

研究分野紹介

シリコン系太陽電池

再生可能エネルギー研究センター
太陽光チーム
高遠 秀尚

はじめに



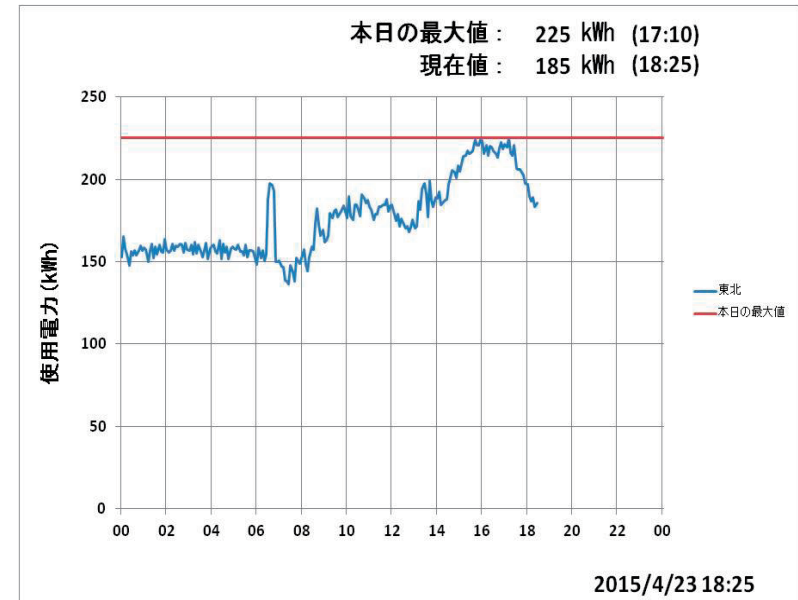
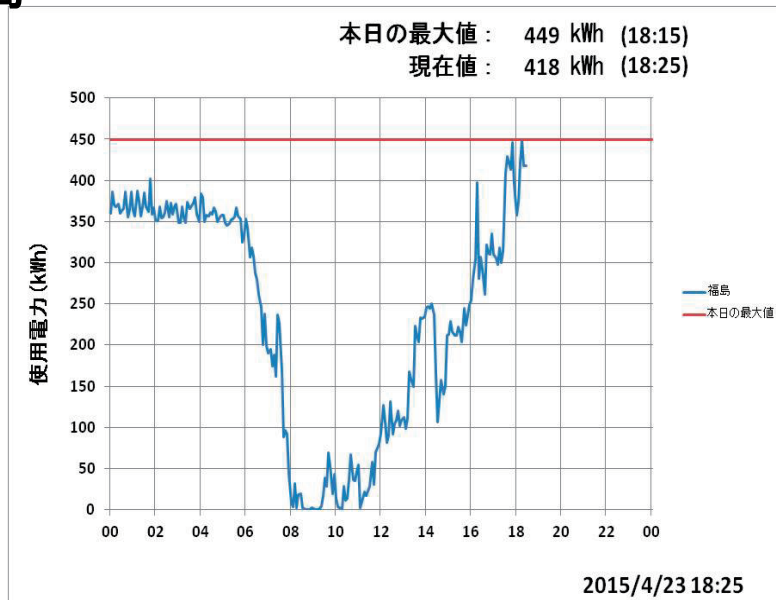
福島再生可能エネルギー研究所

太陽光発電： 500kW(定格出力)

風力発電： 300kW(定格出力)

東北センター(比較)

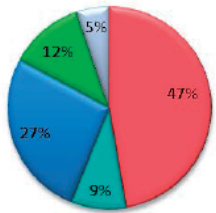
福島



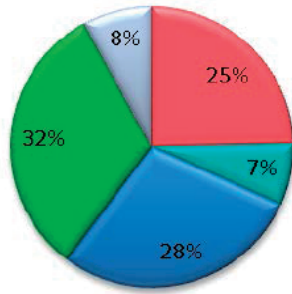
福島再生可能エネルギー研究所と東北センターでの使用電力量例

世界の太陽電池セルの生産量

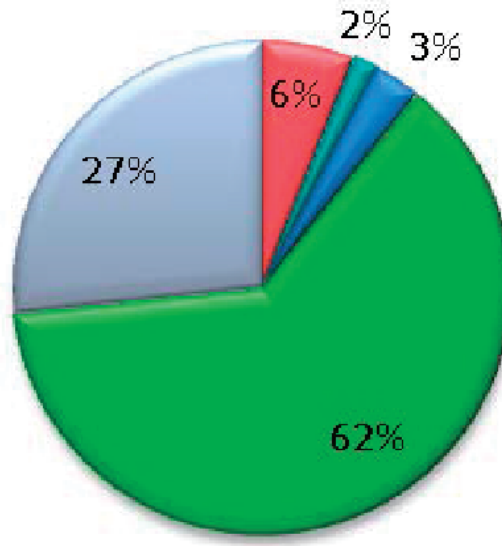
- 日本
- 米国
- 欧州
- 中国/台湾
- その他



2005年
(合計 1,758MW)



2007年
(合計 3,733MW)

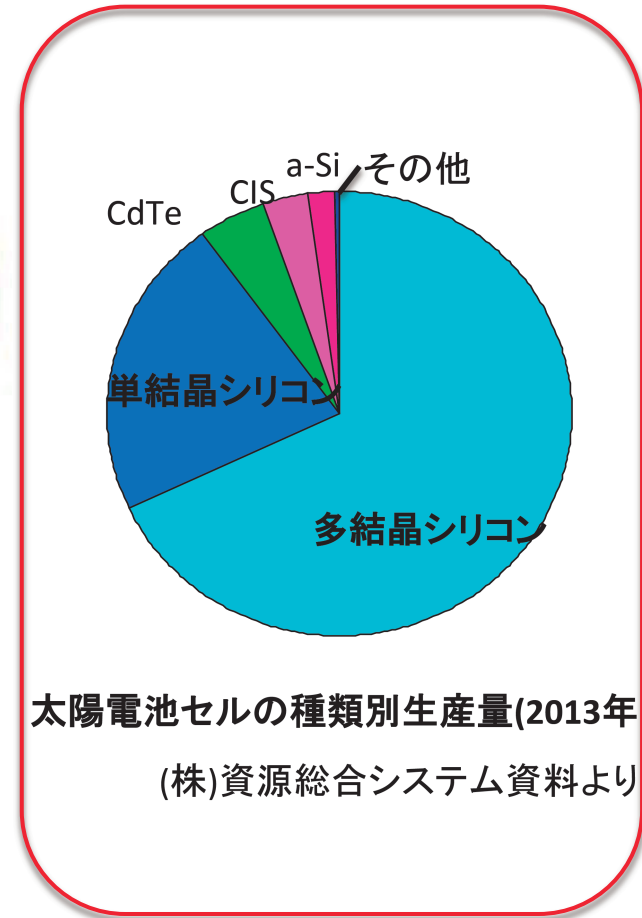


2012年
(合計 31,898MW)

