

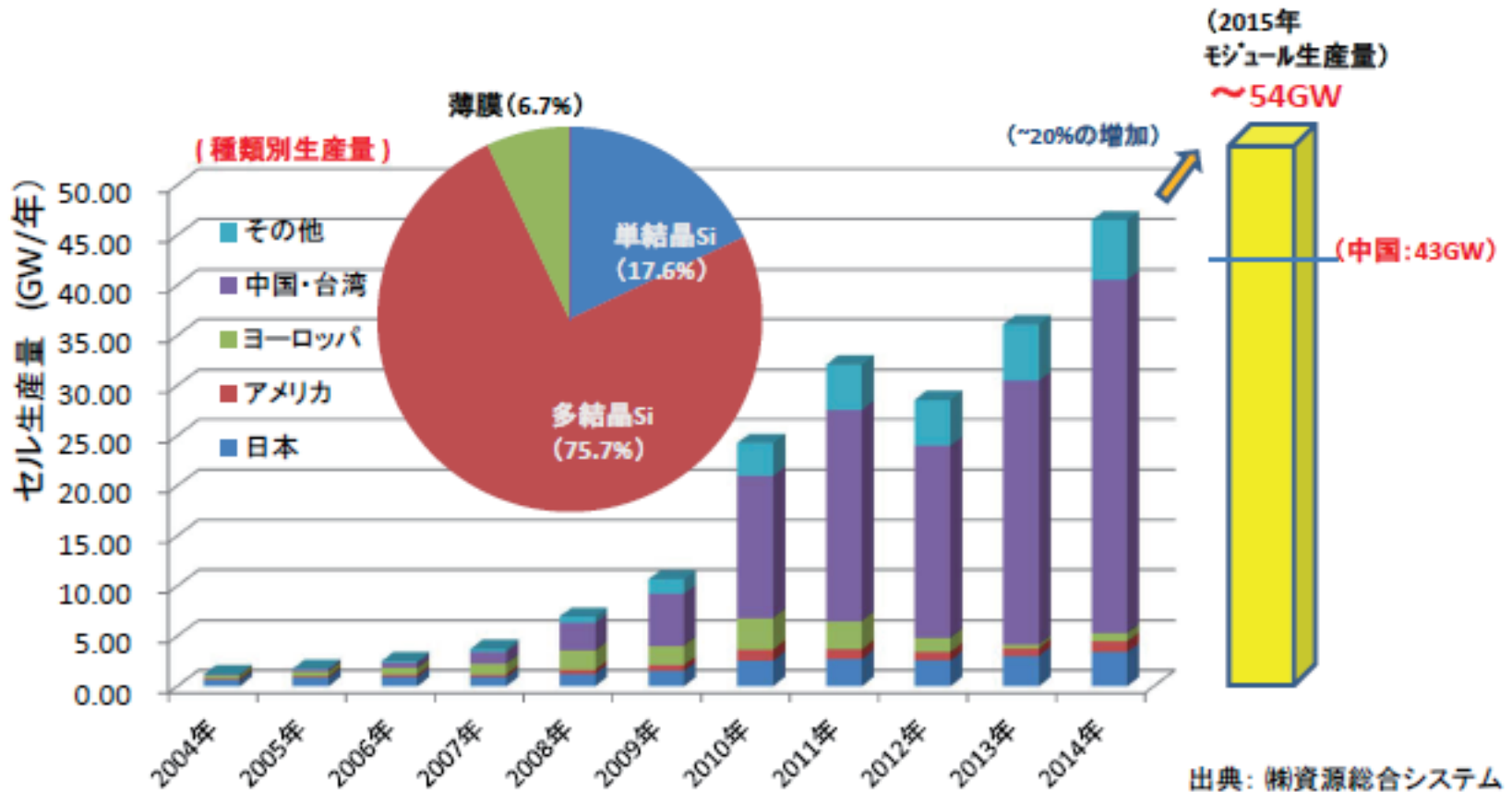
# FREAにおける結晶シリコン太陽電池の進展

## 発表内容

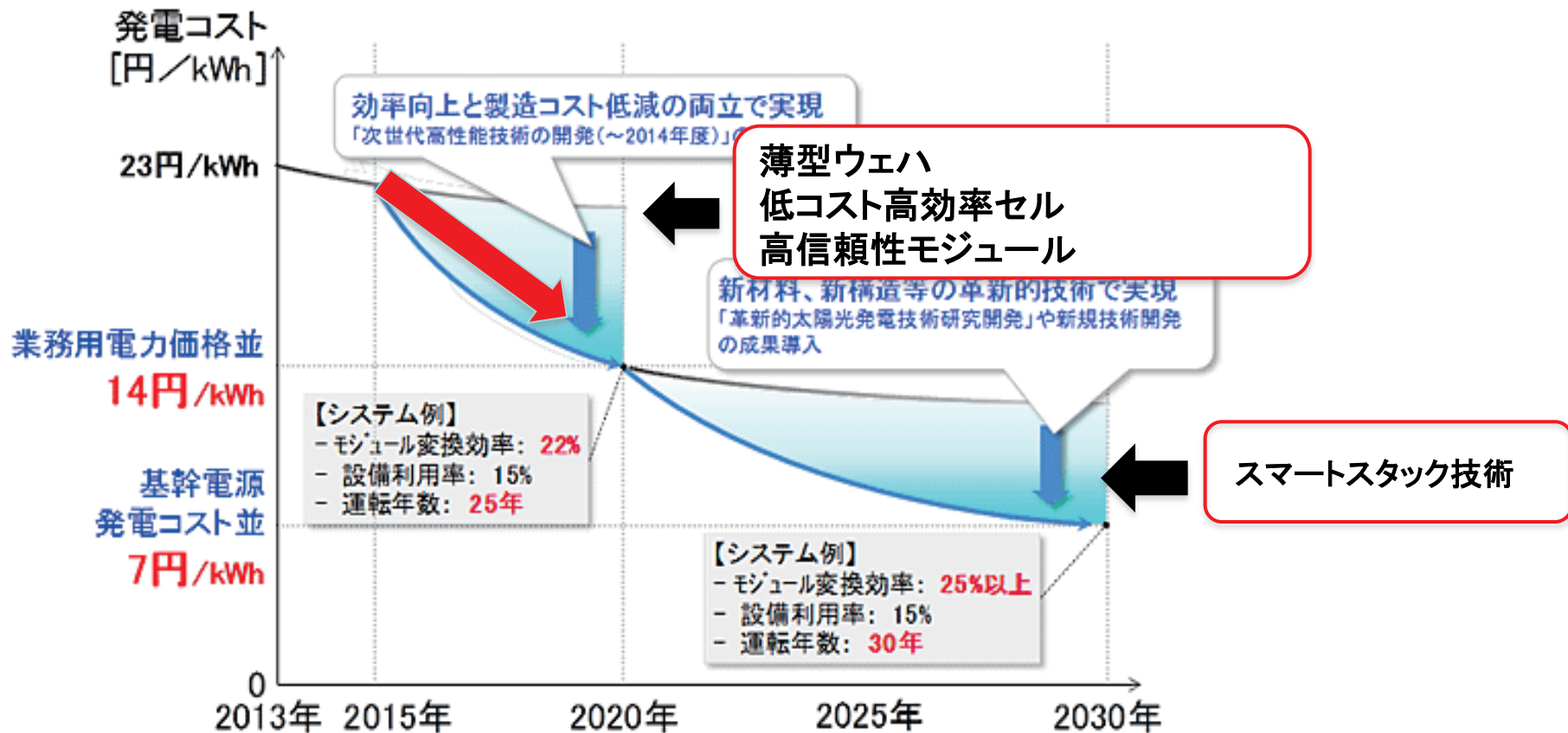
1. 太陽電池市場の概要
2. FREAでの取り組み

国立研究開発法人産業技術総合研究所  
再生可能エネルギー研究センター  
太陽光チーム  
白澤 勝彦

# 太陽電池別、国別のセル生産量



# 太陽光チームの研究目標



「太陽光発電開発戦略 (NEDO PV Challenges)」より

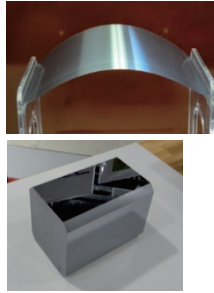
1. 高効率・高信頼性モジュールを低コストで作製するための技術開発
2. 次々世代の高効率 (>30%) 太陽電池の開発

