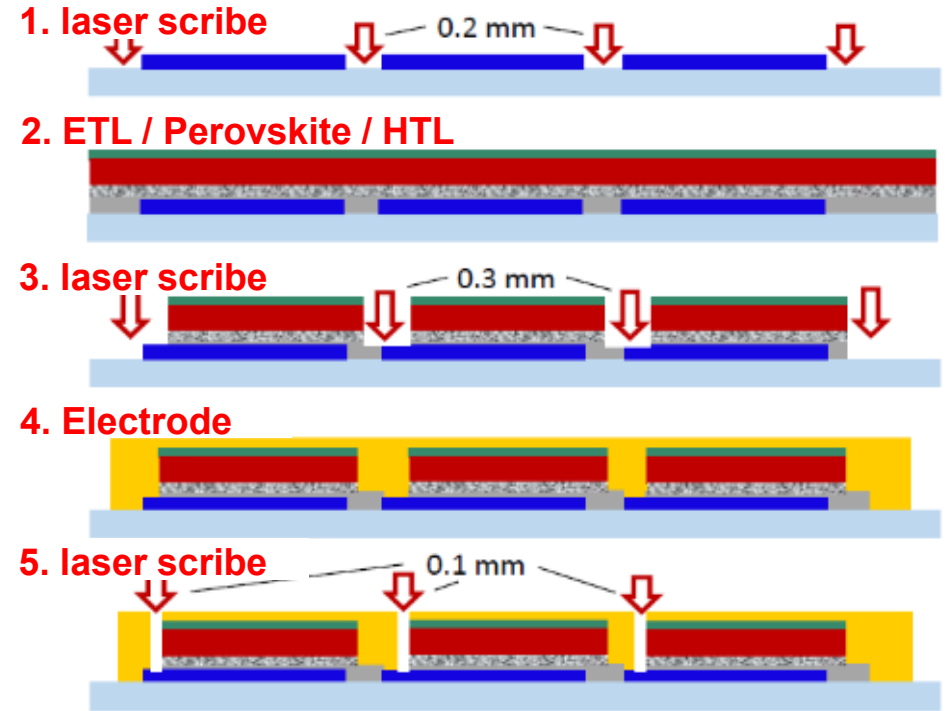
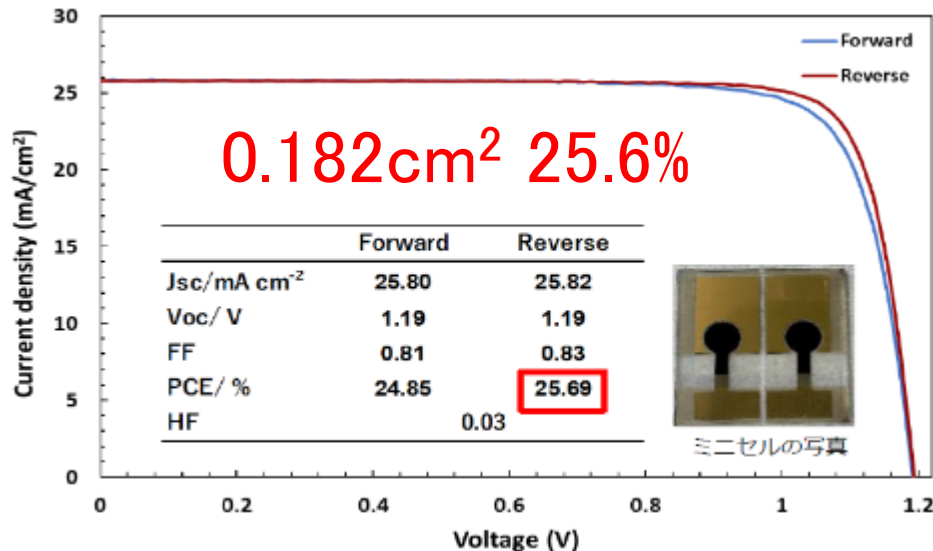
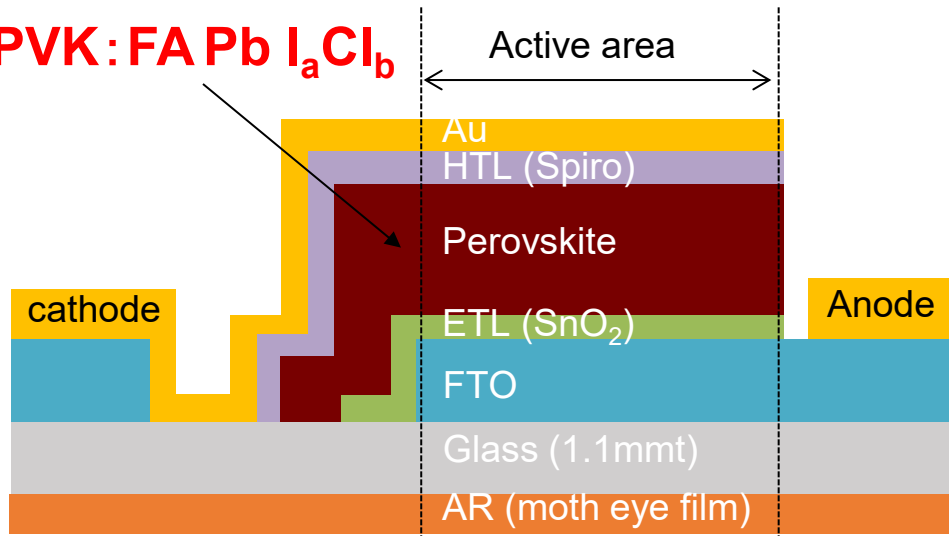
PCE : 25.6%
(by JET)

