

高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発
/ 太陽電池セル、モジュールの共通基盤技術開発
/ 薄型セルを用いた高信頼性・高効率モジュール
製造技術開発

高遠 秀尚
(国研)産業技術総合研究所
2019年10月17日(木)

問い合わせ先
産業技術総合研究所
福島再生可能エネルギー研究所
E-mail: h.takato@aist.go.jp

事業概要

1. 期間 開始：2015年5月
 終了：2020年2月（予定）

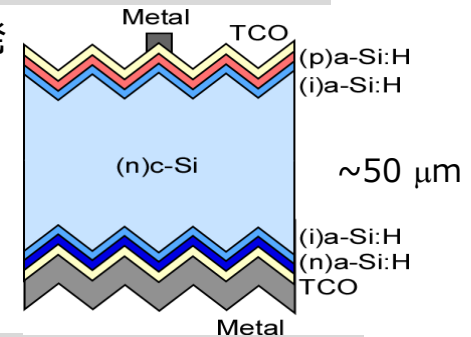
2. 最終目標/成果・進捗概要

開発項目	最終目標	進捗概要
①ウェハスライス技術に関する研究開発	極薄ウェハ（厚み50 μ m）の品質指針及び高効率セルプロセス技術開発課題を明らかにする。	極薄ウェハ対応SHJセルプロセスを開発、厚さ46 μ mにて効率22.0%を達成。薄型化と表面再結合・寄生吸収の相関を明確化。表面パッシベーション膜製膜中のその場評価により、界面欠陥の終端プロセスについて基礎的知見・高性能化指針を得た。
②高効率・低コストセルプロセス技術 高効率・高信頼性モジュール技術	高効率（セル効率22%）のためのセル化技術開発指針を得る。 長寿命（35年）のための高信頼性モジュール化技術開発指針を得る。	PERCセルについては、21.0%の量産化ラインを構築した。また、注入マスクを用いたイオン注入技術で選択エミッタ構造を作製し、変換効率20.3%を得た。 京セラよりモジュールの提供を受け、共同で故障モードや劣化メカニズムの検討を進め、モジュールの寿命予測の手法を開発に貢献。
③高効率・低コストセルプロセス技術	高効率セルの低コストのための簡易プロセス要素技術指針を得る。	両面受光一裏面電極型セルの開発を進めた。スクリーン印刷による焼成電極形成や細線ワイヤーによる配線などのプロセス技術の改善により、変換効率22.1%を達成した。
④薄型セルを用いた高信頼性高効率モジュール技術	薄型セルを用いた高信頼性の高効率モジュール（モジュール効率22%）の技術開発指針を得る。	高温高湿試験によるセルの劣化機能のモデルを提案し、モジュール長寿命化への指針を得た。実際に劣化の非常に少ないモジュールを作製することができた。