→ 発電コスト目標 2020年 14円/kWh、2030年 7円/kWh を先導する技術の開発を行う。

# FREAの結晶シリコン太陽電池試作施設

ウエハ

マルチワイヤーソー



粗洗浄装置



ウェハ分離装置



仕上げ洗浄装置



セル

テクスチャー装置



熱拡散装置



pn分離装置



反射防止膜形成装置

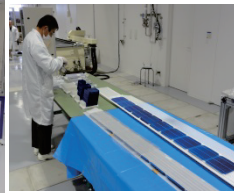
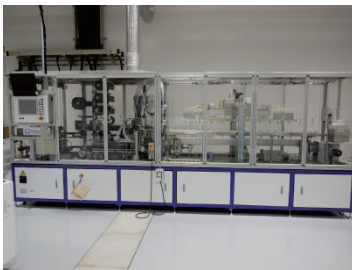


電極印刷装置



モジュール

ストリング(10セル直列)装置



ラミネータ(60セル)



ソーラーシミュレータ装置



## ウェハ評価装置

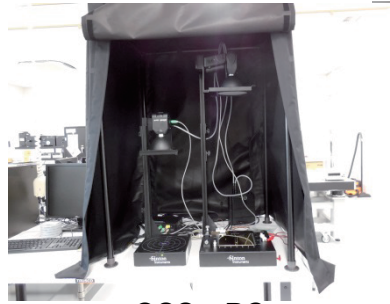


ラマン



ウェハ  
検査装置

## セル評価装置



QSS-PC



量子効率



PV2000

## モジュール評価装置(一部実験装置)



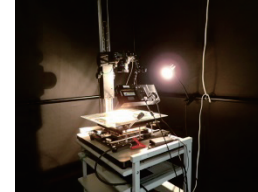
CF貼付装置



CFストリングス形成装置



CP塗布装置



EL/ PL



PID



PCT



荷重試験装置



冷熱衝撃



レーザ検査装置



高温高湿



DML



インピーダンス



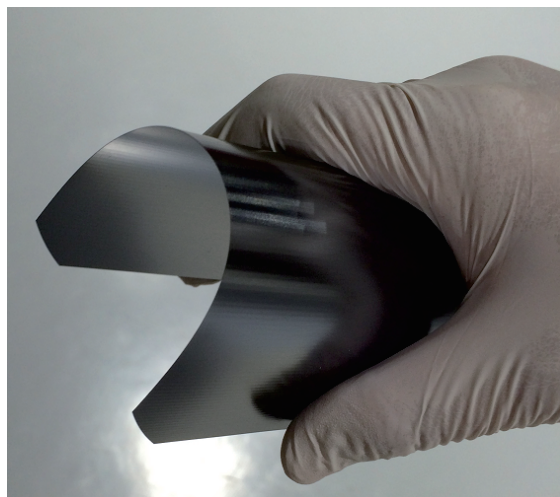
引張試験  
ウェハ強度試験

# FREAにおける開発課題

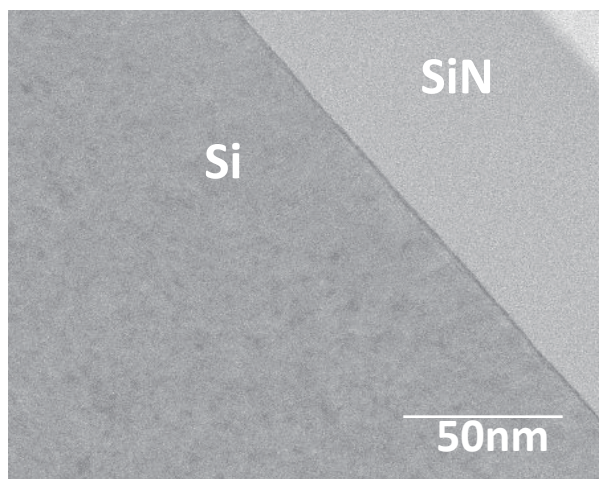
## (1) 高効率セル開発

### 課題

- ・薄型セルに対する表面パッシベーション技術の開発
- ・イオン注入技術を用いた新しいセル作製プロセス
- ・高効率セルの開発（ポスター49：立花福久）
- ・結晶シリコンスマートスタック技術（ポスター14：水野英範）



薄型ウェハ



表面パッシベーション技術

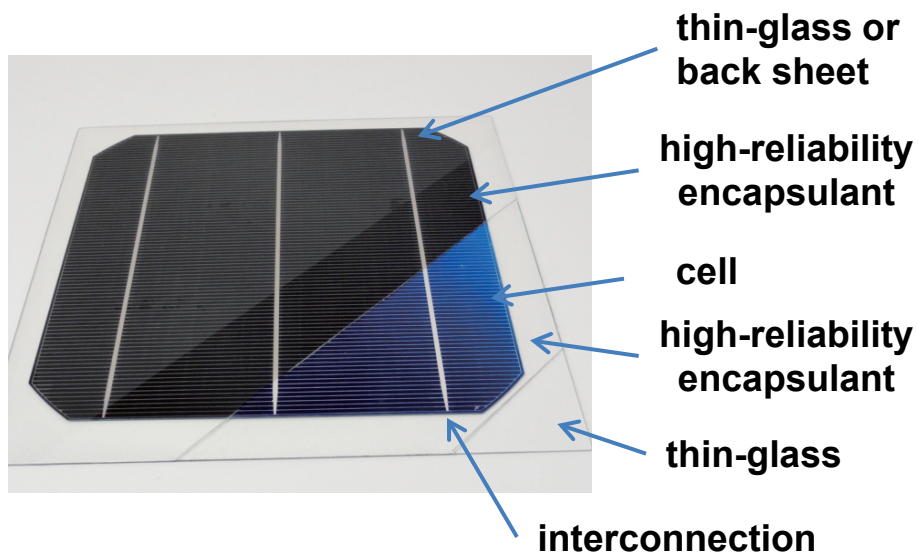


イオン注入装置

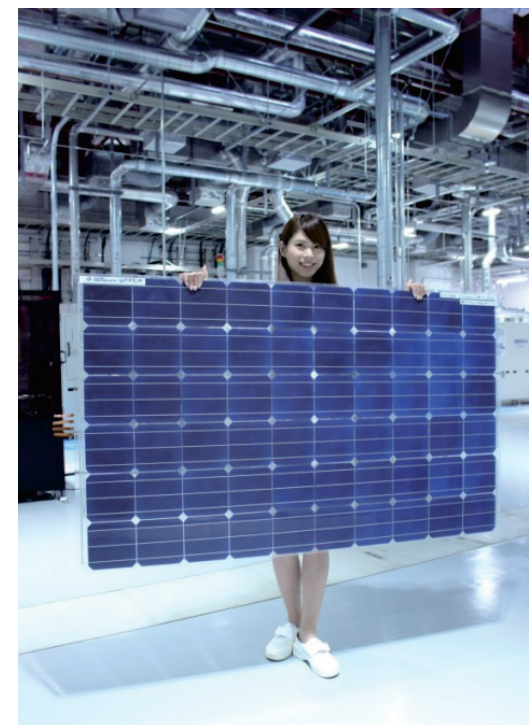
## (2) 高効率・高信頼性モジュールの開発

### 課題

- ・高信頼性・高効率モジュールの開発
- ・新しい評価技術の開発(ポスター51 : 望月敏光)