JET

平面ヘテロ順構造FAPbI₃系の高性能ペロブスカイト太陽電池



PVK: FAPbI₃Cl_b

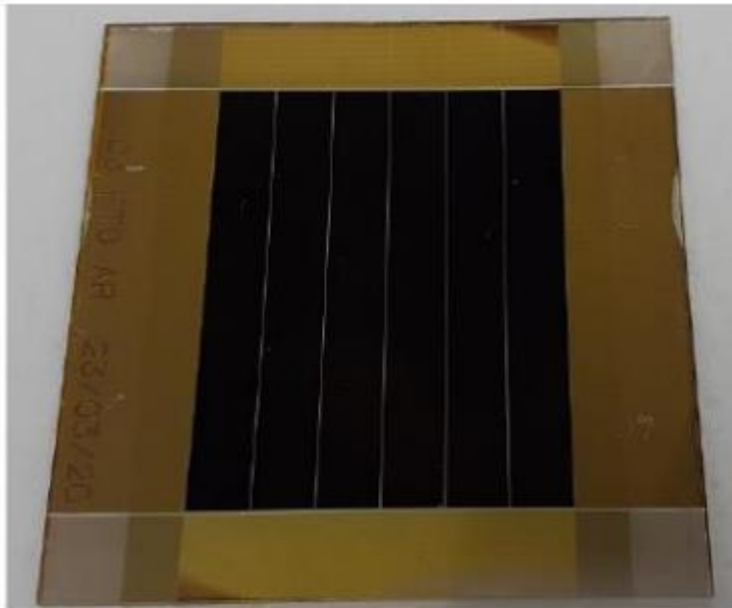


平面ヘテロ順構造FAPbI₃系の高性能ペロブスカイト太陽電池

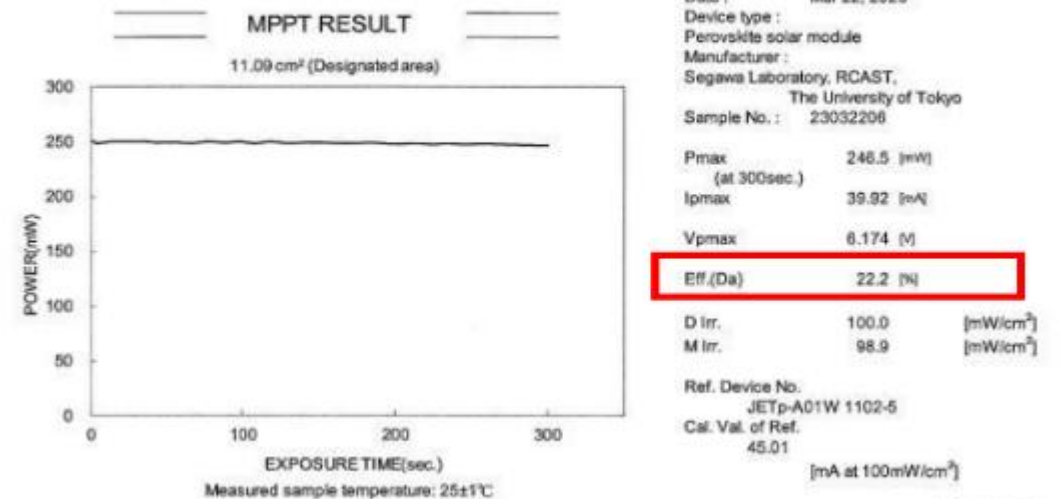
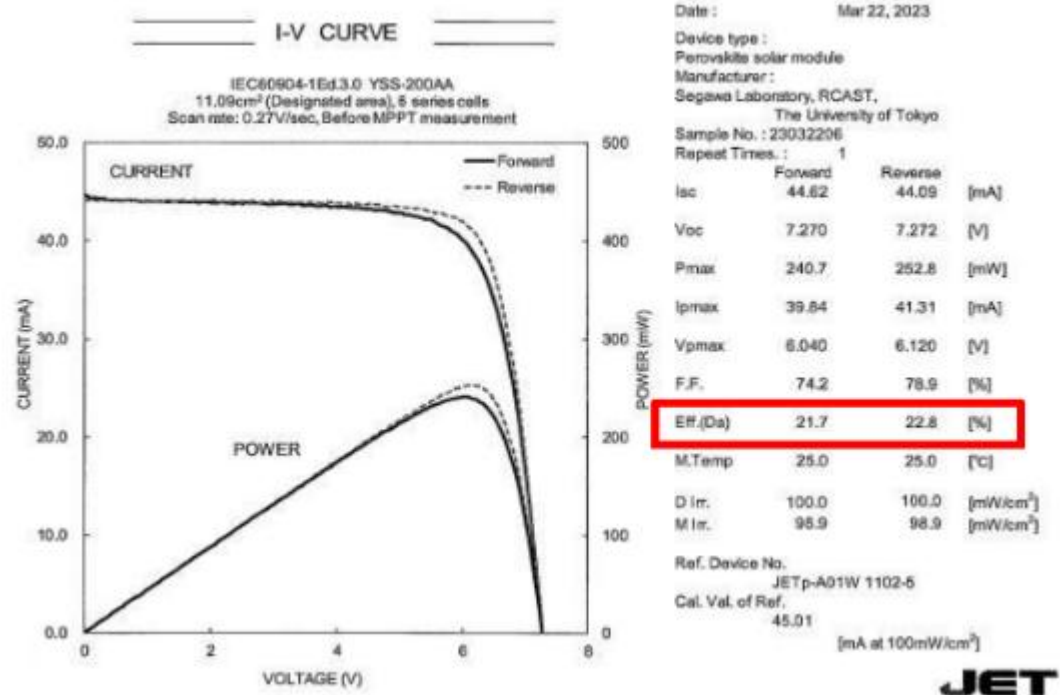