① ウェーハスライス技術に関する研究開発（連携先：コマツNTC(株)）

コマツNTC(株)が薄型ウェーハ開発 ➡ 産総研にてセル化要素技術を開発

- ・ a-Si:Hを初めとする低温でのパッシベーション層・接合の形成
- ・ 各プロセスにおける界面欠陥の形成・緩和過程の評価
- ・ 光閉じ込め技術

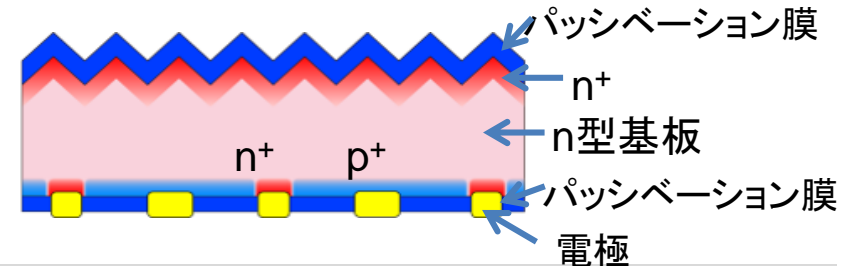


② 高効率・低コストプロセス技術/高効率・高信頼性モジュール技術に関する研究開発（連携先：京セラ(株)）

- ・ PERCセルの高効率化
- ・ モジュールの信頼性評価技術
- ・ 故障モードや劣化メカニズムの検討

③ 高効率セルの低コストのための簡易プロセス要素技術課題を明らかにする。

- ・ 両面受光—裏面電極型セルの開発
- ・ 量産に適した作製プロセスの構築
- ・ イオン注入技術によるプロセスの開発



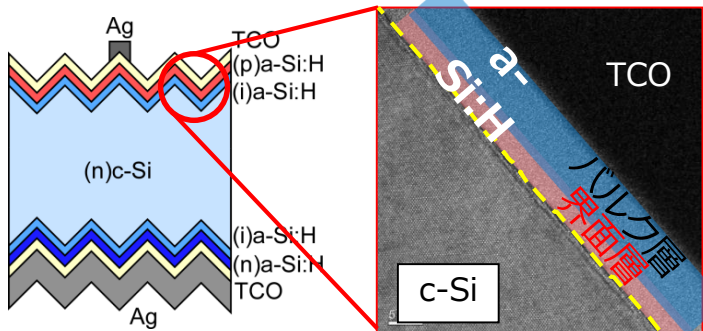
④ 高信頼性の高効率モジュール（モジュール効率22%）の技術開発課題を明らかにする。

① ウェハスライス技術に関する研究開発 - コマツNTC (株) と連携

目的	極薄ウェハを用いたセルの可能性実証、要素技術開発
開発内容	①低温パッシベーション(ヘテロ接合)、②光閉じ込め ③パッシベーション膜・界面評価技術、④超極薄結晶シリコン

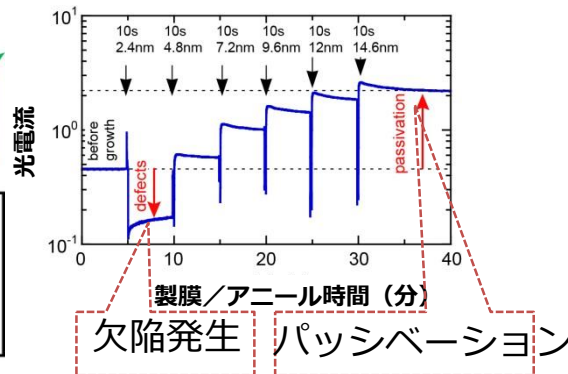
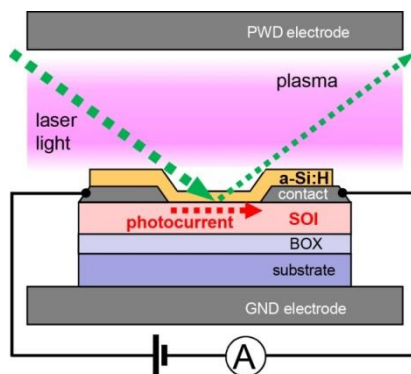
a-Si:Hパッシベーション技術開発

2ステップa-Si:H製膜 ⇒ 界面特性向上

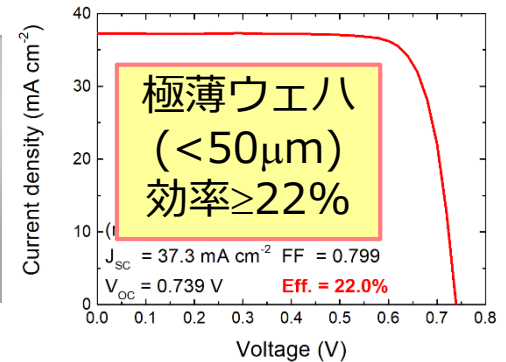
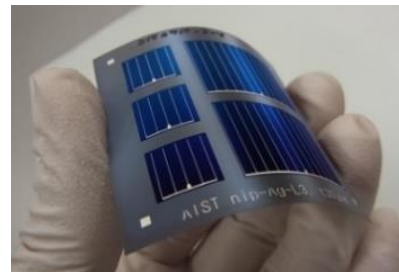