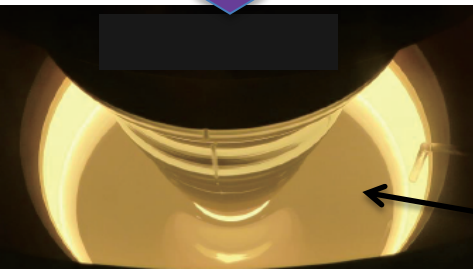
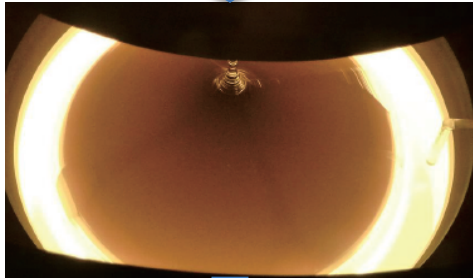
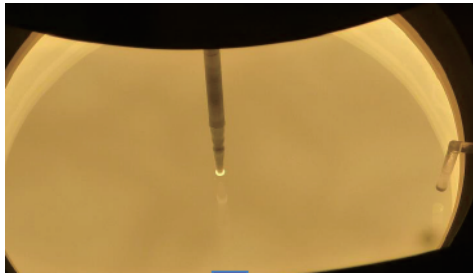


Development items for a high-reliability module



FREA's light-weight module  
(Frameless, double-side thin-glass)

# 高品質シリコンインゴットの作製

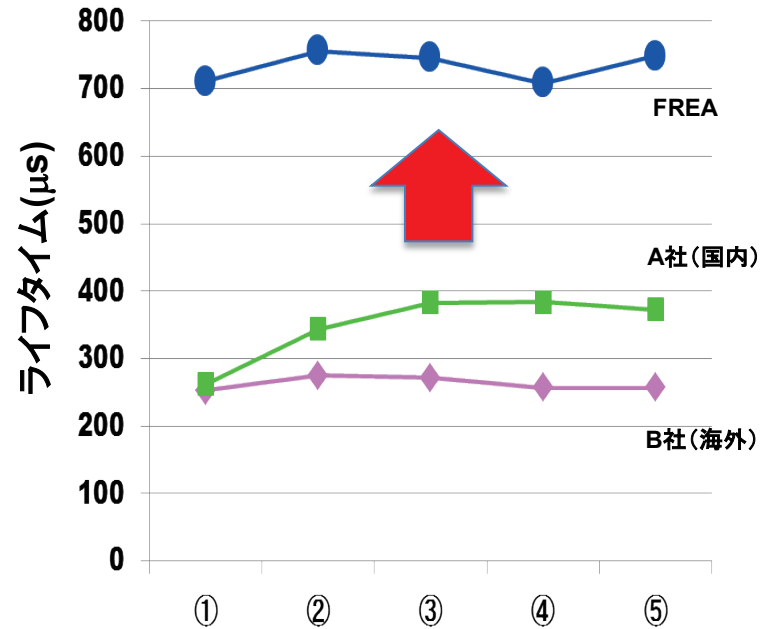


550mm

インゴット

シリコン融液

FTB研究所・東北大学との共同研究



ウェハ面内の位置(①は中心部)  
 インゴットをスライスしたウェハの  
 キャリアライフタイム評価(右)

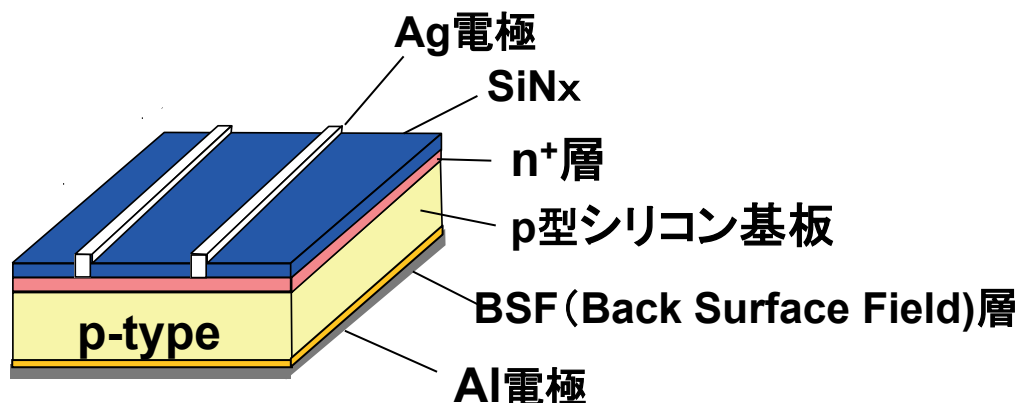
➡ 新開発石英るつぼ(FTB研究所製)を用いた結晶成長によって、  
 高品質シリコンインゴットの作製に成功 (キャリアのライフタイム値: 現行市販品の2-3倍)。

ポスター41: 福田哲生

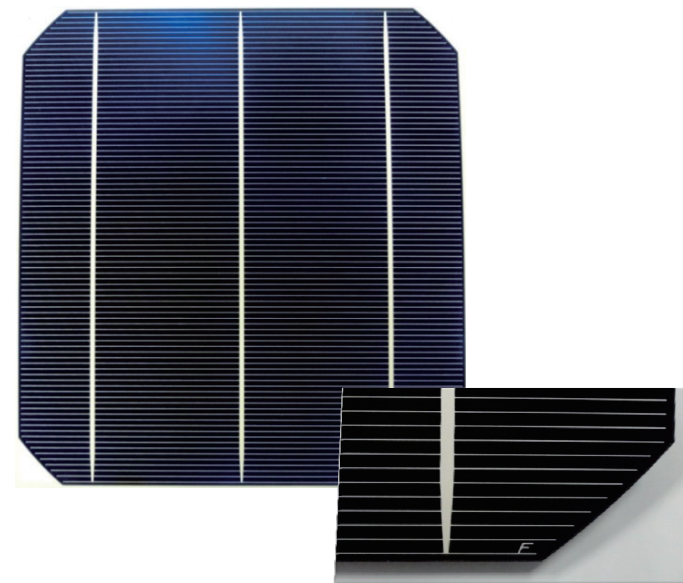


# AI-BSFセル (FREAセルプロセス)

現在の主流は単結晶、多結晶ともAI-BSFセル



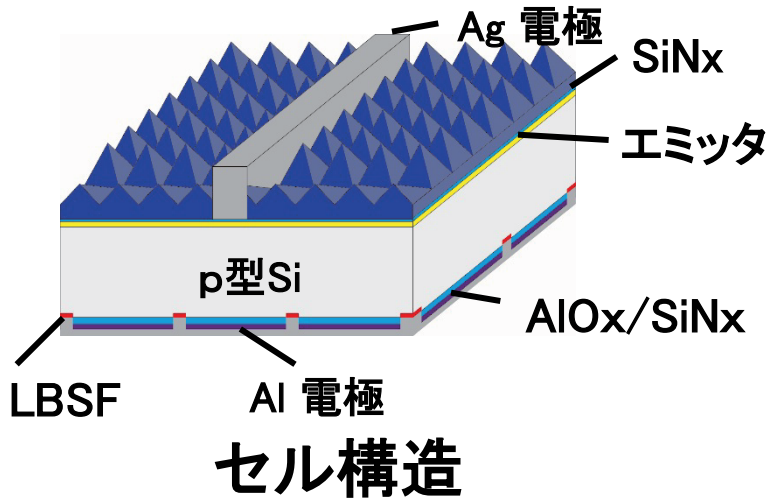
セル構造



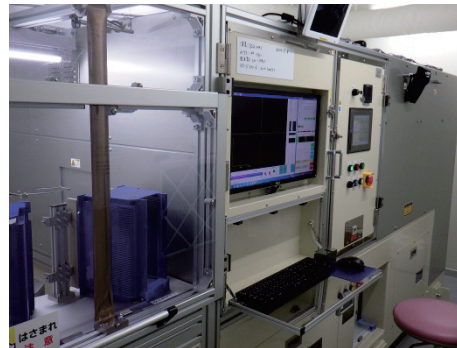
- ・プロセスが少ない⇒ 設備投資が少ない
- ・スクリーン印刷、表Ag電極/裏Agアルミ電極同時焼成、BSF同時形成
- ・比較的高効率 (多結晶17.8%、単結晶19%)