THE UNIVERSITY OF TOKYO

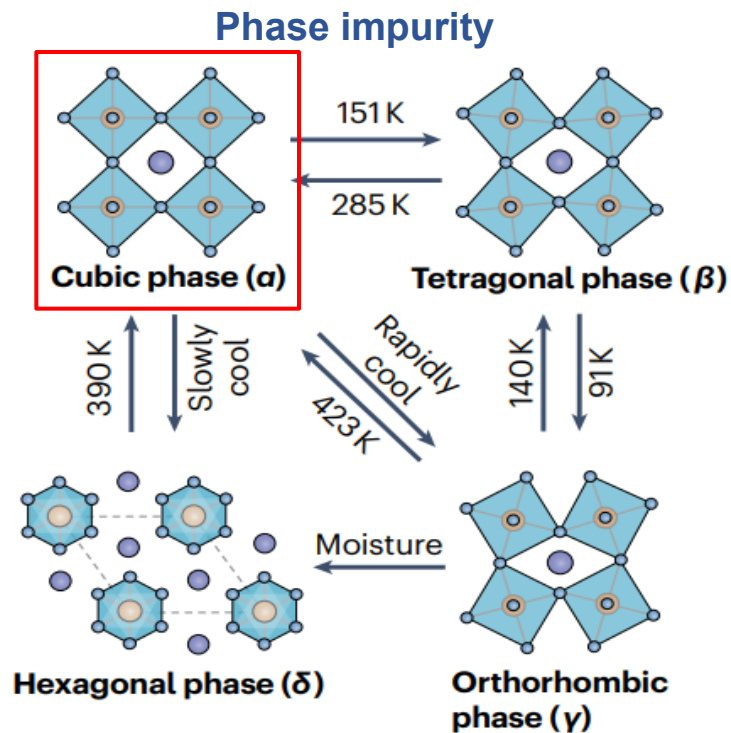
PVK:FA Pb I_a Cl_b



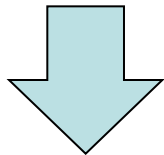
11.09cm²
22.8% (I-V)
22.2% (MPPT)