パッシベーション膜・界面評価

界面欠陥のリアルタイム評価法を開発

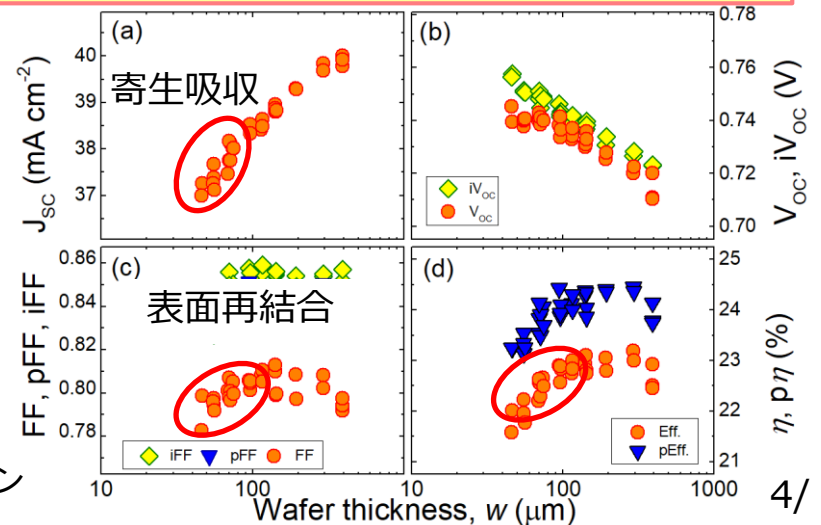


極薄セル可能性実証・ウェハ厚影響調査



「薄型 & 高効率」への課題

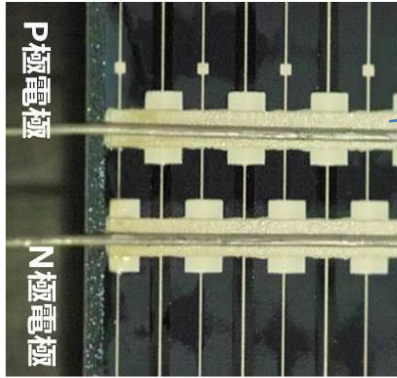
①寄生吸収(J_{SC}) ②表面再結合(FF)