平成27年度:セル(厚さ0.18 mm)変換効率 19.3% の量産化試作施設

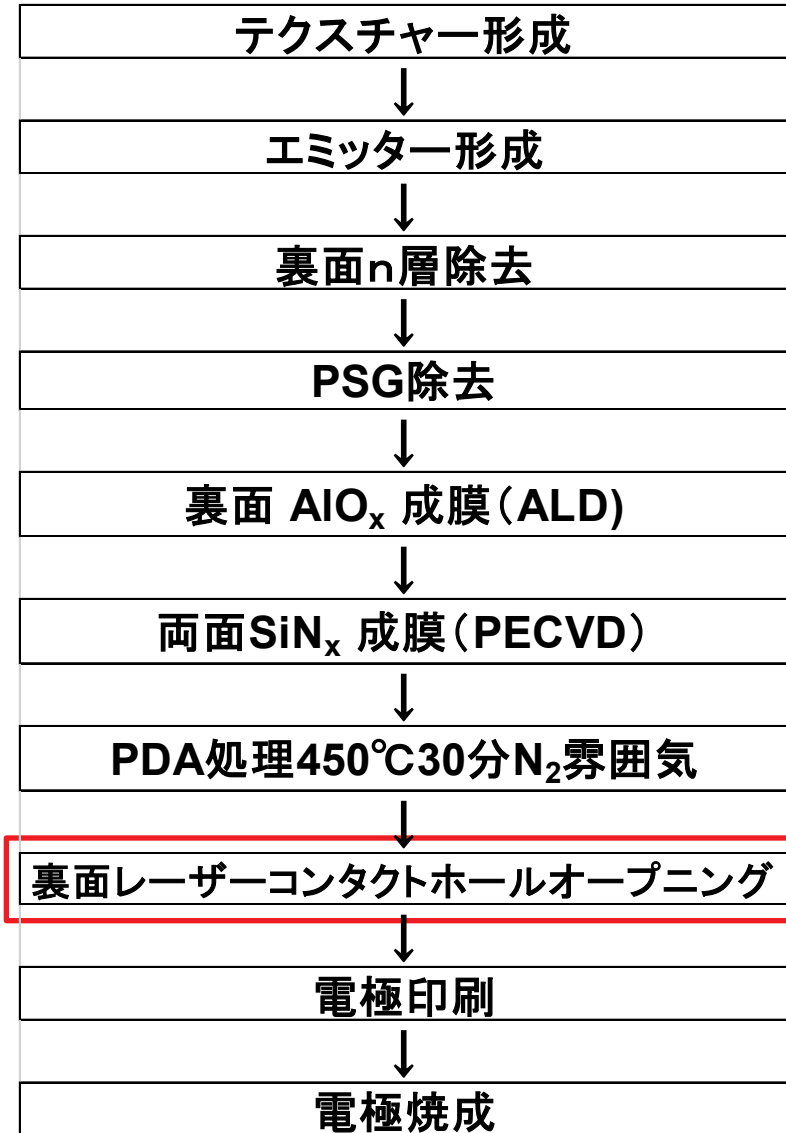
# PERCセル (FREAセルプロセス)



