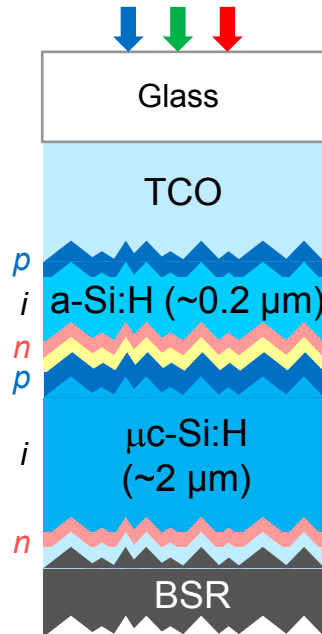


# 薄膜シリコン太陽電池の 研究開発

先端産業プロセス・低コスト化チーム  
松井 卓矢

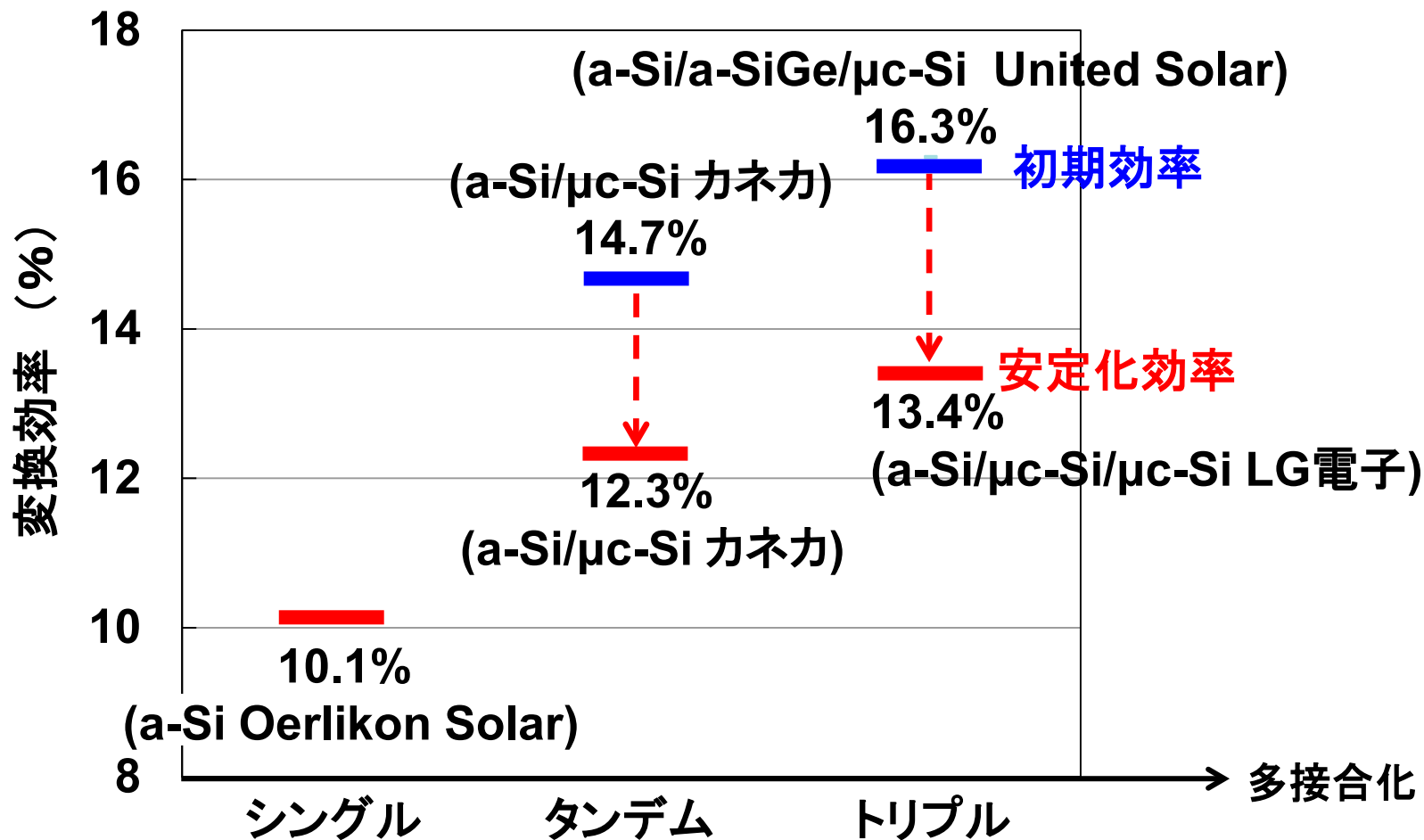
# 薄膜シリコン太陽電池の特徴と課題



p-i-n型a-Si/μc-Si  
タンデムセル