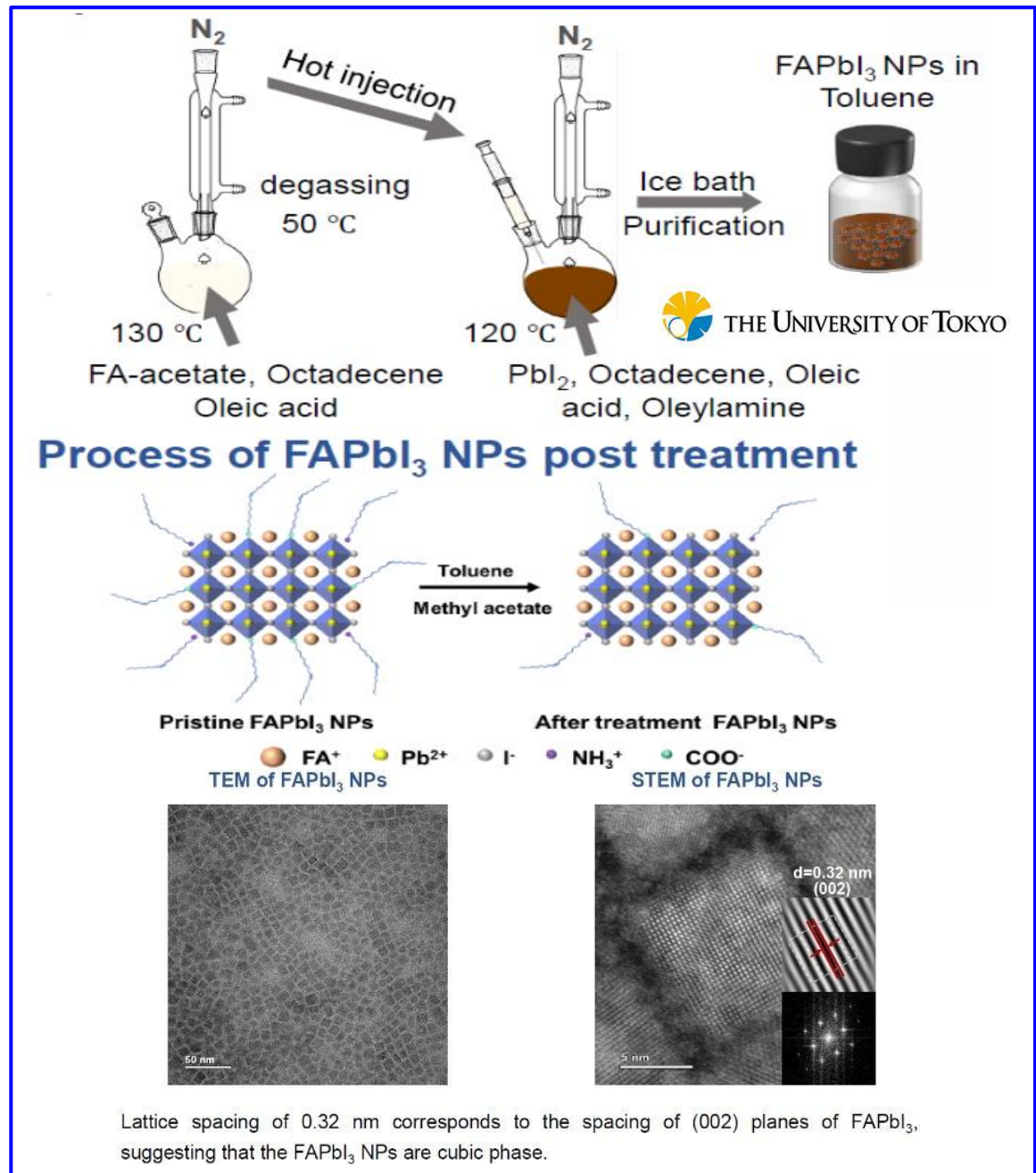
ただしFAPbI₃には複数の相(α 、 β 、 γ 、 δ)が存在



Liu et al. *Nature Reviews Chemistry*.2023. 462