ALD装置



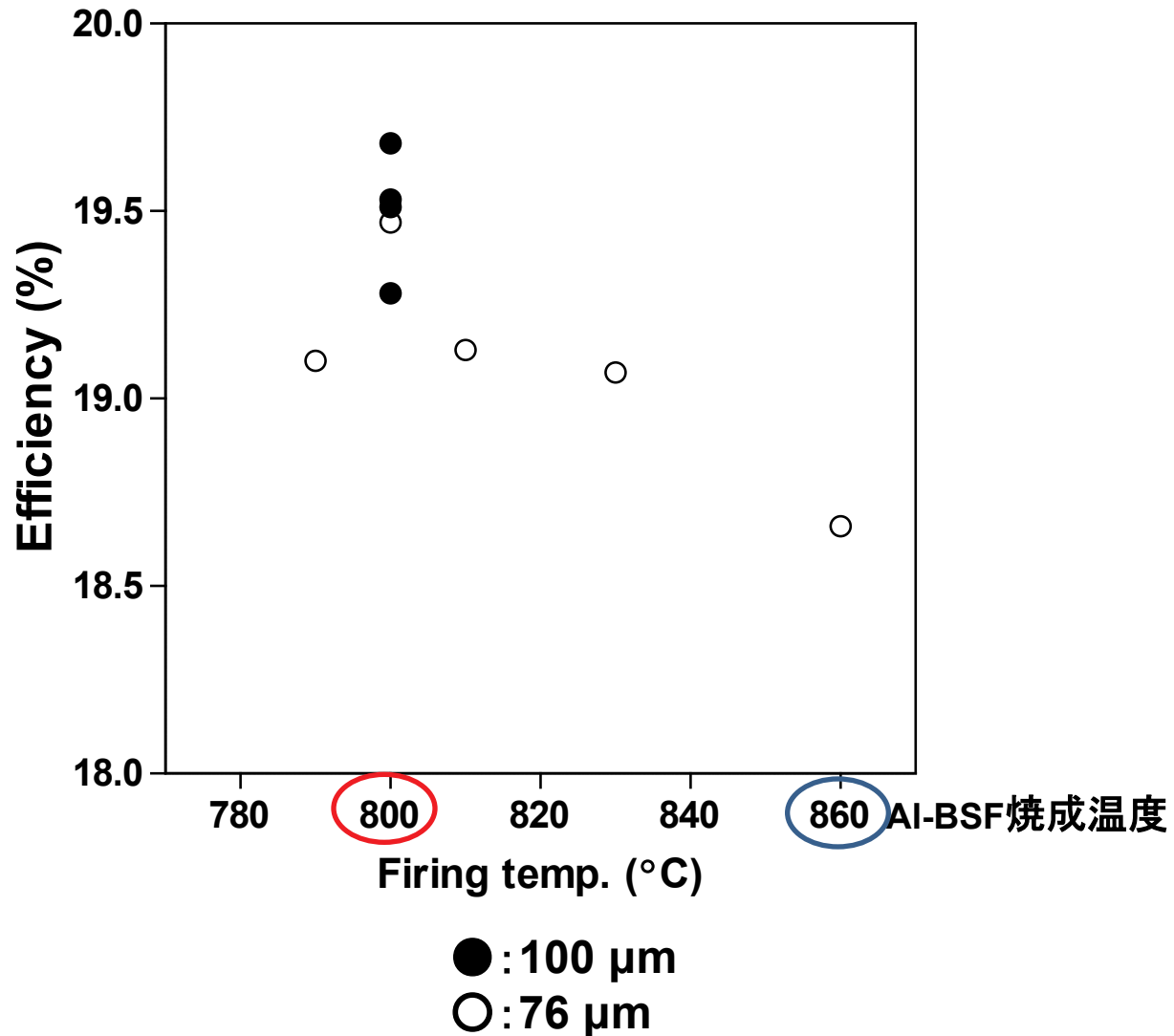
レーザー加工装置



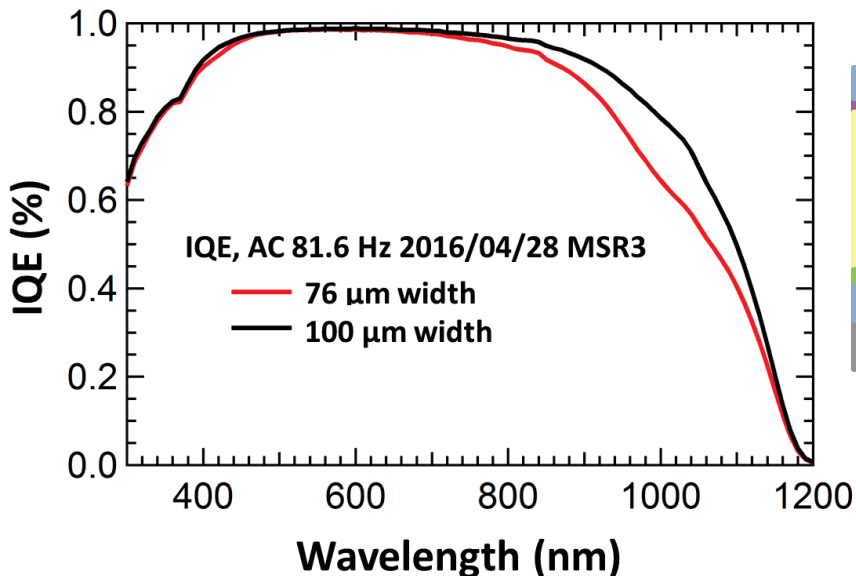
## セルプロセス

ポスター47 : Supawan Joowichien

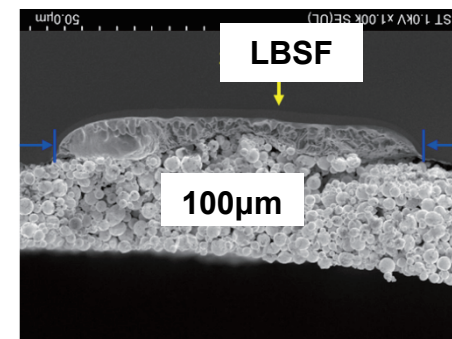
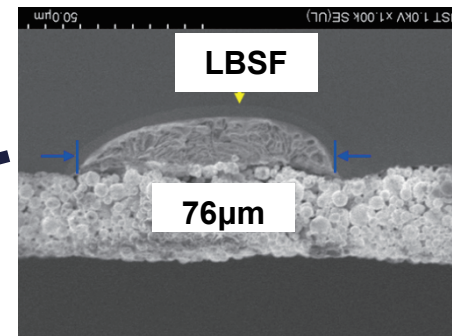
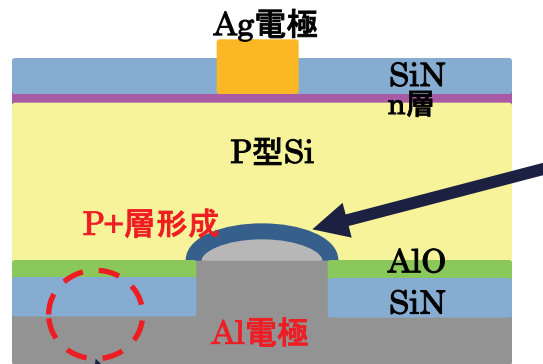
## L-BSF幅及び焼成温度とセル変換効率



## LBSF幅と内部量子効率



## PERCセル構造におけるAl電極の課題



焼成やAlによるパッシベーションへの影響  
(2015年AIST成果報告会で発表)

平成27年度: PERCセルの基本プロセス確立

平成28年度: 変換効率向上を図る

・長波長感度の向上

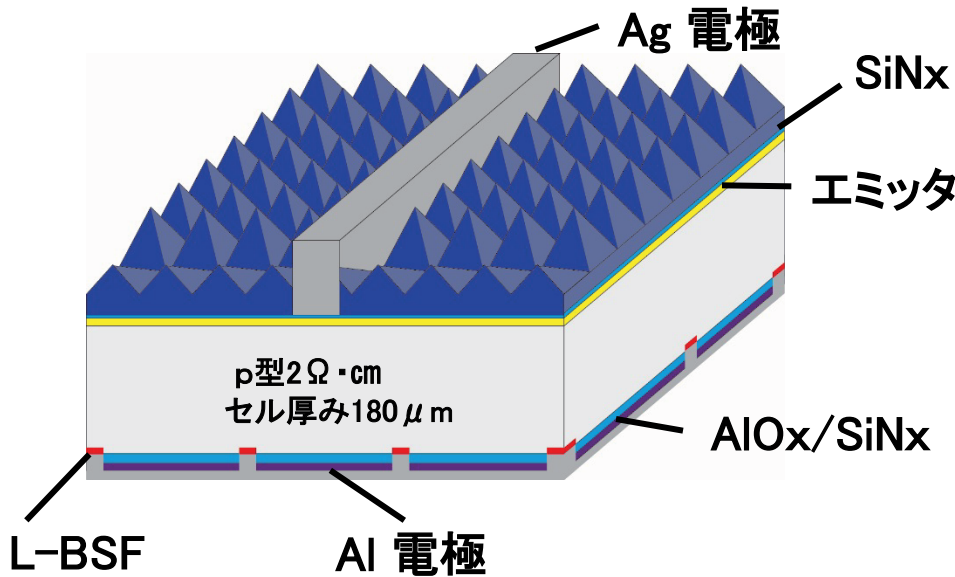
AIO成膜

アニール

LBSF (電極設計、Alペースト、焼成)