- 材料がシリコン・薄い(0.3~3 μm)・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

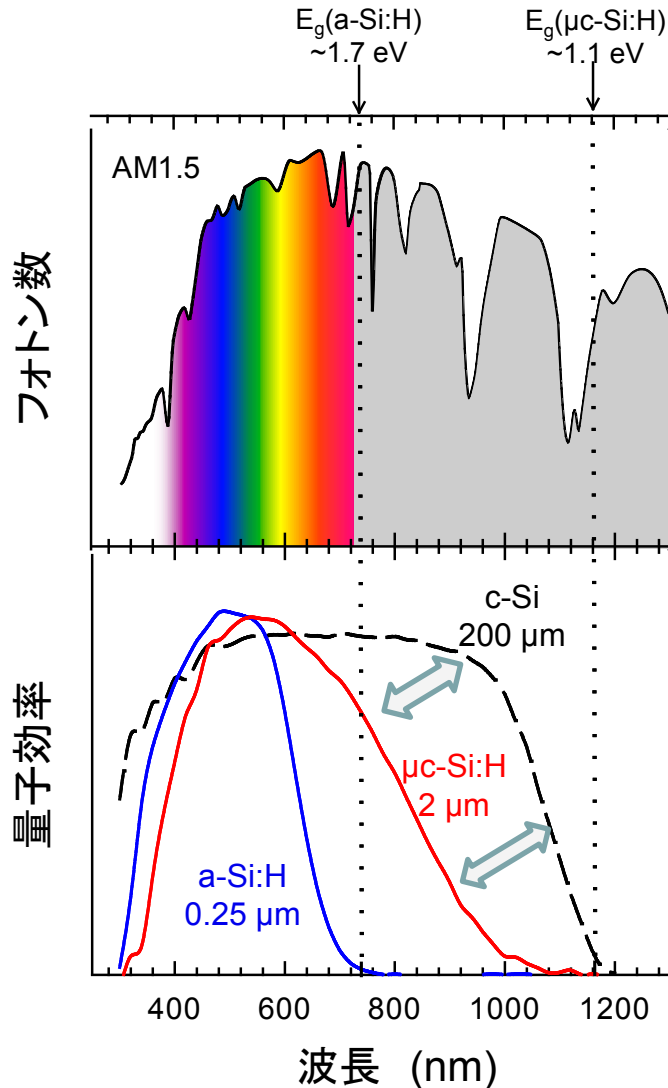
# 高効率化に向けた課題：①高光安定化



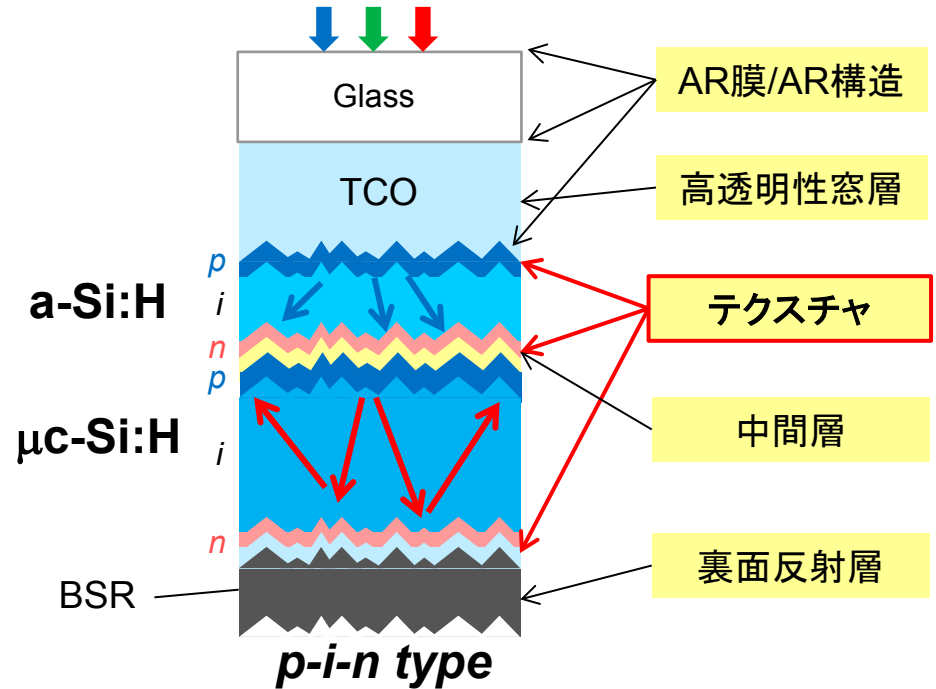
多接合化による高効率化