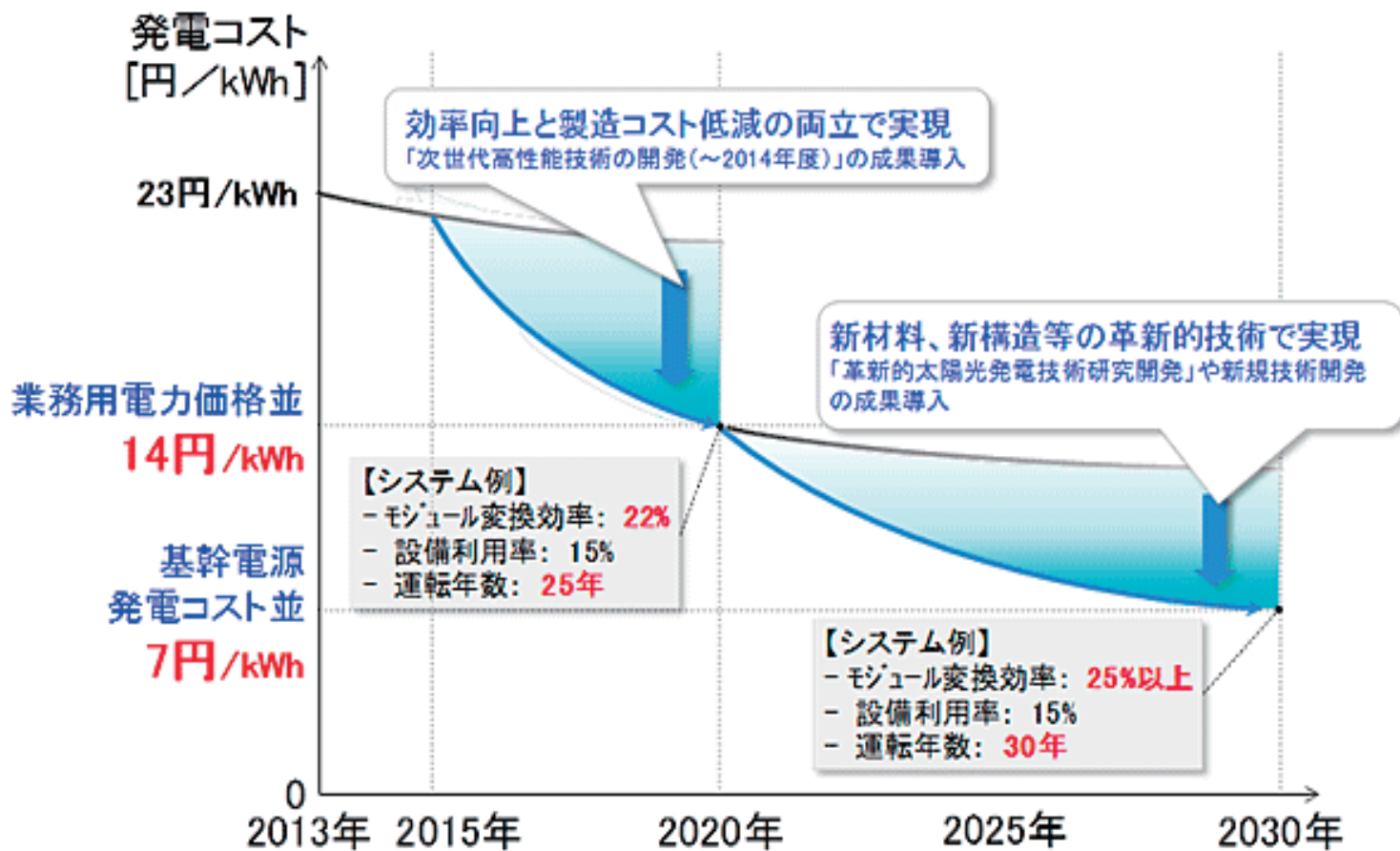
「太陽光発電開発戦略(NEDO PV Challenges)」より

地域別の生産量の推移

- ・世界的に生産量が拡大
- ・日本メーカーはシェアを低下



NEDO発電コスト目標



「太陽光発電開発戦略(NEDO PV Challenges)」より

シリコン系太陽電池

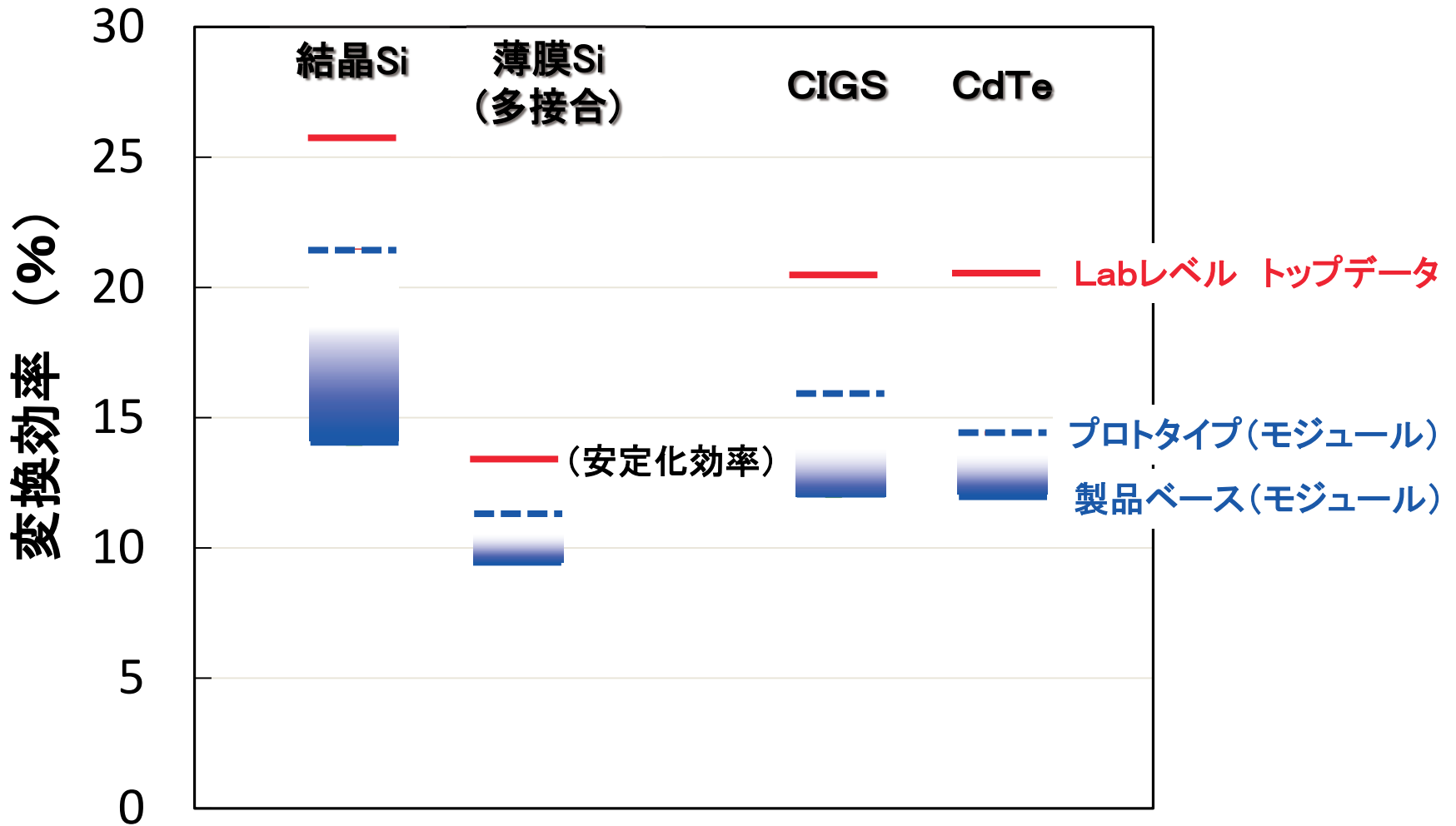
1. 薄膜シリコン太陽電池

- a-Si
- $\mu\text{c-Si}$
- 多接合 a-Si/ $\mu\text{c-Si}$

2. 結晶シリコン太陽電池

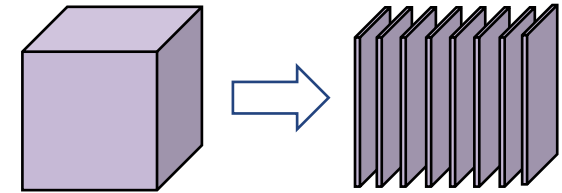
- 単結晶Si (ホモ接合 (pn接合)、ヘテロ接合 (a-Si/c-Si))
- 多結晶Si (ホモ接合 (pn接合))
- 多接合

太陽電池の効率比較



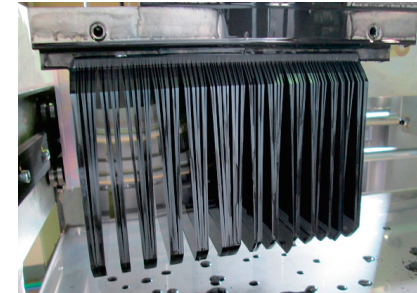
参考: Green et al., PIP 19 84 (2011).
 Schock, 27th EU PVSEC 3CP.1.2 (2012).