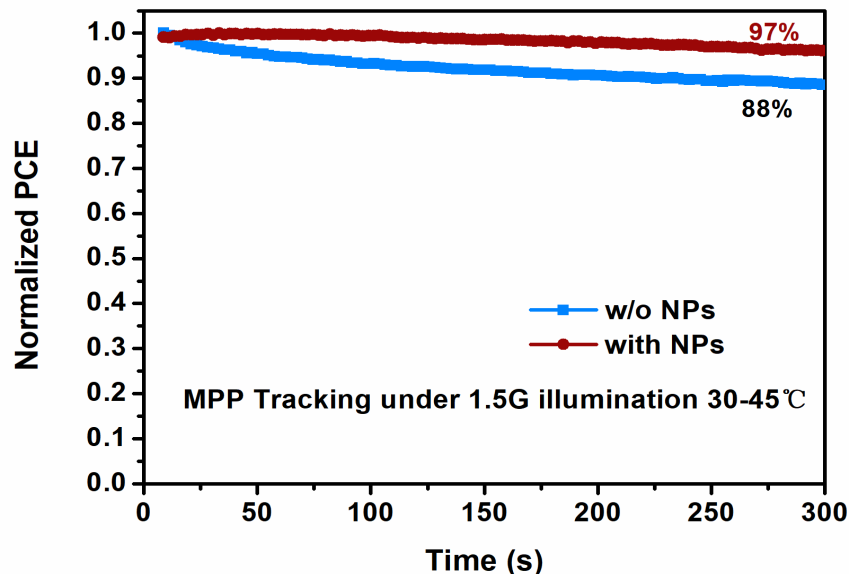
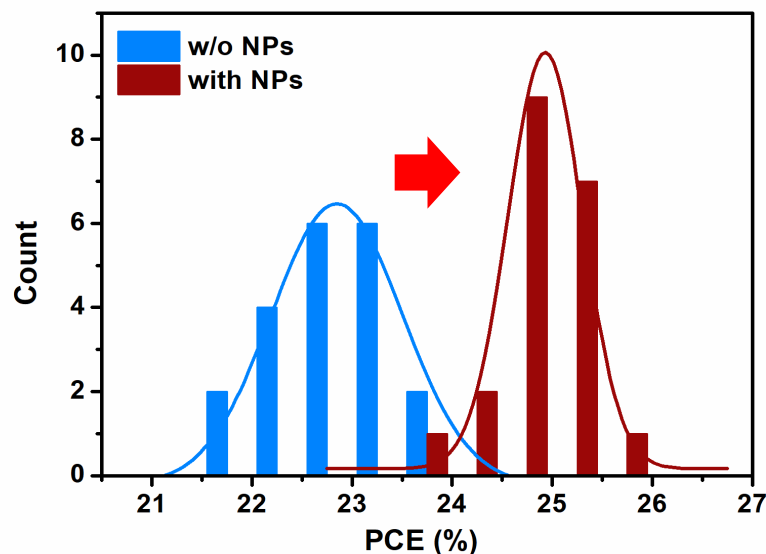
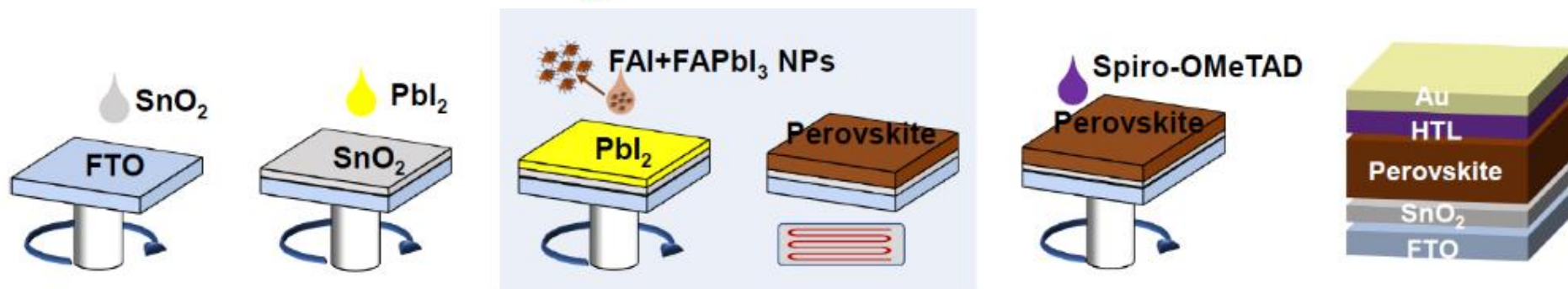