アモルファスSi(合金)材料の高光安定化が課題

# 高効率化に向けた課題：②光マネジメント



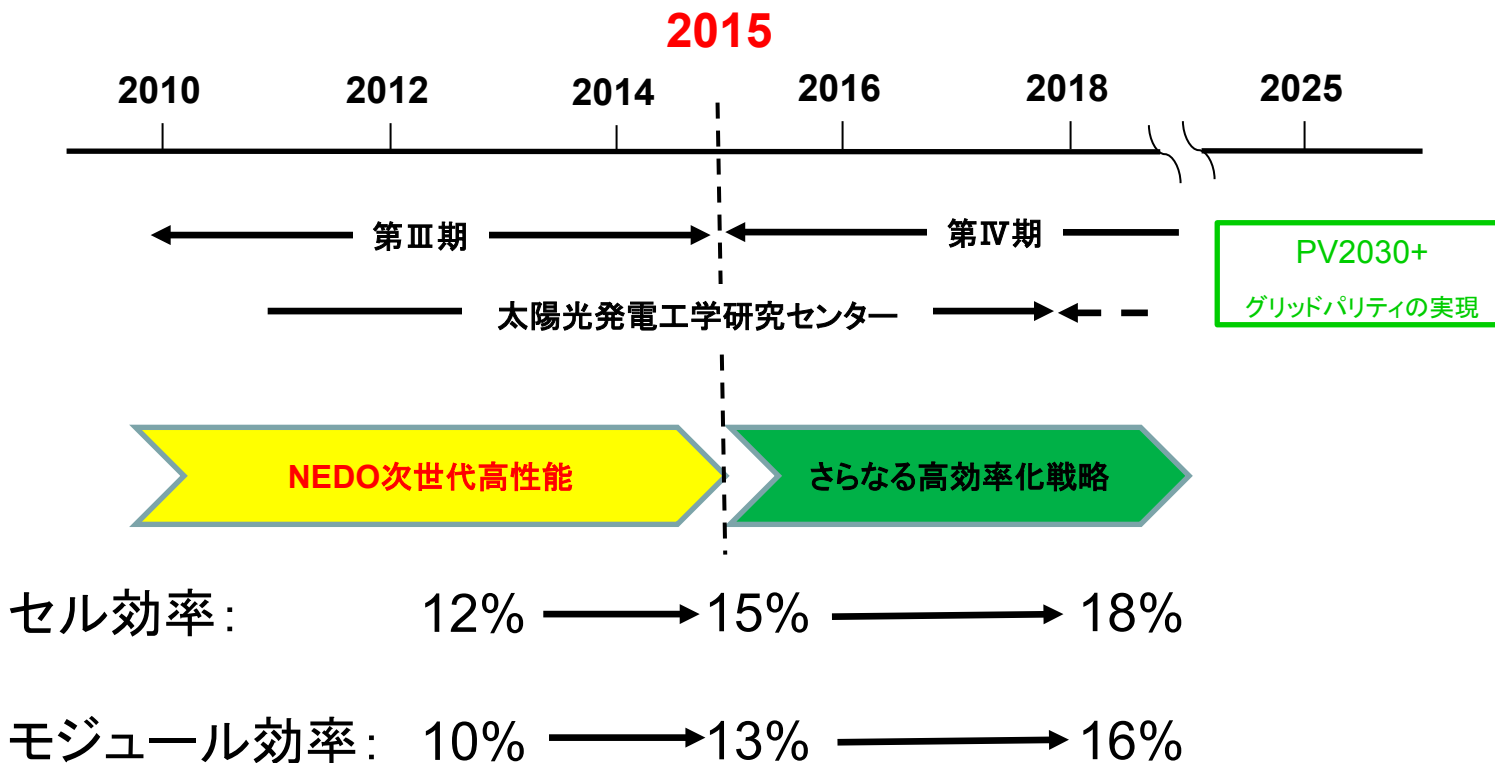
## 薄膜シリコン太陽電池の光マネジメント



光閉じ込め技術による赤外感度の改善

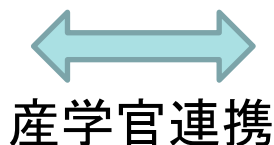
寄生吸収ロスの低減技術(透明電極の改良)