セルの厚さ比較

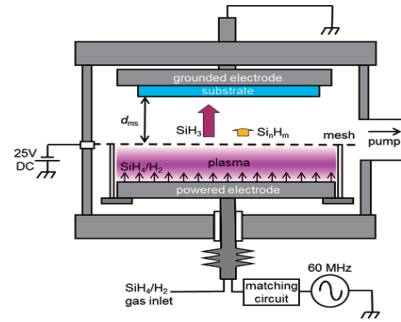


シリコンインゴット

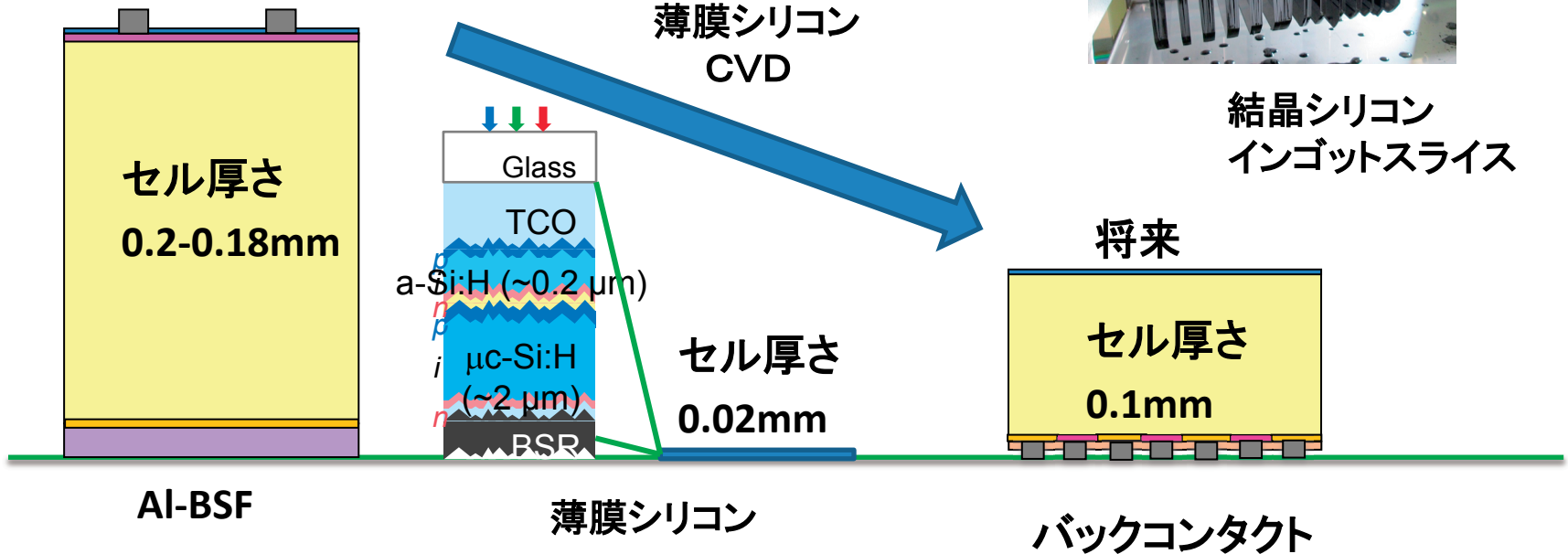
薄型化



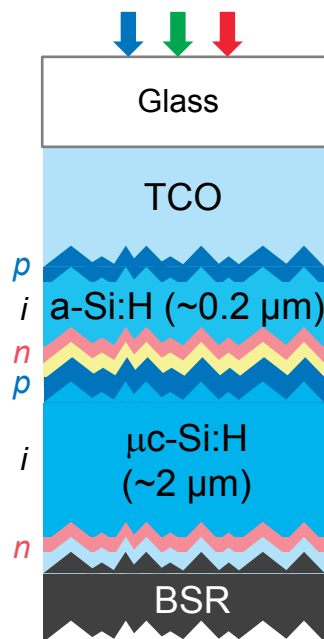
結晶シリコン
インゴットスライス



薄膜シリコン
CVD



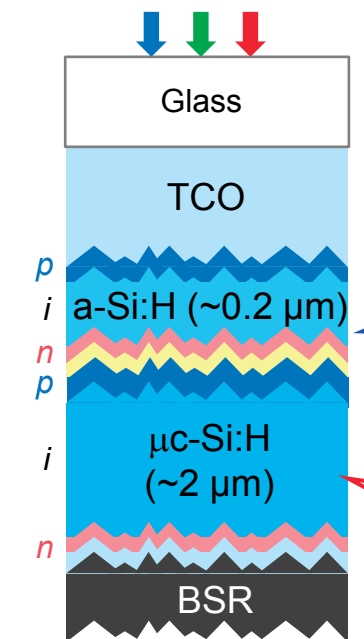
薄膜シリコン太陽電池の特徴と課題



*p-i-n*型a-Si/ μ c-Si
タンデムセル

- 材料がシリコン・薄い(0.3~3 μ m)・高い原料の利用効率
⇒ 原料調達リスクが低い
- 高温に強い。高い短波長感度
⇒ Sunbelt地帯における高発電量が期待可
- 低温プロセス(~200°C)によりガラス・プラスチックなどの基板が使える。レーザースクライブによる集積化
⇒ 高い形状自由度など建材一体型に好適な太陽電池
- 大面積(数mサイズの基板)への製膜により量産効果を出しやすい
⇒ 低コスト化に有利
- 変換効率が低い
⇒ 部材コストやシステムコストが高くなる

薄膜シリコン太陽電池の特徴と課題



p-i-n型a-Si/μc-Si
タンデムセル

アモルファスシリコン(a-Si:H)の 光劣化低減 (Staebler-Wronski effect)