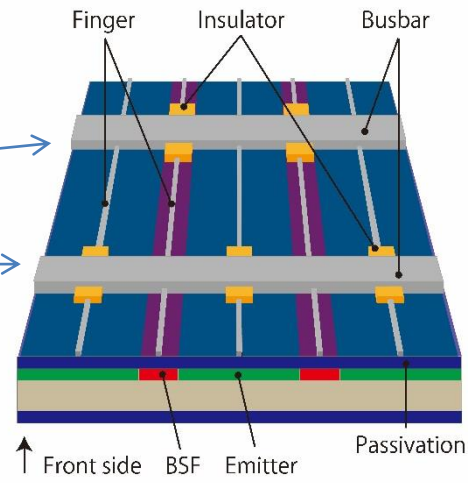
FREA作製裏面電極型セル



(a) 受光面側



(b) 裏面電極部分

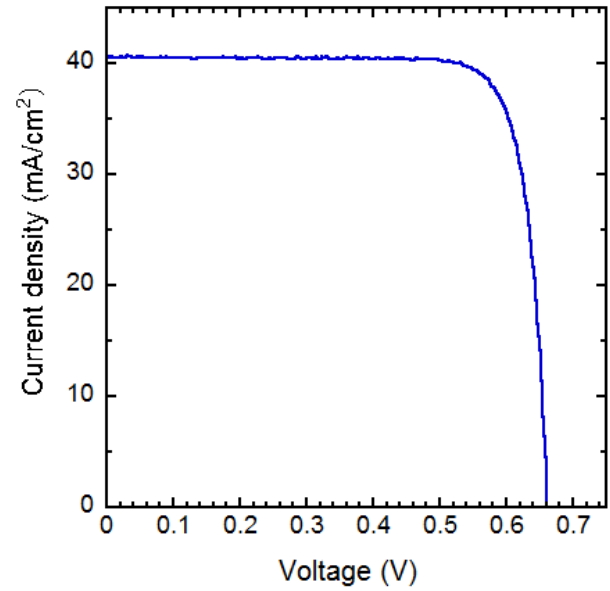


両面受光一裏面電極型セル

作製したセルの特性

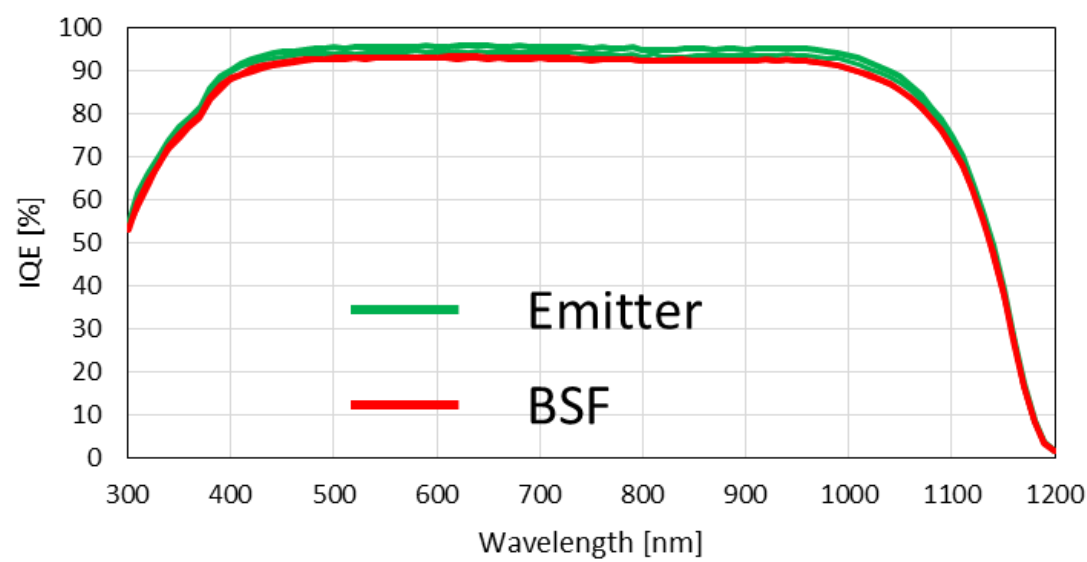
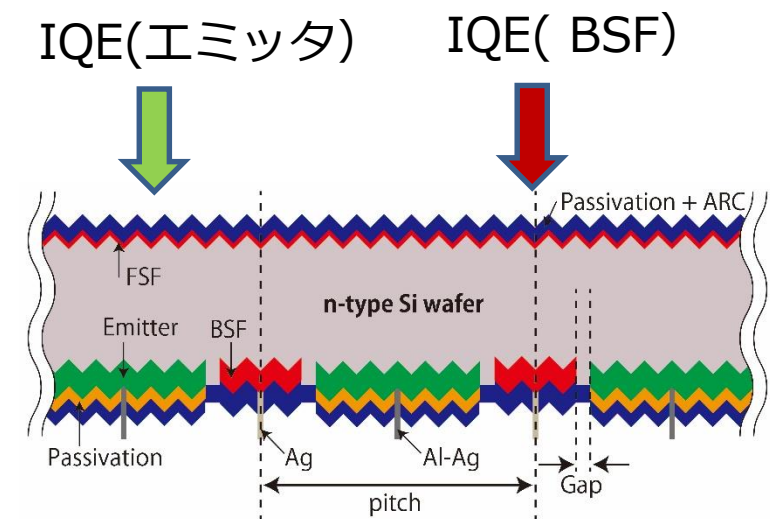
裏面コンタクト	Jsc [mA/cm ²]	Voc [mV]	FF [%]	Eff. [%]
ライン状	40.6	660	82.3	22.1
ポイント状	41.3	673	76.2	21.1