予め α 相のナノ結晶を選択的に作成しこれを種結晶として高性能のペロブスカイト膜の形成に成功

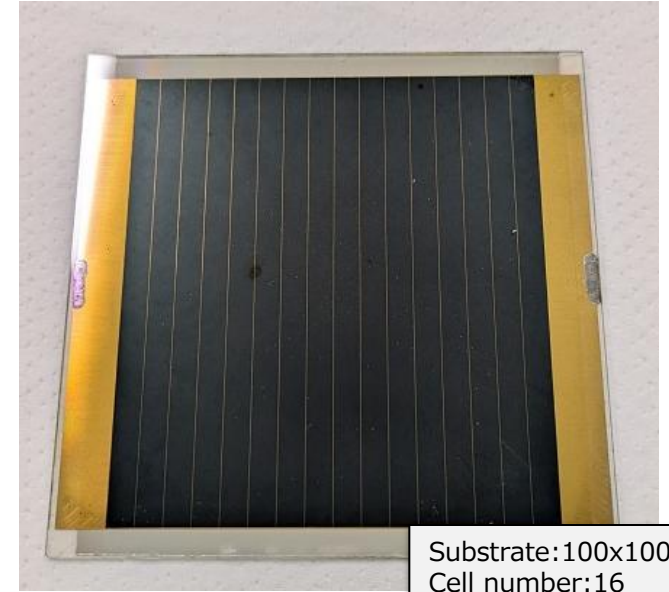
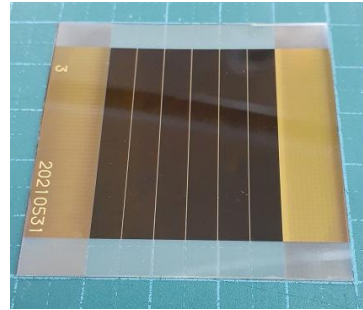
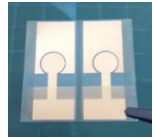


平面ヘテロ順構造FAPbI₃系

2段階成膜プロセスに α 型のFAPbI₃ナノ粒子を用いることで
安定した高性能ペロブスカイト太陽電池セル作成に成功



順構造ガラス型FAPbI₃で大面積化とガラスの軽量化



Substrate:100x100mm
Cell number:16
Active aria:64cm²

- ①ETL層は現状ではTiO₂の方が効率が高い
- ②大面積ではMACI添加での効率が高い
- ③大基板ほどエージングによる効果が大い

2024年10月	Type		Single	6-monolithic	16-monolithic
	Cell area(cm ²)		0.18	11	64
Process	Substrate THK(mm)	ETL	Efficiency(%)		
FAPbI ₃ (MACI)	ATO/ITO (Geomatec 1.1t)	SnO ₂	22.5	21	15.8
	FTO (NSG 1.1t)	C-TiO ₂ /M-TiO ₂	22.7	20.8	19.3
FAPbI ₃ (FACI)	ATO/ITO (Geomatec 1.1t)	SnO ₂	21.2	20.0	11.1
	FTO (NSG 1.1t)	C-TiO ₂ /M-TiO ₂	23.7	22.2	15.7