高効率化には製膜プロセスや膜質改善による光劣化の低減が必要

⇒ 独自の製膜法によりa-Si:Hの
高光安定化を実証する

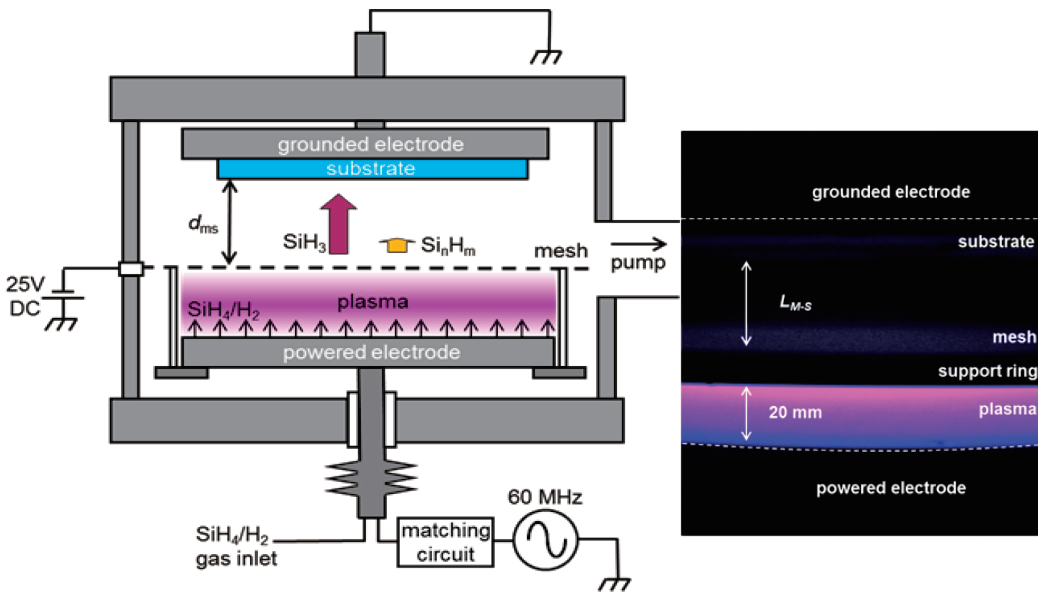
微結晶シリコン(μc-Si:H)の 赤外感度改善

高効率化には光閉じ込め技術による赤外感度の改善が必要

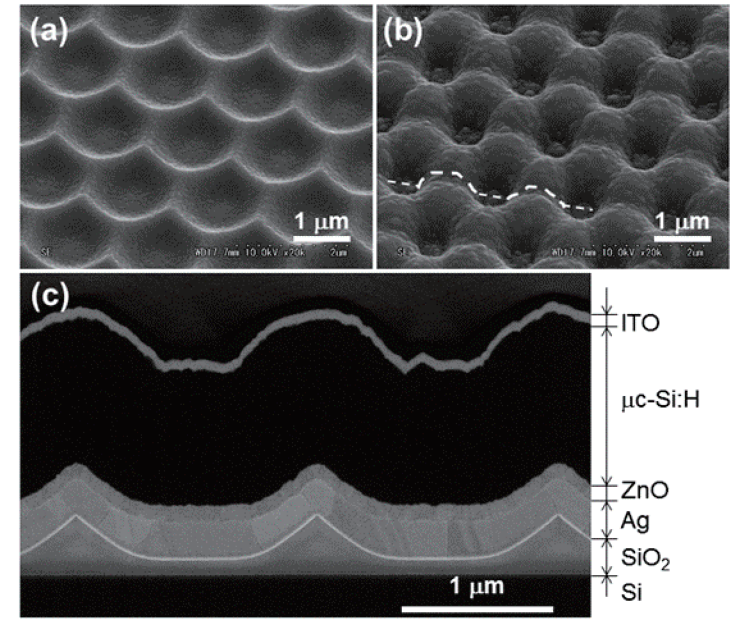
⇒ 高度光閉じ込め技術を開発
して高電流化を実証する

薄膜シリコン太陽電池の高効率化

- ・低温プロセス
- ・高品質膜の形成
- ・光閉じ込め技術

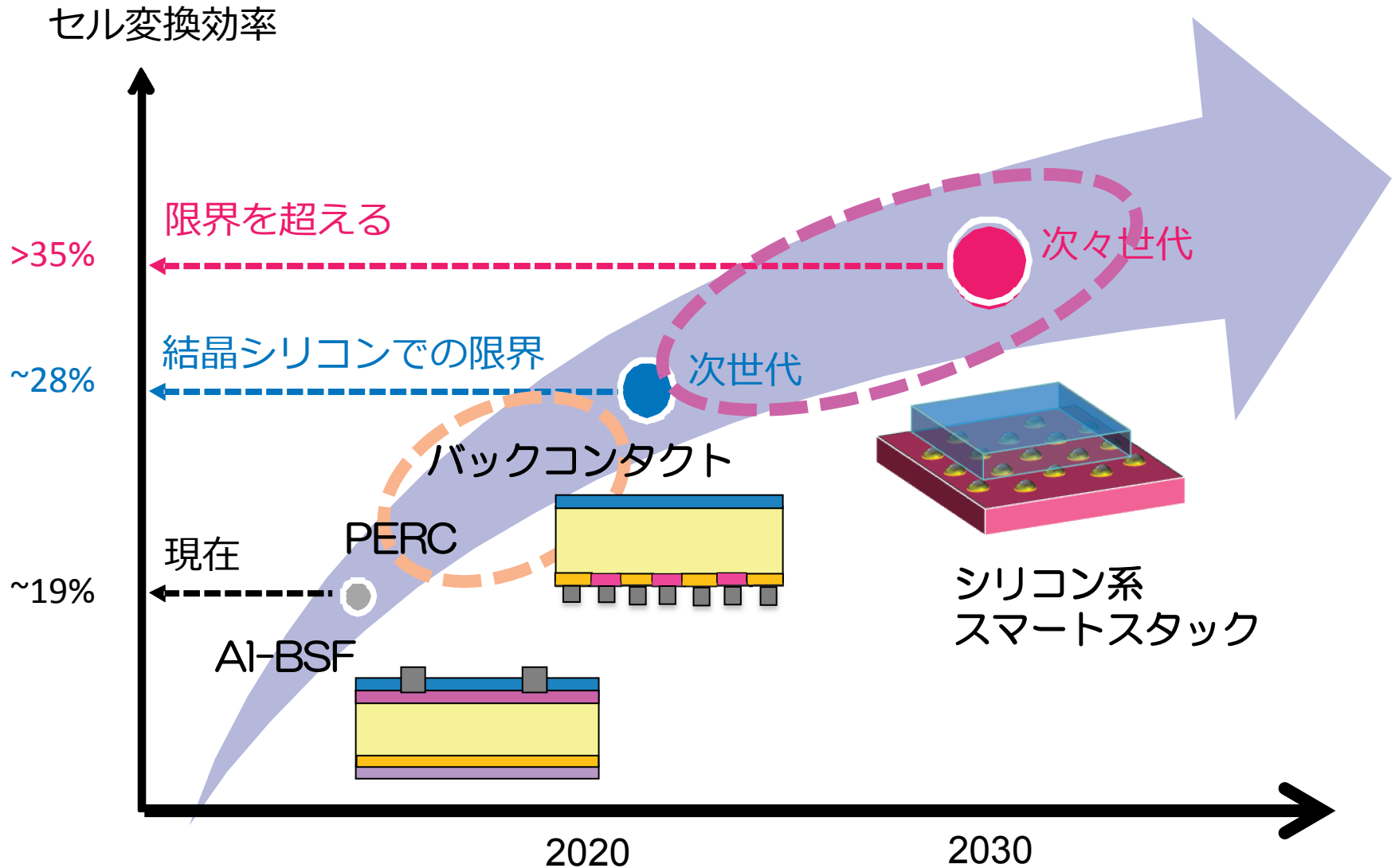


トライオード型プラズマCVD法

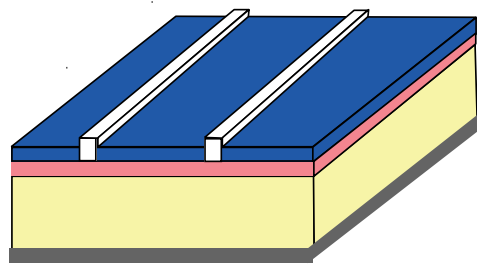


ハニカムテクスチャ基板による光閉じ込め

結晶シリコンセルの高効率化

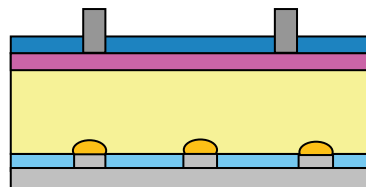


セル化技術の課題

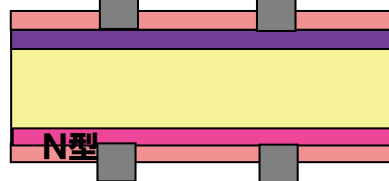


Al-BSF

現在一般的なセル構造
 効率 ~19%
 セル厚さ 180μm

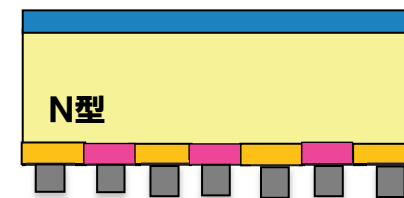


PERC

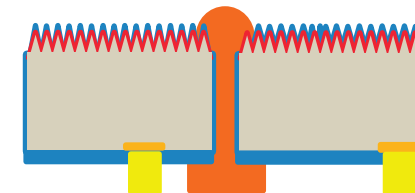


Bifacial

電極が表と裏にあるセル



Back contact

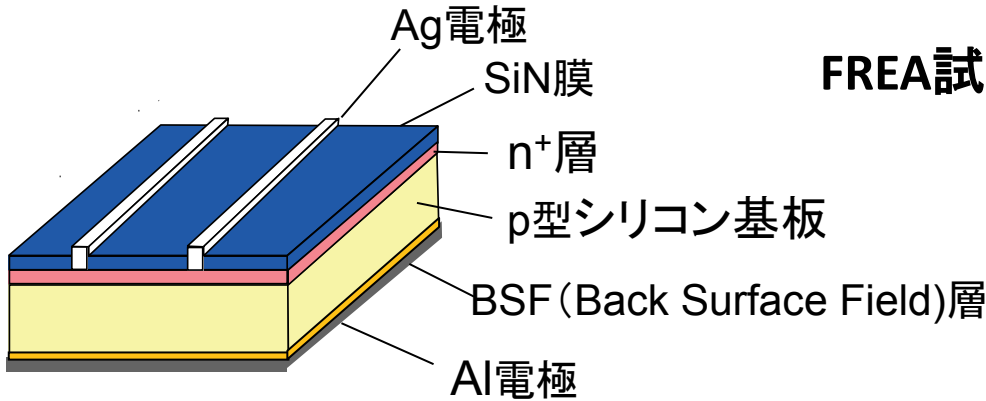


MWT

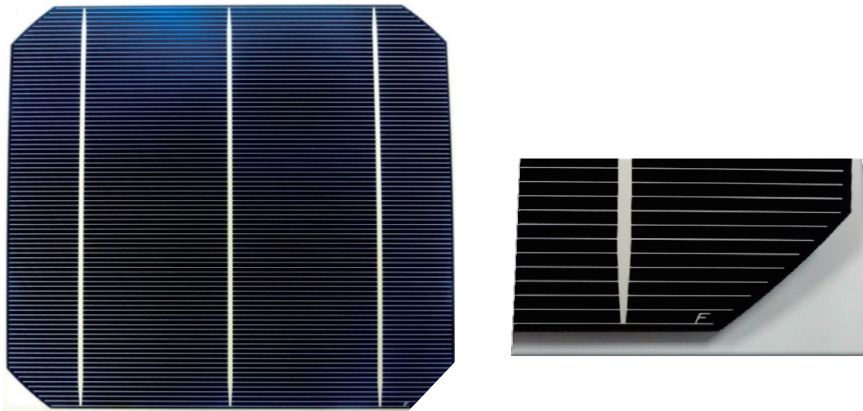
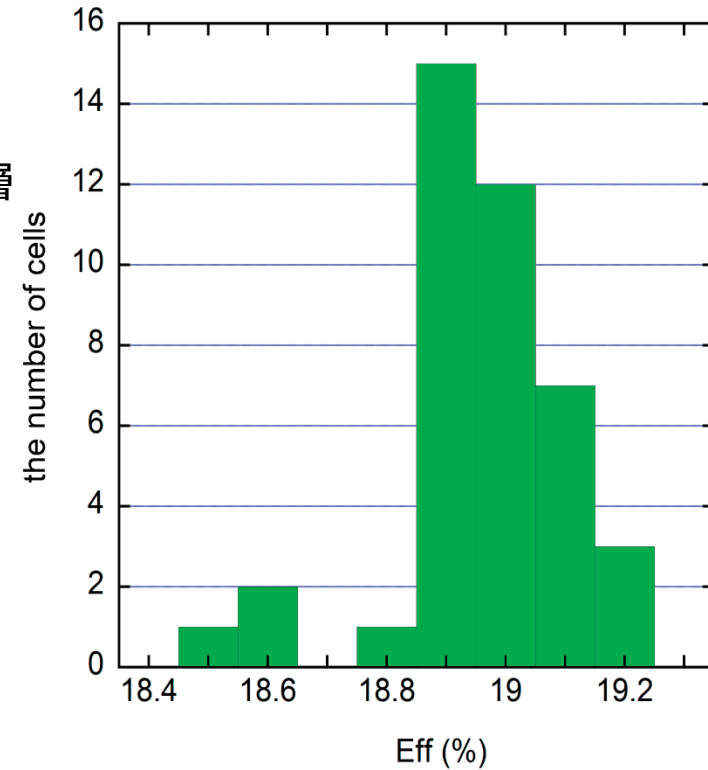
電極が裏のみのセル