- 変換効率 22.1% を達成
- 裏面ポイントコンタクト化によりVoc向上

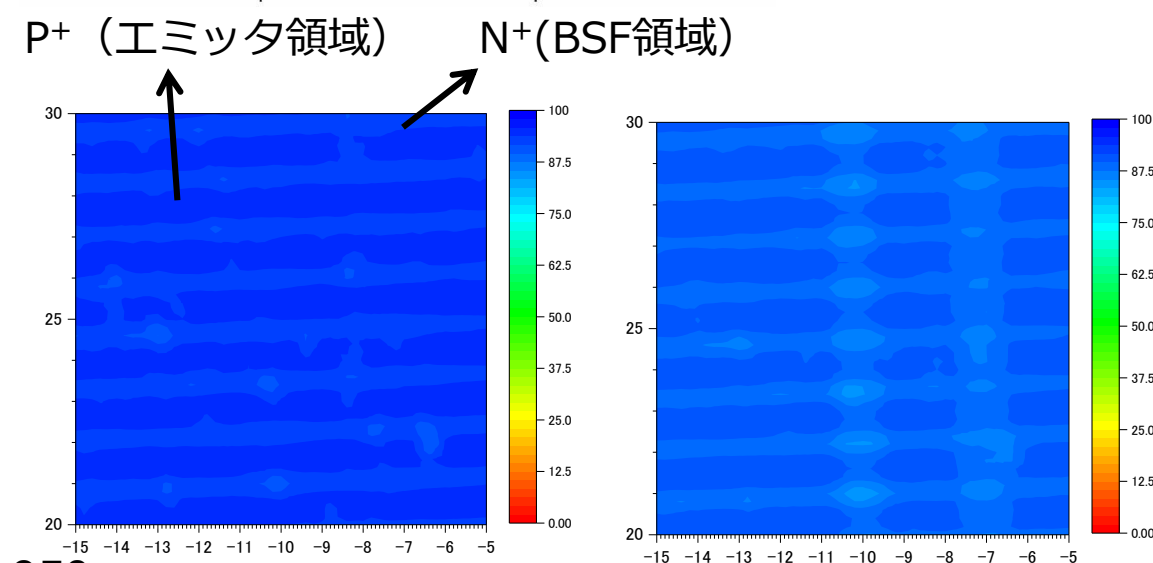


I-V特性

■ 内部量子効率 (IQE)



作製したセルの内部量子効率



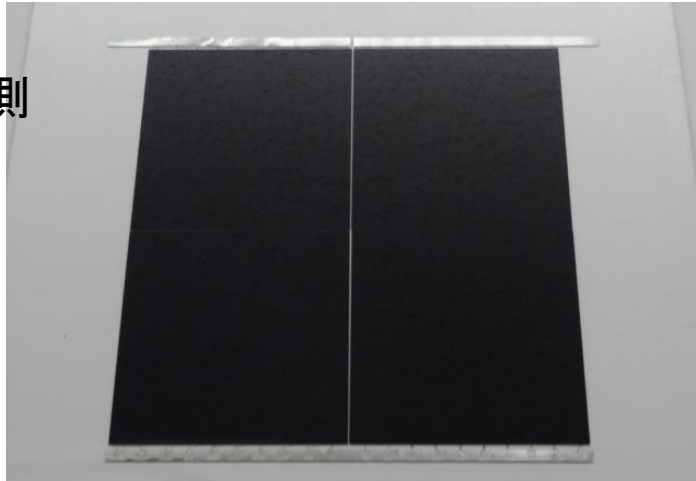
- 作製プロセスの改善により、BSF領域上でのIQEの低下が少なくなり、エミッタ、BSF領域上ともに良好な量子効率を得られた。