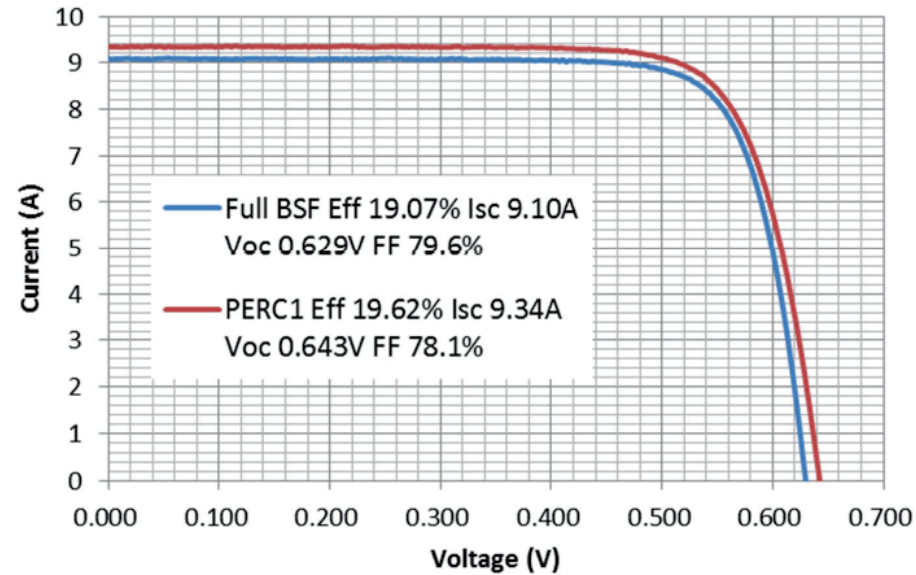
# スパッタAIOを用いたPERCセル

スクリーン  
デュポン  
産総研



セル構造

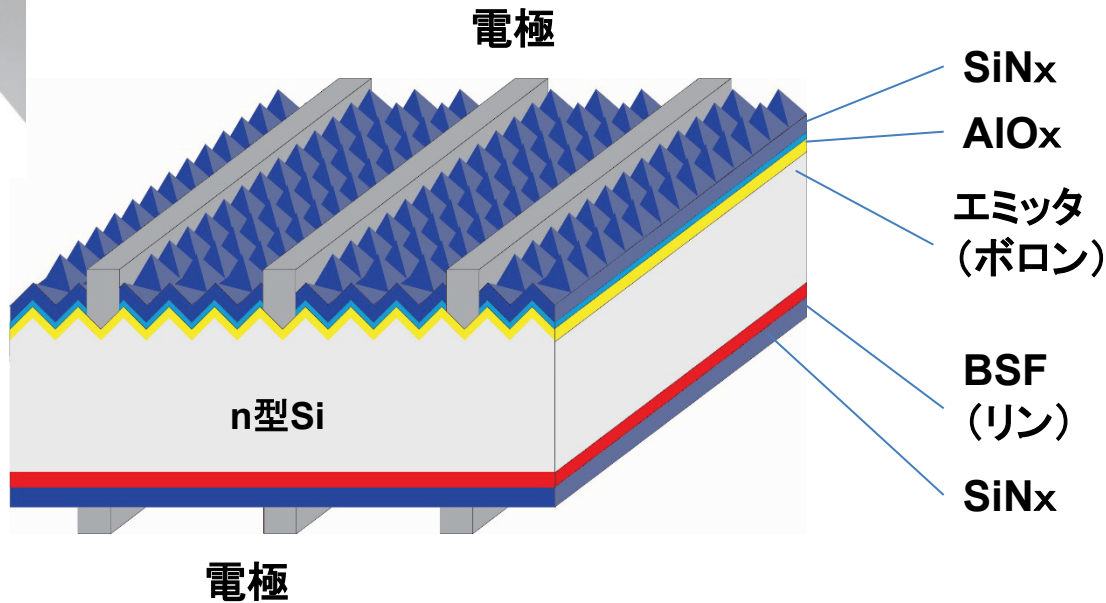
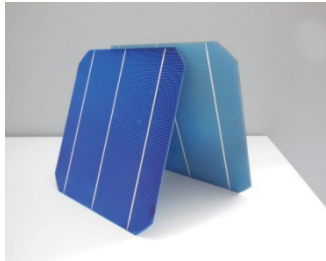
PDA条件: 650°C30分、N<sub>2</sub>雰囲気



IV 特性

セル変換効率 19.6%

# バイフェイシャルセル (FREAセルプロセス)



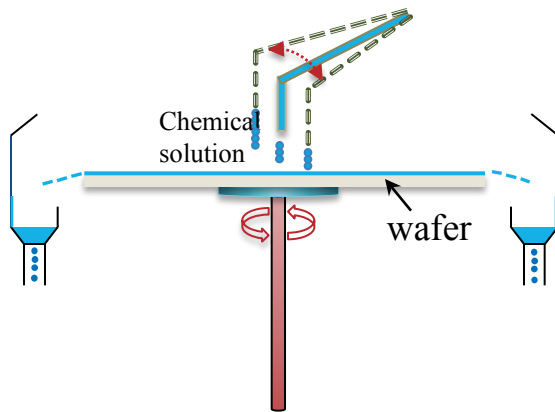
## セルの構造

ポスター48 : シャラムジャンスマイ

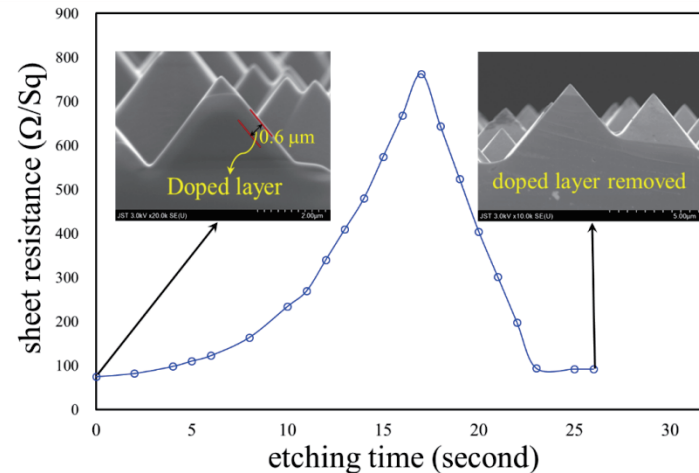
# 裏面テクスチャー形成技術による両面発電性能向上



## セルプロセス

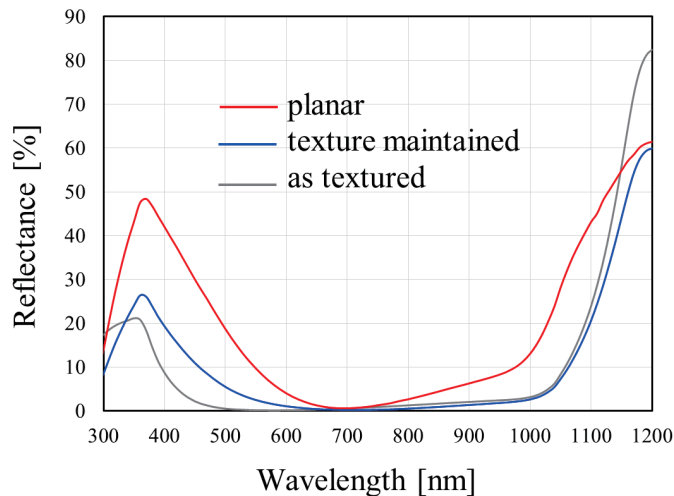


スピン法による裏面エッチング  
エッチング液: 日本化成(株)製



シート抵抗によるエッチング量の管理

## エッチングによる反射特性の比較

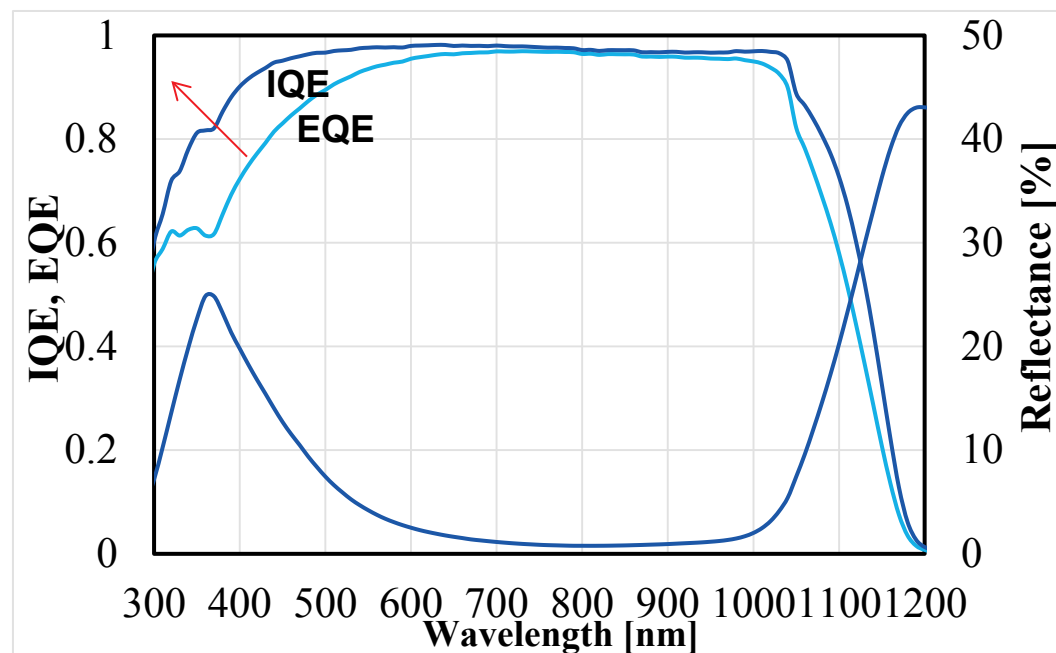


## 裏面エッチングによるセル特性比較

Table I: Front and rear side one sun parameters of rear side flattened and rear side texture n-PERT solar cell (AM1.5G, 100mV/cm<sup>2</sup>, 25°C).