- 1) エミッタプロファイル(表面濃度、接合深さ)
- 2) 選択エミッタ形成プロセス
- 3) 表面パッシベーション膜の構造や形成方法
- 4) 微細表電極の印刷技術や材料
- 5) 裏面パッシベーション膜の形成方法や材料
- 6) 裏面電極形成方法や材料
- 7) 基板品質(ライフタイム)の向上

AI-BSF構造



FREA試作ラインにおけるセルの作製結果(例)



セル(厚さ0.18mm)効率 18.9 - 19.2%

セル構造

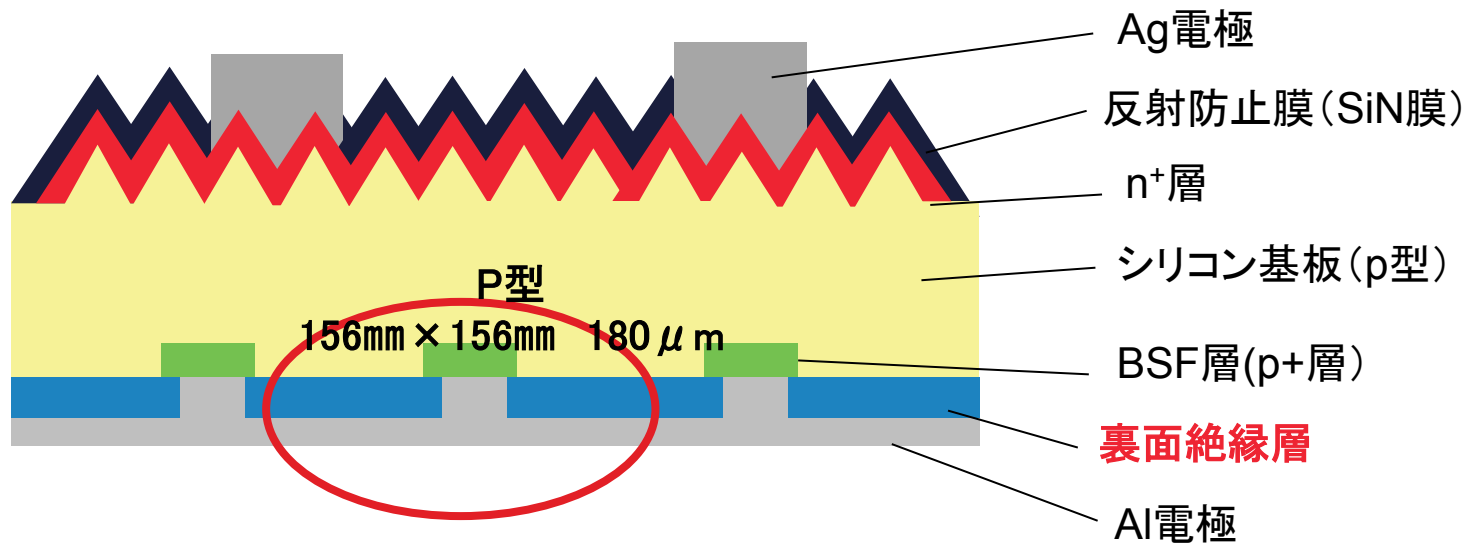


ITRPV 2015: Worldwide market shares for different cell technologies.

出典: International Technology Roadmap for Photovoltaic 2015

AI-BSF構造からPERC構造に移行中

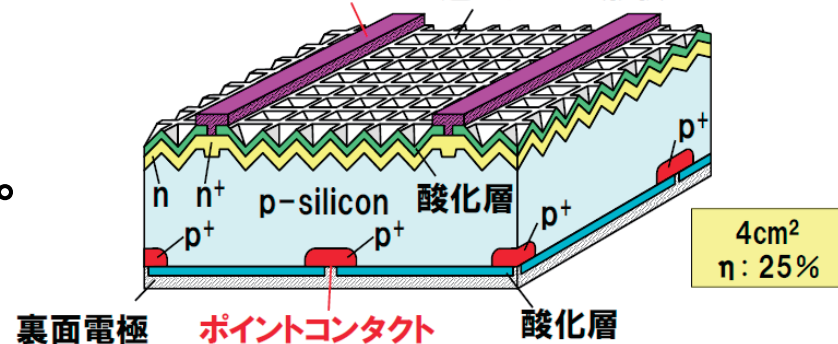
PERC構造



裏面絶縁層 : SiN, SiO₂/SiN, Al₂O₃/SiN
 コンタクト用の穴あけ: レーザ、エッチング

PERL: Passivated emitter with rear locally diffused cell

高アスペクト集電極 逆ピラミッド形状

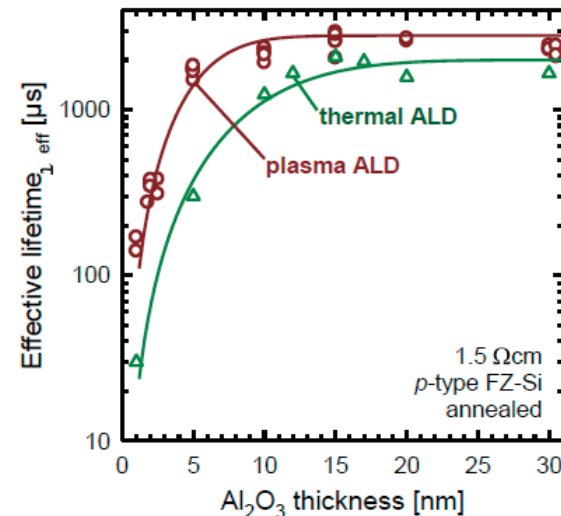
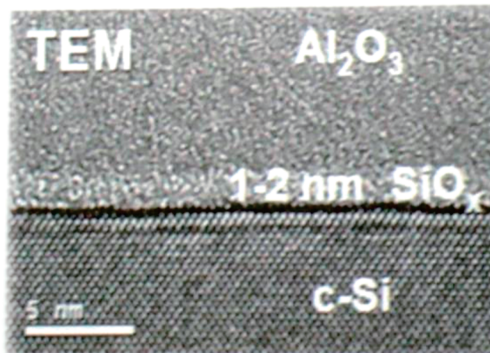


- ・AI-BSF構造からのプロセスの変更が少ない。
- ・効率 > 20%

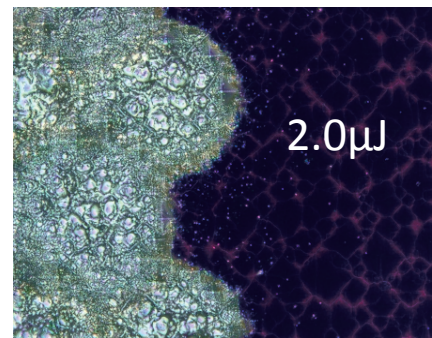
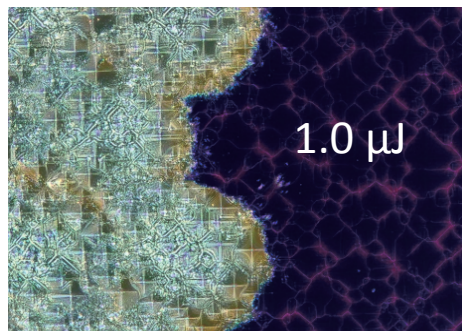
パッシベーション膜形成と膜への穴あけ加工