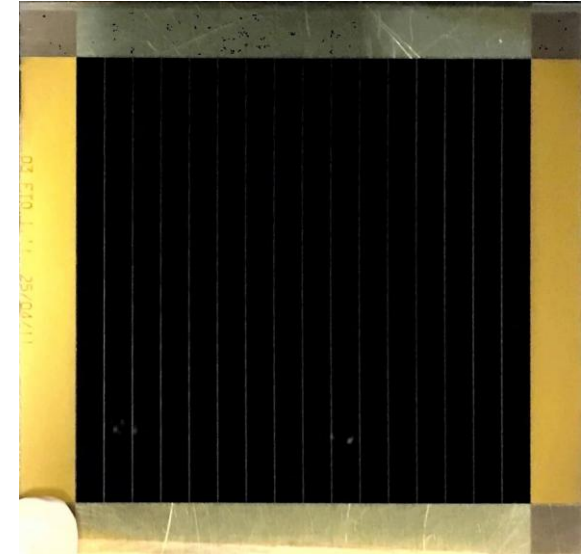
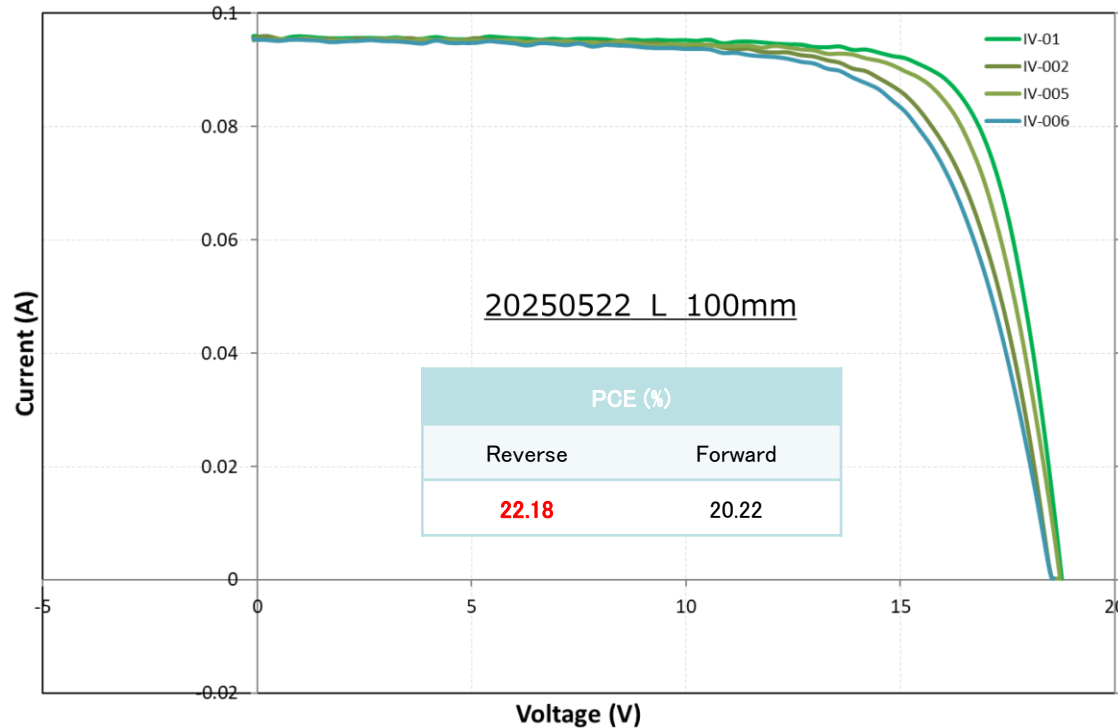
 Vacuum quenching