		$J_{sc}$ [mA/cm <sup>2</sup> ]	$V_{oc}$ [mV]	FF [%]	$\eta$ [%]	Bifaciality
Previous cell process	Front	38.2	626.5	78.72	18.8	87 %
	Rear	32.9	624.0	79.2	16.5	
New cell process	Front	38.0	627.5	79.7	19.0	91 %
	Rear	34.4	625.2	80.6	17.3	

セルサイズ	156 mm × 156 mm
$J_{sc}$	38.9 mA/cm <sup>2</sup>
$V_{oc}$	641 mV
FF	77.7 %
セル効率	19.4 %



平成27年度: PERTセルの基本プロセス確立

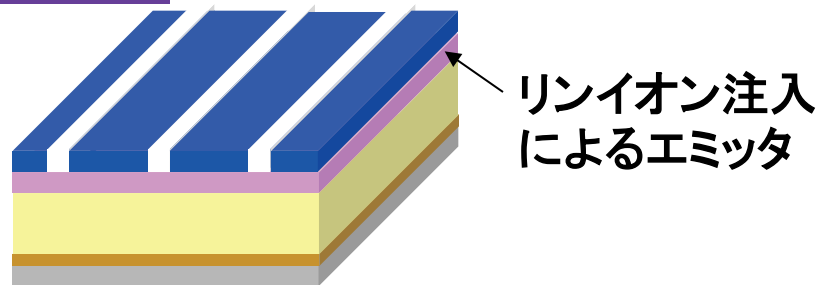
平成28年度: 変換効率向上を図る

- ・短波長感度の向上
- ・ボロン拡散プロファイル
- ・パッシベーション
- ・反射ロスの低減
- ・FF向上
- ・電極設計



# イオン注入による高効率太陽電池作製技術

- 基板  
p-type  
156 × 156 mm<sup>2</sup>
- テクスチャー形成
- エミッタ形成  
リンイオン注入  
アニール
- 反射防止膜
- 電極形成
- 焼成



セル構造: AI-BSF

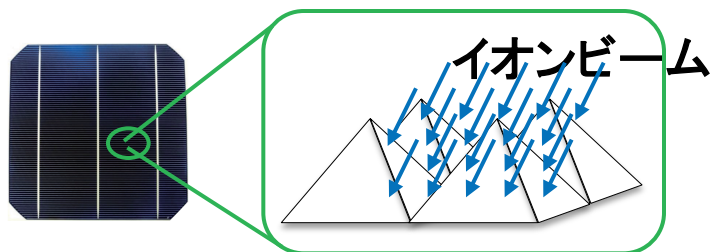


産総研のイオン注入装置

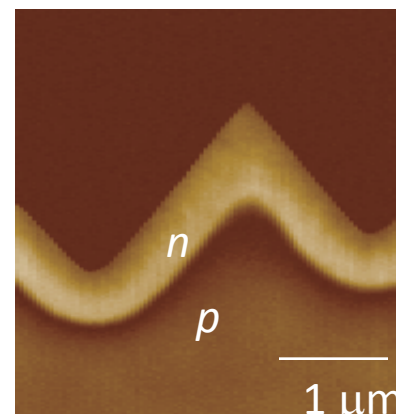
トピックス講演：棚橋克人

## テクスチャーのような三次元構造へのイオン注入は太陽電池セル特有のプロセス

## リンエミッタのキャリア分布



- テクスチャーへのイオン注入プロセス (注入条件, アニール条件) の理解が不可欠



3 keV,  $4 \times 10^{15} / \text{cm}^2$   
 チルト  $35^\circ$ , ステップ回転  $15^\circ$   
 $900^\circ\text{C}$ , 窒素雰囲気

テクスチャー形状に沿った均一な深さの拡散層を形成

*Proceedings of EUPVSEC 2015, pp. 35-38*

# 高信頼性モジュール

## モジュール構造や材料によるセルクラックへの影響について

### 1. 実験方法

表1に実験に用いたモジュールの仕様を示す。タブ線の接合は半田と導電性フィルム(CF)の2種類を用い比較を行った。図2に試験に用いたダイナミックメカニカルロード(DML)装置の外観を示す。また、図3に試験モジュールの外観を示す。

表1 試験モジュール仕様一覧表

	ガラス/BS1	ガラス/BS2	ガラス/ガラス
受光面カバー	ガラス 0.85 mmt	ガラス 0.85 mmt	ガラス 0.55 mmt
タブ線	鉛フリー半田/銅200 $\mu$ m	鉛フリー半田/銅200 $\mu$ m	鉛フリー半田/銅200 $\mu$ m
封止材(受光面)	EVA 0.45 mmt	EVA 0.45 mmt	EVA 0.45 mmt
封止材(裏面)	EVA 0.45 mmt	EVA 0.45 mmt	EVA 0.45 mmt
裏面カバー	PVF 38 $\mu$ m/PET 250 $\mu$ m/PVF 38 $\mu$ m	PET 25 $\mu$ m	ガラス 0.55 mmt

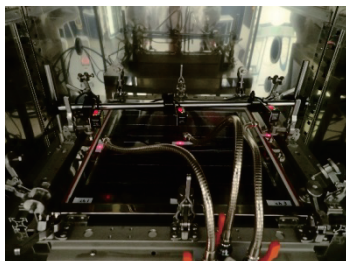


図2 DML試験装置の外観

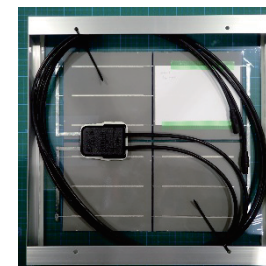
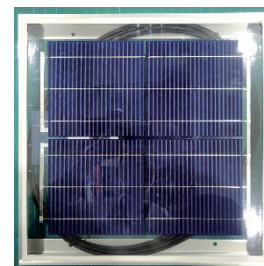
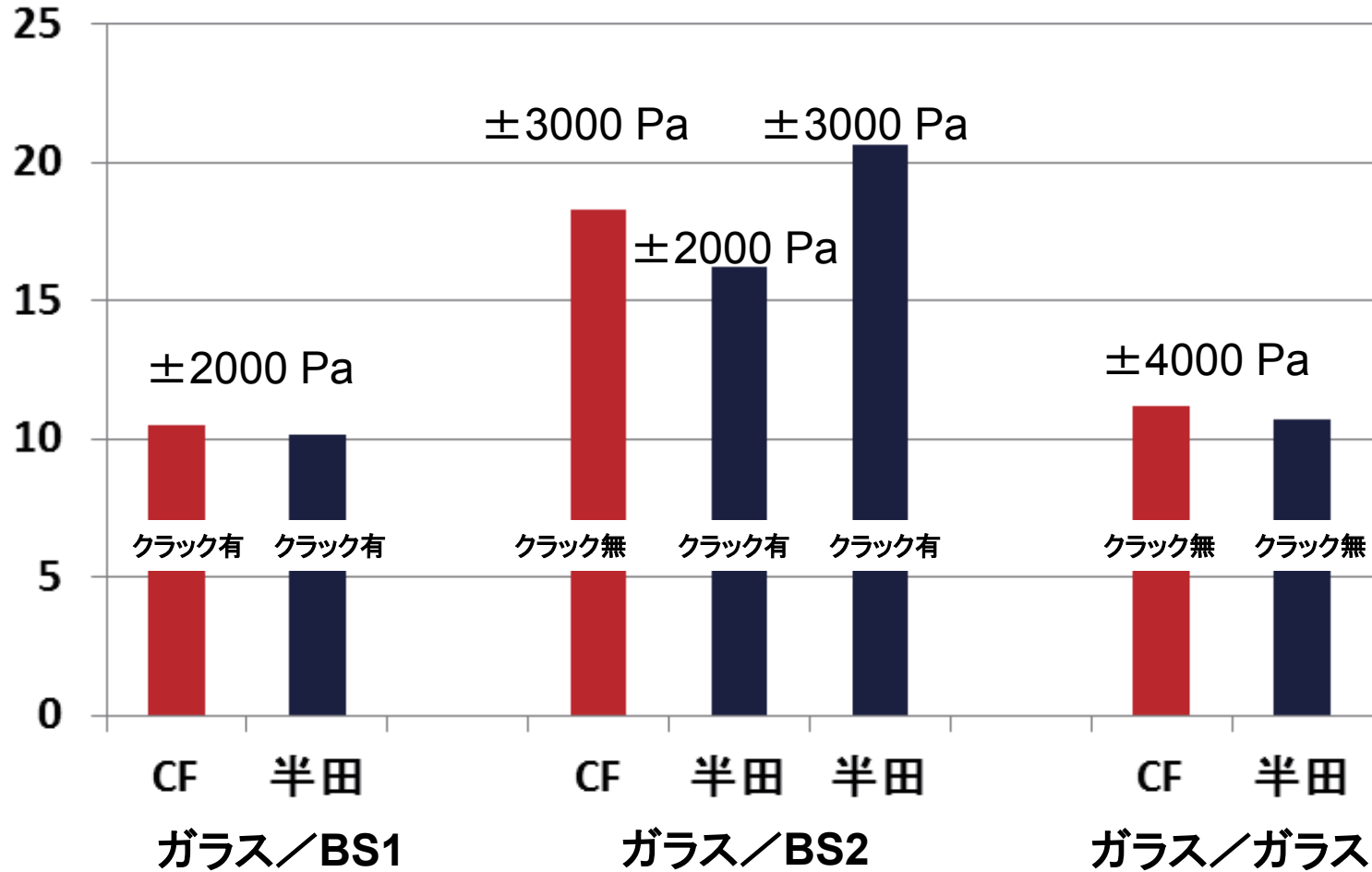