表面パッシベーション

SiN (PECVD)
SiO₂ (熱)、
AlO (ALD、PECVD)、

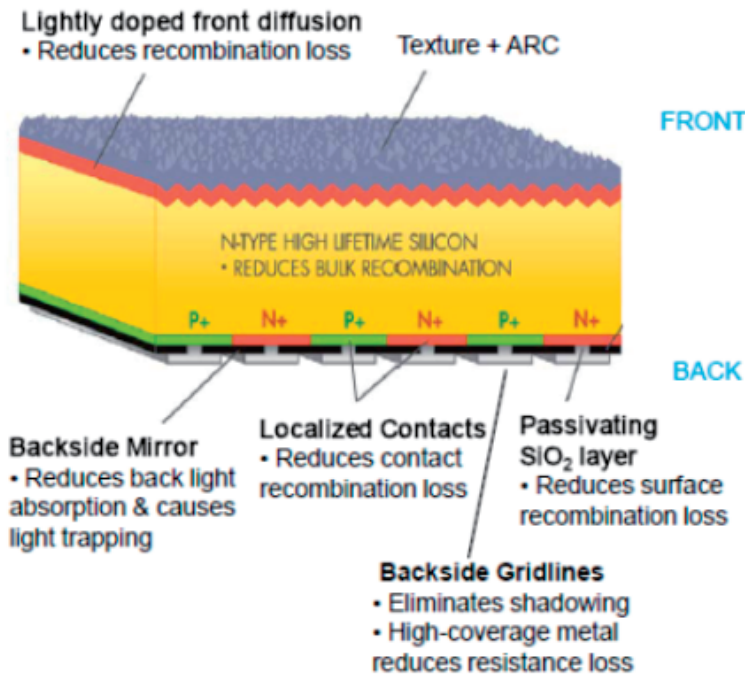
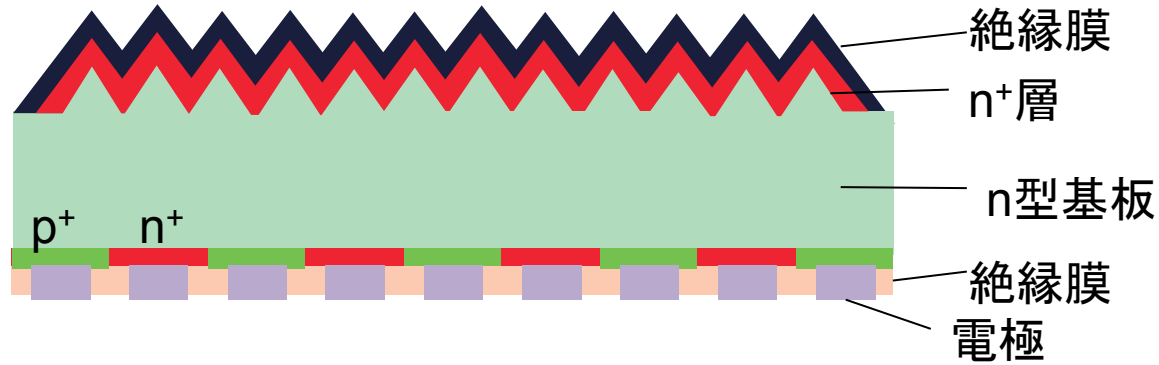


レーザーパターニング



レーザーパターニング: 東成イービー
ピコ秒レーザー
波長355nm

バックコンタクトセル

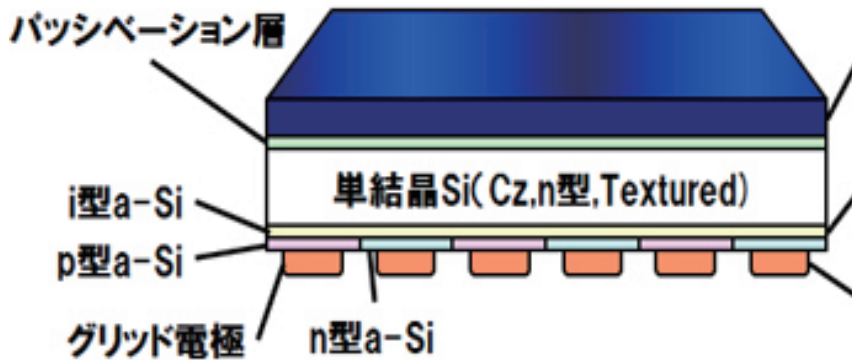


- ・高効率 (25%)
- ・プロセス工程数が多い

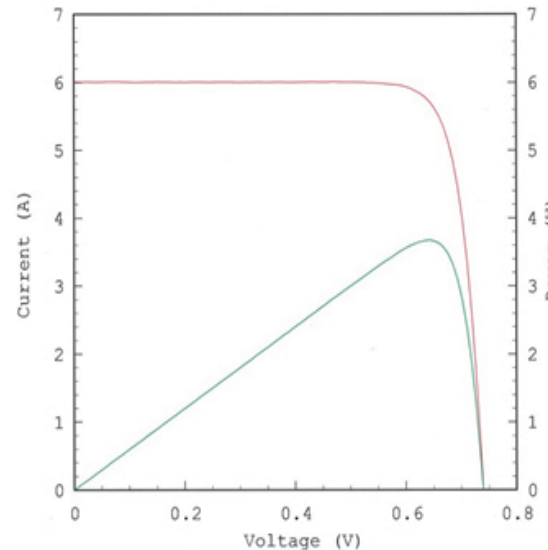
2010 EPSCoR Renewable Energy Conference Sunpower

ヘテロ接合セル

- ・世界最高効率 25.6% (パナソニックが2014年4月に達成)
- ・実用面積 143.7cm²



I-V CURVE
 IEC60904-3Ed.2 143.7cm² (designated area) WXS-220S-20

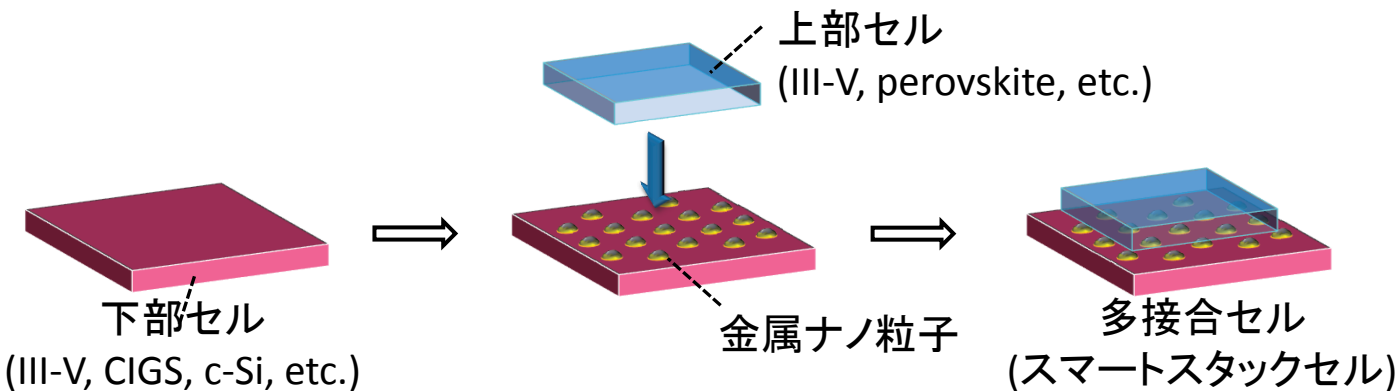


Date : 14 Feb 2014
 Data No : V11287-02
 Sample No : V11287
 Repeat Times : 9

I_{sc} 6.01 A
 V_{oc} 0.740 V
 P_{max} 3.674 W
 I_{pmax} 5.72 A
 V_{pmax} 0.643 V
 F.F. 82.7 %
 Eff(da) 25.57 %
 DTemp. 25.0 °C
 MTemp. 25.0 °C
 DIrr. 100.0 mW/cm²
 MIrr. 100.1 mW/cm²

Ref. Device No 036-2002
 Cal. Val. of Ref. 125.83 [mA at100mW/cm²]
 Scan Mode I_{sc} to V_{oc}

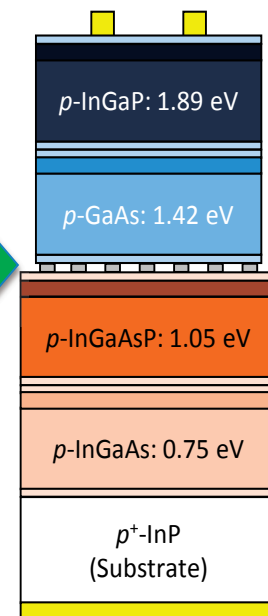
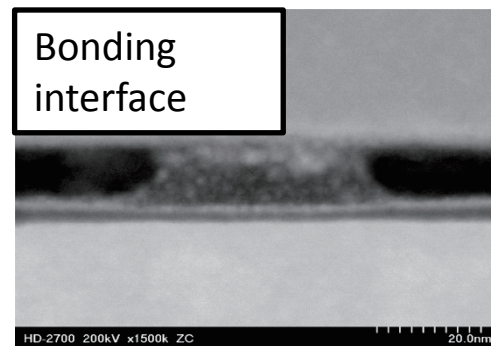
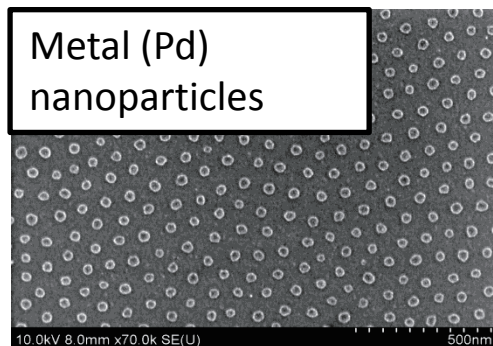
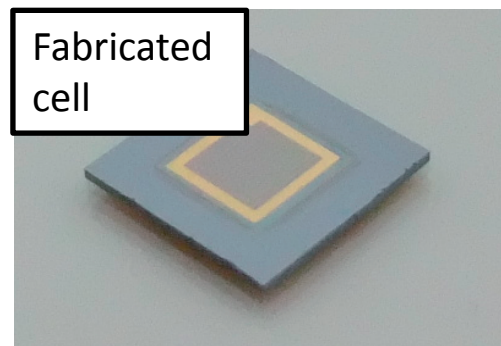
多接合化(スマートスタック技術)