950 nm 作製したセルの内部量子効率マッピング 1030 nm

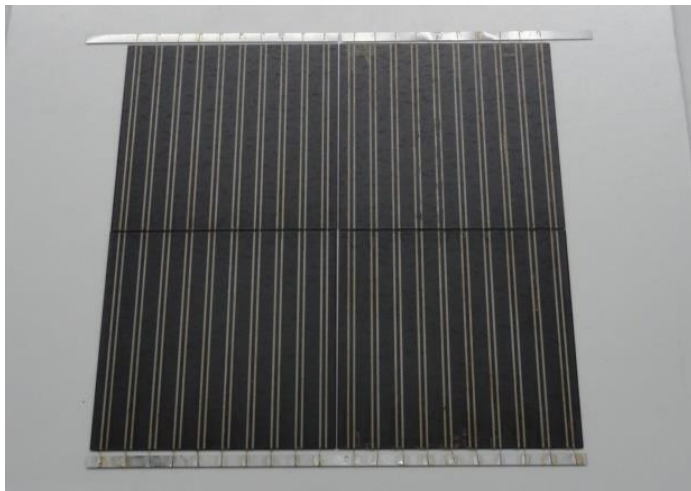
■ モジュール化技術

両面受光一裏面電極型セルを用いたモジュールを作製

受光面側

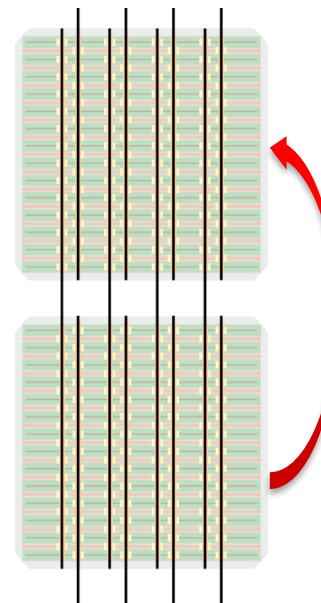


裏面側



作製したモジュール

- スクリーン印刷法による電極形成
- 細線ワイヤーによるモジュール化
- 細線電極により、裏面電極間からの光取り込みが可能
- 損失を増やすことなくセル同士を繋げられる。
- セルを180度回転することで、モジュール化が可能なセルデザインを設計。

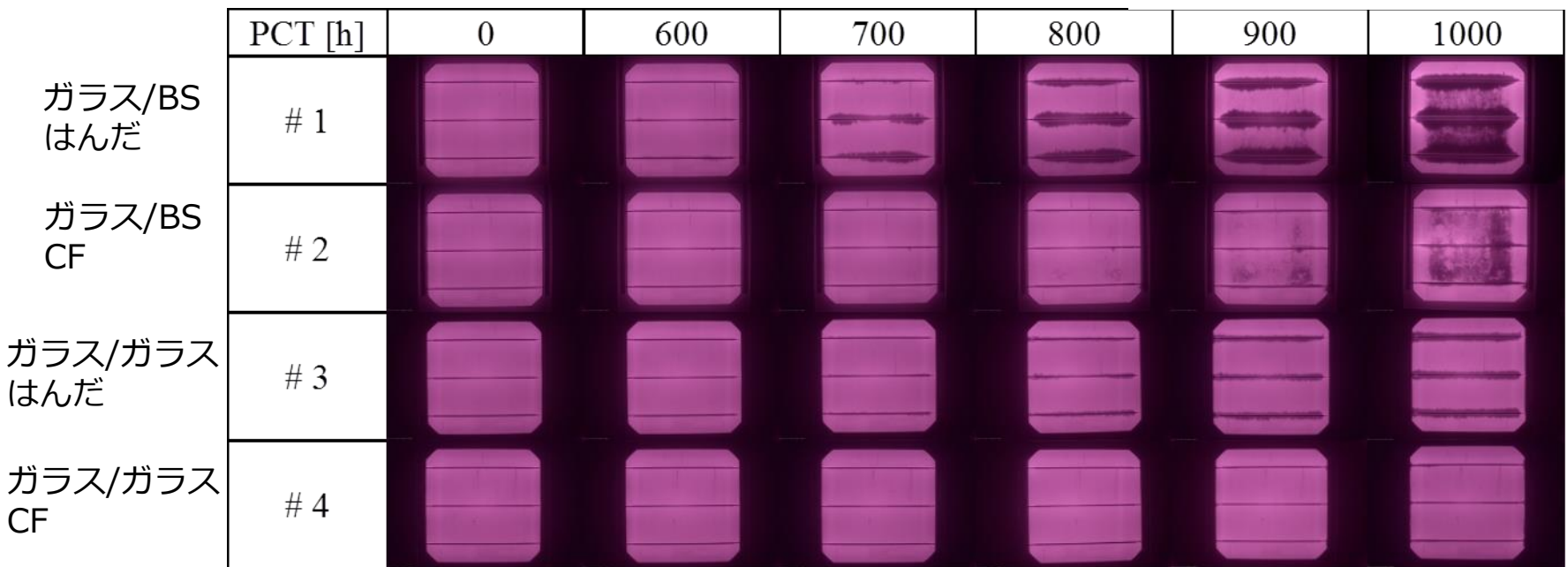


セルを180度回転
して接続していく。

■ PCT試験によるインターコネクタIC沿い劣化

Pressure Cooker Test (PCT): 110℃/85%RH

(CF: 導電性フィルム)