図3 試験モジュールの外観

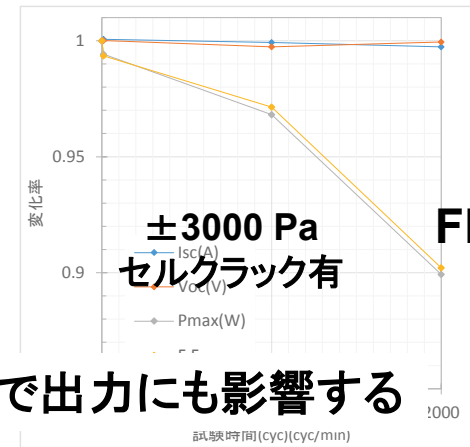
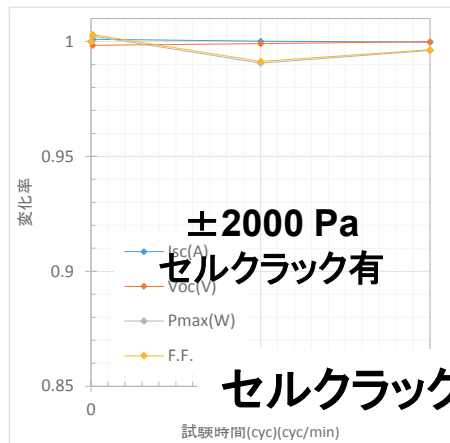
## 荷重と撓み量 (セル厚み175 μm)

撓み量(mm)



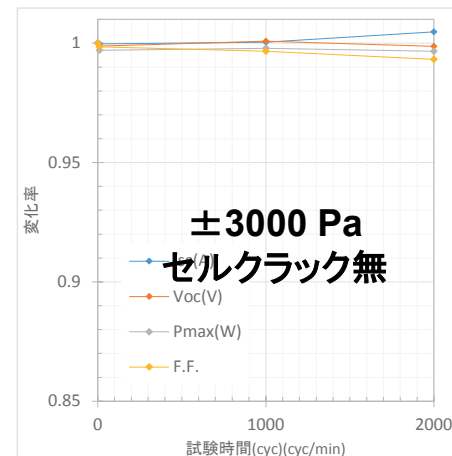
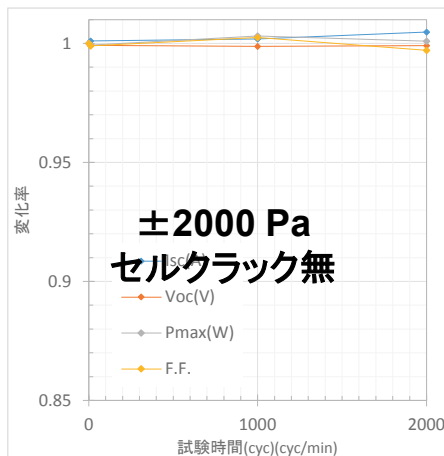
# 半田及びCFの試験前後の特性変化について

半田



セルクラックの発生状態で出力にも影響する

CF



1. シートの種類(厚み)によってセルクラックの発生状況が変わる
2. 半田接合では有意な差は見られなかったがCF接合で大きな差が見られた  
薄い裏面シートとCF接合を用いることでセルクラックに対して高い信頼性は得られる
3. ダブルガラスモジュールでは、荷重に対するセルクラックの発生はなく信頼性に対する有効性が示された。

# 被災地企業のシーズ支援プログラム(H26-27年度)

ポスター70

販売開始 ←

日本化成(株)

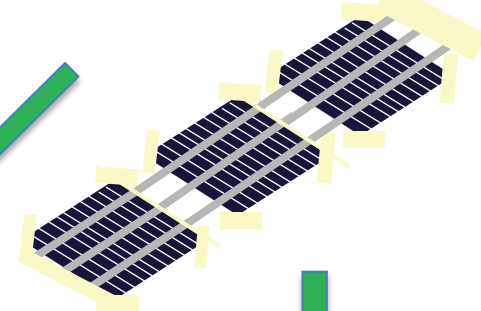
モジュールの信頼性向上  
(架橋助剤の開発)

(株)山王

導電性フィルムに混入させる  
Ag めっきアクリル樹脂粒子の開発

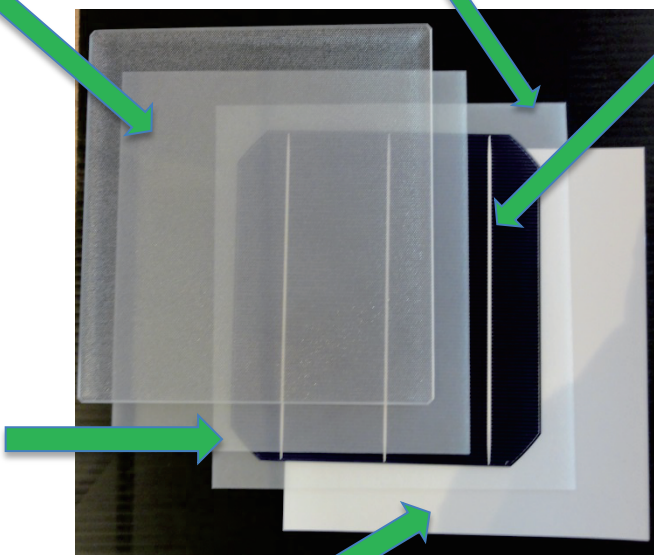
(株)アサカ理研

分子結合チタニアシリカの開発  
(ガラス上に塗布)



(株)カナメ

モジュールの取付け金具



日本化成(株)

高効率セル作製のための  
スピンエッチング用薬液

クニミネ工業(株)

天然粘土鉱物(ペントナイ)を用いた  
バックシート

# 謝辞

- 本研究の一部は新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)の支援のもとに実施された。関係各位に感謝申し上げます。