特徴

- ・室温、低真空での接合
- ・接合圧力が低い(10N)
- ・大面積化が可能
- ・装置構成が簡単

薄型ウェハへの対応可能
低コスト



InP系の4接合セルに適用し、変換効率 31.7% を達成。

➡ 金属ナノ粒子配列を用いた異種太陽電池接合では最高値

プロセス技術の課題

1. テクスチャー化技術

多結晶 RIE、フッ酸＋硝酸

(酸テクスチャーの課題: 固定砥粒スライスウェハーのエッチング)

単結晶 KOH(微細化)

2. 表面パッシベーション技術

SiN(PECVD)、SiO₂(熱)、AlO(ALD、PECVD)、ヘテロ(a-Si、a-SiO)

3. 接合形成技術

(エミッター、FSF、BSF、選択エミッタ)

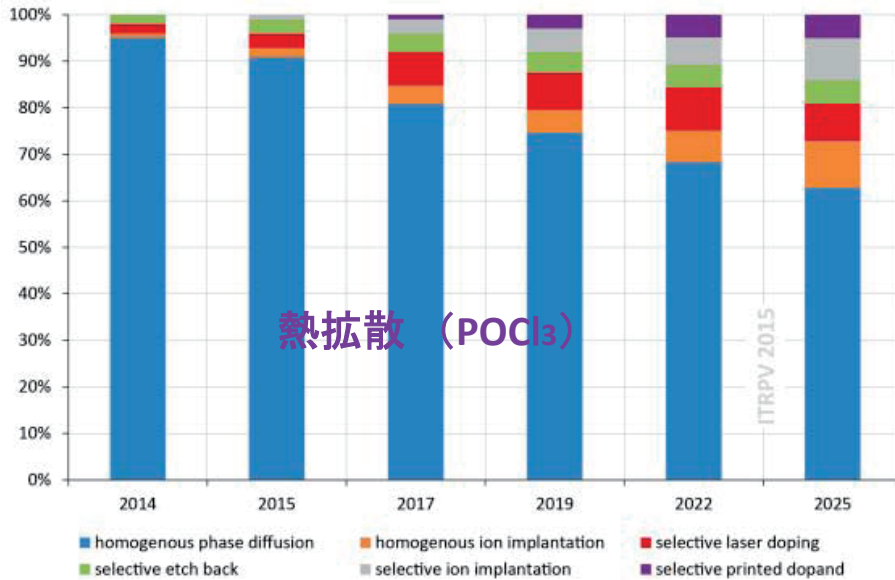
- ・熱拡散 (POCl₃、BBr₃)
- ・イオン注入＋アニール(酸化＋熱処理)
- ・PSG、BSG塗布後、ドライブイン
- ・選択エミッター形成法(ペースト、レーザー)

4. 電極形成

細線印刷技術(スクリーン、ペースト)

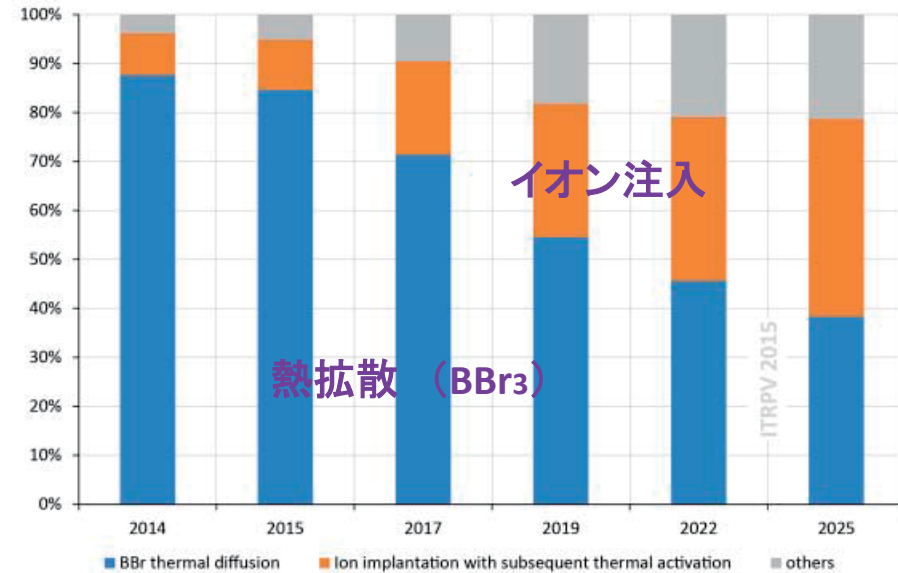
接合形成プロセス

・リン拡散



ITRPV 2015: Expected world market share for different phosphorous emitter technologies for p-type cells.

・ボロン拡散



ITRPV 2015: World market share for different technologies for boron doping (n-type cells).

出典: International Technology Roadmap for Photovoltaic 2015

・熱拡散 (POCl₃)