順構造ガラス型FAPbI₃で大面積化とガラスの軽量化



THE UNIVERSITY OF TOKYO

10cm角モジュールで効率22.2%



Active area: 64cm²
Cell size: 5x80mm
Cell number: 16直列

2025年5月

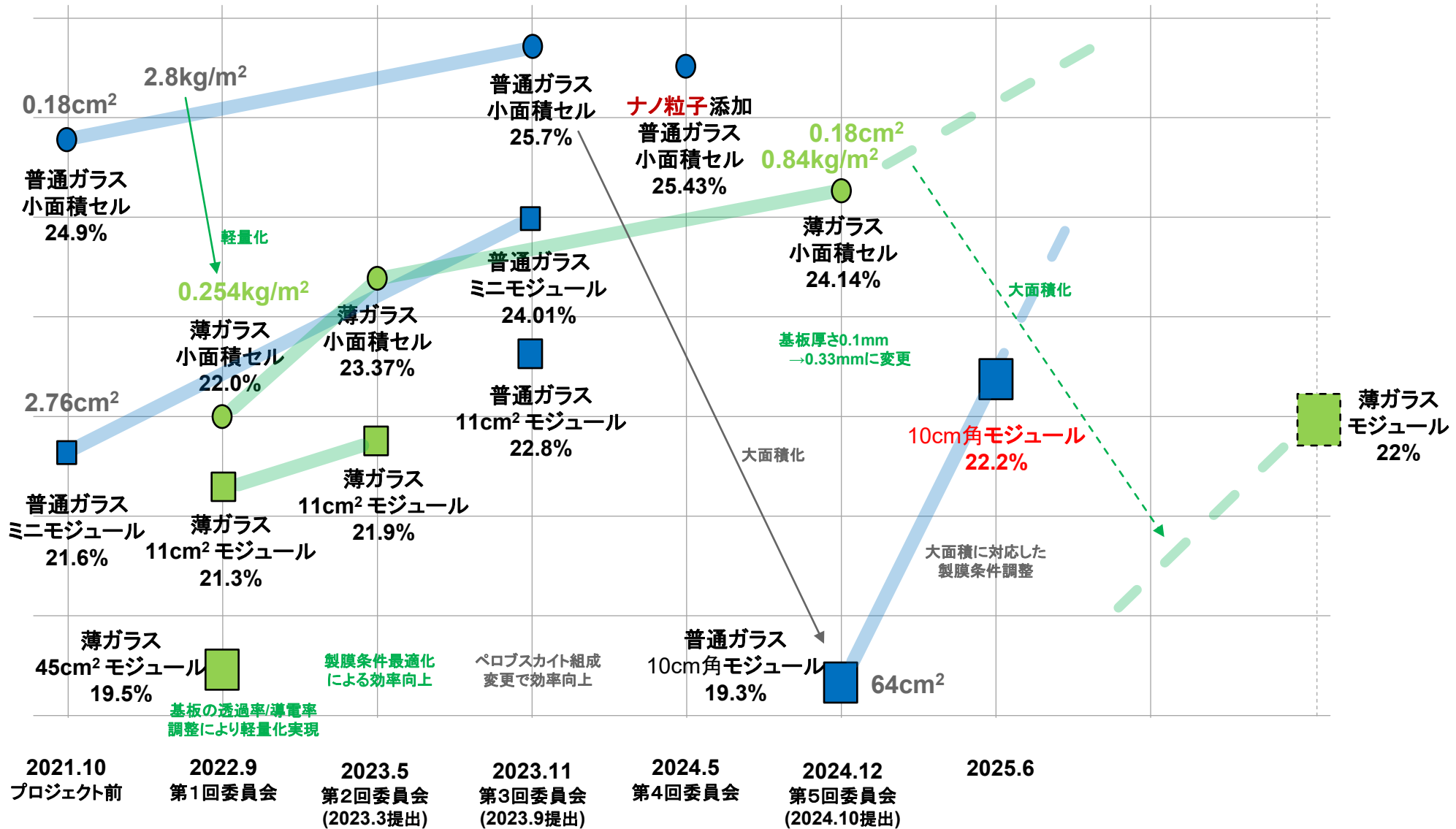
Sample Name	Direction	Jsc	Voc	FF	PCE	His	Rs	Rsh
		(mA/cm ²)	(V)		(%)	(%)	(Ω)	(Ω)
01	reverse	1.50	18.68	0.79	22.18	8.85	18.68	5099.73
01	forward	1.50	18.56	0.73	20.22		18.56	849.83
02	reverse	1.49	18.73	0.77	21.40	8.32	18.73	2397.58
02	forward	1.49	18.55	0.71	19.62		18.55	2207.86

順構造ガラス型FAPbI₃で大面積化とガラスの軽量化



THE UNIVERSITY OF TOKYO

軽量化・大面積化の進捗状況まとめ



ペロブスカイト太陽電池の研究開発フェーズ

第一世代ペロブスカイト太陽電池

変換効率～15% 耐久性10年 複数社が実用化

第二世代ペロブスカイト太陽電池

変換効率～20%超 耐久性20年 技術開発中

第三世代ペロブスカイト太陽電池

オールペロブスカイトタンデム (軽量フレキシブル)
変換効率～30% 耐久性20年超 基礎研究開発中