Module type	Module structure	Flux coating	solder component	Tabbing
#1	Glass-backsheet	near busbar	Sn-40Pb	soldering
#2	Glass-backsheet	None	Sn-3.0Ag-0.5Cu	CF bonding
#3	Glass-glass	near busbar	Sn-40Pb	soldering
#4	Glass-glass	None	Sn-3.0Ag-0.5Cu	CF bonding

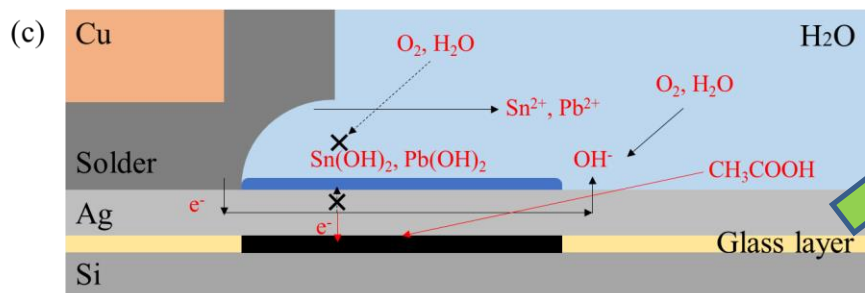
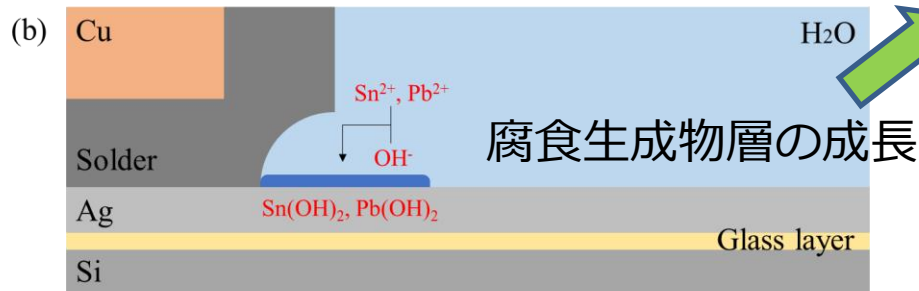
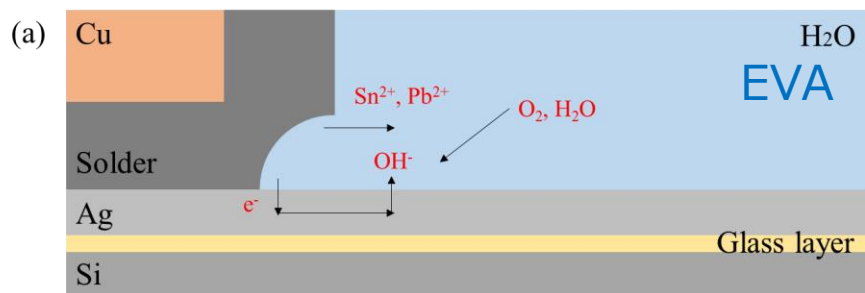
Glass/Glass
鉛フリーはんだ配線
CFタブ付け

➡

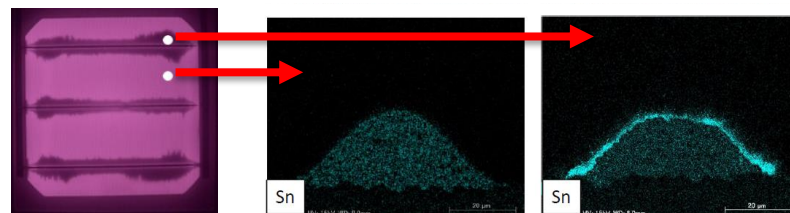
Pressure Cooker Test (PCT)
1000時間でも劣化しない！