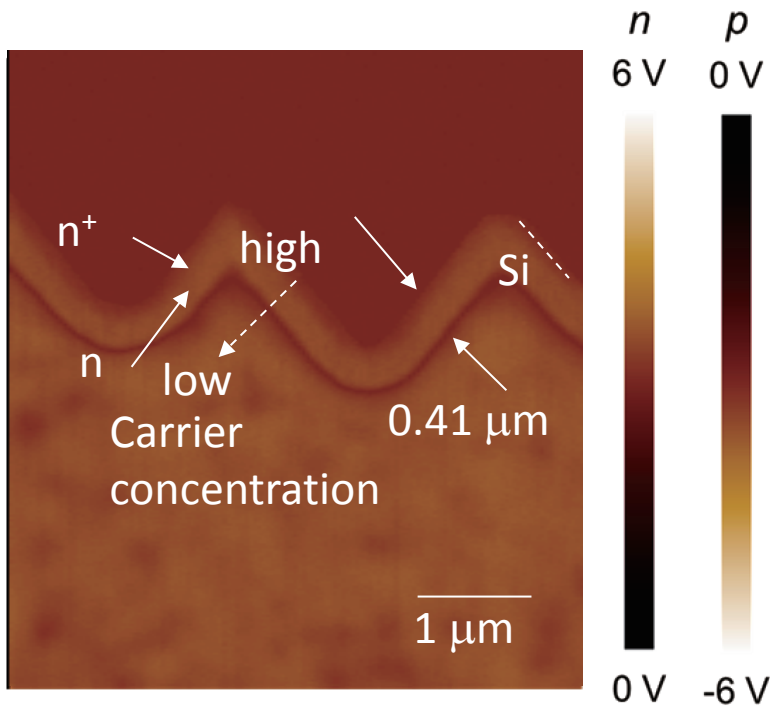


・熱拡散 (BBr₃) ・イオン注入

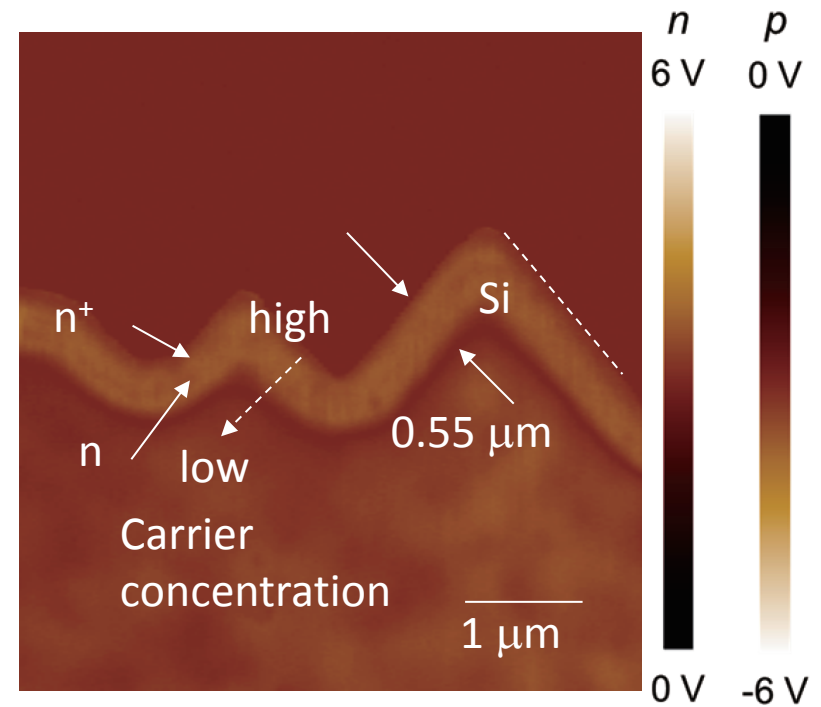


イオン注入セルの二次元キャリア分布

リンイオン注入+アニール

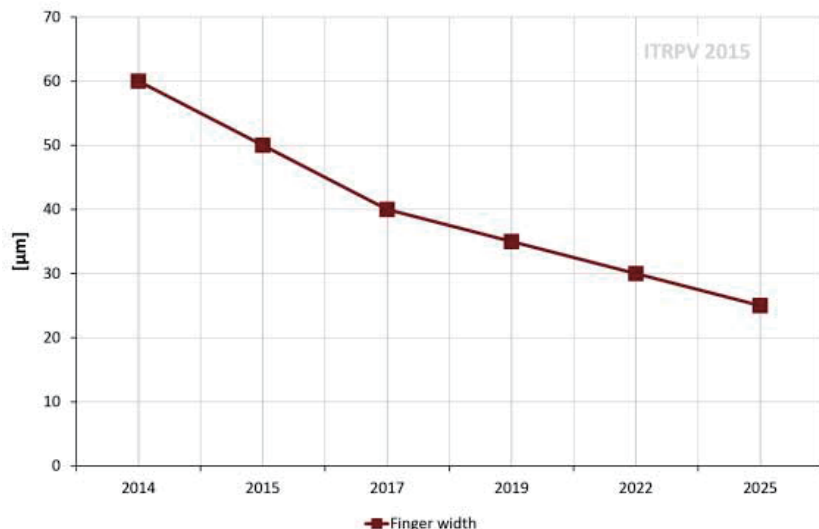


リン熱拡散



- 凹凸基板に対しても、深さ方向にほぼ均一な接合深さをもつ拡散層を形成

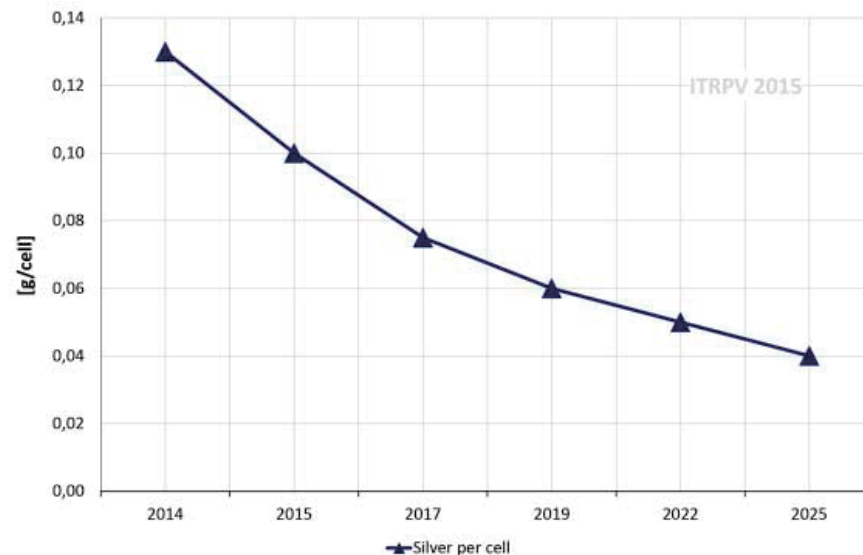
電極形成プロセス



ITRPV 2015: Predicted trend for finger width in screen printing. Finger width needs to be reduced without any significant reduction in conductivity.

線幅 <30 μm (2025年)

1. 電極細線化
2. Agの使用量低減
3. 高抵抗層(100-120Ω/□)へのコンタクト
4. Ag/Alペースト
5. Cuペースト

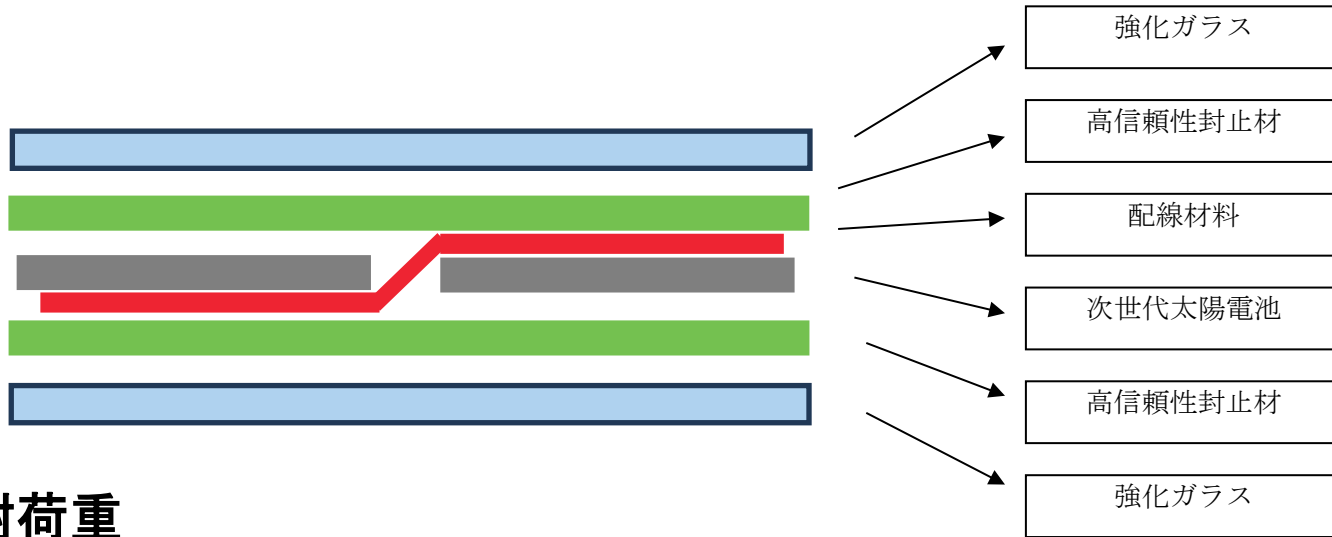


ITRPV 2015: Trend for remaining silver per cell (156x156mm²).

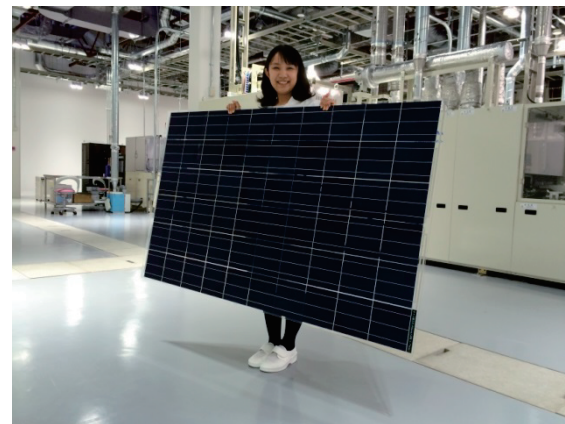
出典: International Technology Roadmap for Photovoltaic 2015

Ag使用量 ~40mg (2025年)

モジュールの信頼性向上技術

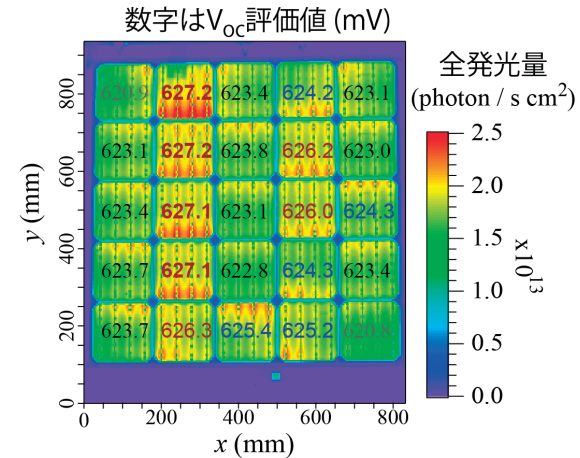


1. 耐荷重
2. 電極腐食
3. 耐応力(電極)
4. 絶縁耐性
5. PID耐性
6. 出力向上
7. 評価方法(信頼性予測)
8. 軽量化
9. モジュール構造(フレームレス)



太陽電池モジュールの新しい評価方法

絶対EL法による電圧マッピング



in situ ACインピーダンス測定法