■ インターコネクタIC（バスバー）からフィンガー電極に沿った劣化機構の解明

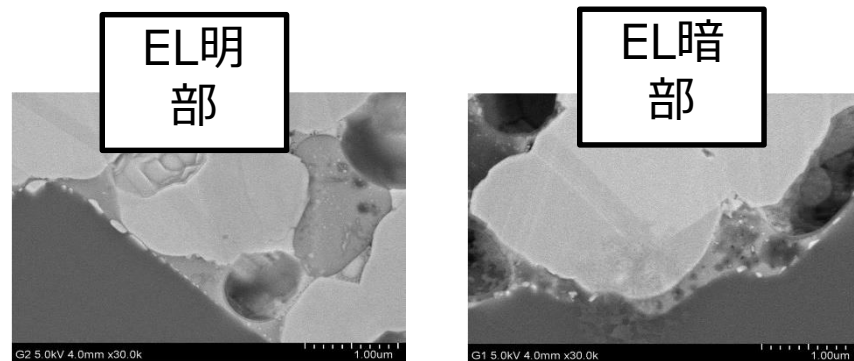
- Agバスバー電極とインターコネクタ被覆はんだとの間のガルバニック腐食に基づいた劣化機構を提案



PCT
600h



(1) 劣化部Agフィンガー電極上でのSn化合物の析出



(2) 界面ガラス層の変質

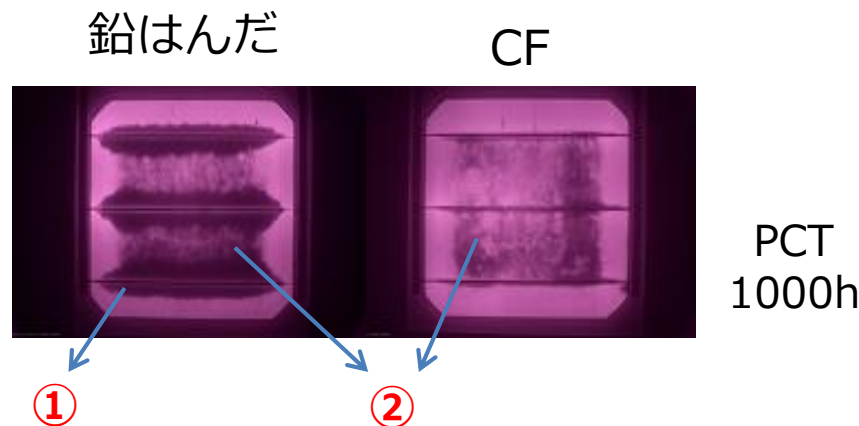
腐食生成物層で覆われると表面ではOH⁻反応が起きず、より遠くでの反応、またはAg/Si界面で反応が起こる。



モジュール長寿命化への指針を得た。

■ 劣化機構の解明

高温・高湿試験による劣化は、2種類の劣化モードが混在することを明らかにした。



① IC沿い劣化モード →ガルバニック腐食による酢酸腐食サイクルの加速

高酢酸耐性電極ペーストでは、IC沿い劣化の後に、酢酸濃度による劣化(エッジ近傍 or 中心部)が起る (①→②)

② まだらな劣化モード →酢酸濃度分布のみに基づく劣化

低酢酸耐性電極ペーストでは、酢酸濃度による劣化(エッジ近傍 or 中心部)が主な劣化モード

- 過剰フラックス, 鉛はんだ, ICタブ付 →ガルバニック腐食を促進
- CFモジュール →フラックスの不使用、Ag電極とはんだの接触が最小限
→ガルバニック腐食を抑制

まとめ

企業との連携

- 極薄ウェハ対応SHJセルプロセスを開発、厚さ46 μm にて変換効率22.0%を達成。
- 薄型化と表面再結合・寄生吸収の相関を明確化した。
(コマツNTCが極薄ウェハを提供。)
- 京セラよりモジュールの提供を受け、共同で故障モードや劣化メカニズムの検討を進め、モジュールの寿命予測の手法を開発に貢献。

共通基盤技術

- 熱拡散、スクリーン印刷電極、細線ワイヤーを適用した両面受光一裏面電極型セルを作製し、変換効率22.1%を達成した。
- このセルを用いて、細線ワイヤーによるモジュール化を行った。
- モジュール（封止材EVA）のPCT試験から、Agバスバー電極とインターコネクタ被覆はんだとの間のガルバニック腐食に基づいた劣化機構を提案。
- 高温・高湿試験による劣化は、2種類の劣化モードが混在することを明らかにした。

受賞

EU PVSEC 2018 Poster Award

両面受光一裏面電極型太陽電池の評価に関する発表に対して。