# 研究開発ロードマップ



## 高効率化に向けた課題

- ・高光安定材料、新材料
- ・多接合デバイス
- ・光閉じ込め、TCO

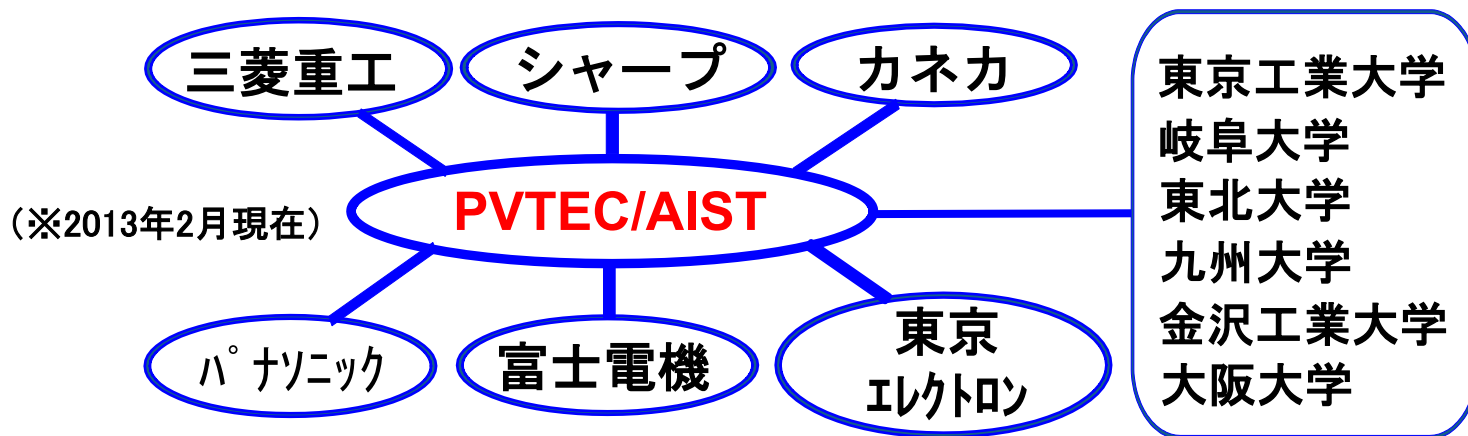


## 産業化に向けた課題

- プロセスモニタリング
- 高速・大面積製膜技術

# オールジャパン コンソーシアム体制による技術開発

(NEDO太陽光発電システム次世代高性能技術の開発)

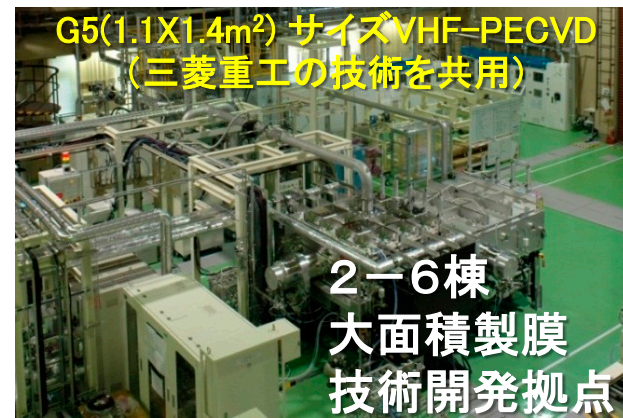


- 産総研内にPVTEC(太陽光発電技術研究組合) つくば研究所を設置
- 産総研をオールジャパン体制のハブとして、国内の薄膜Si太陽電池技術の向上に貢献する

AIST  
職員6名  
ポスドク1名  
+  
PVTEC研究員



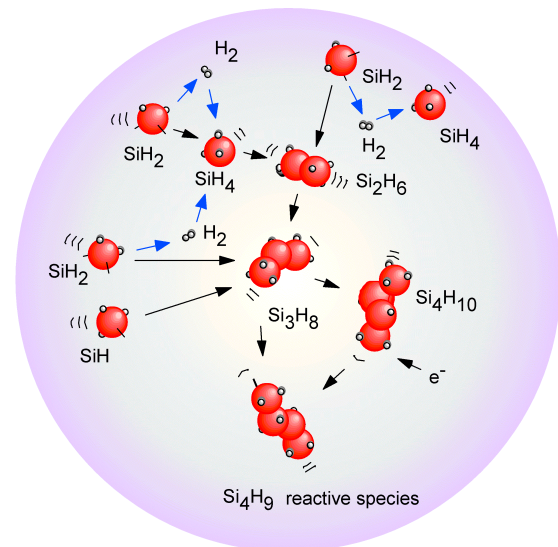
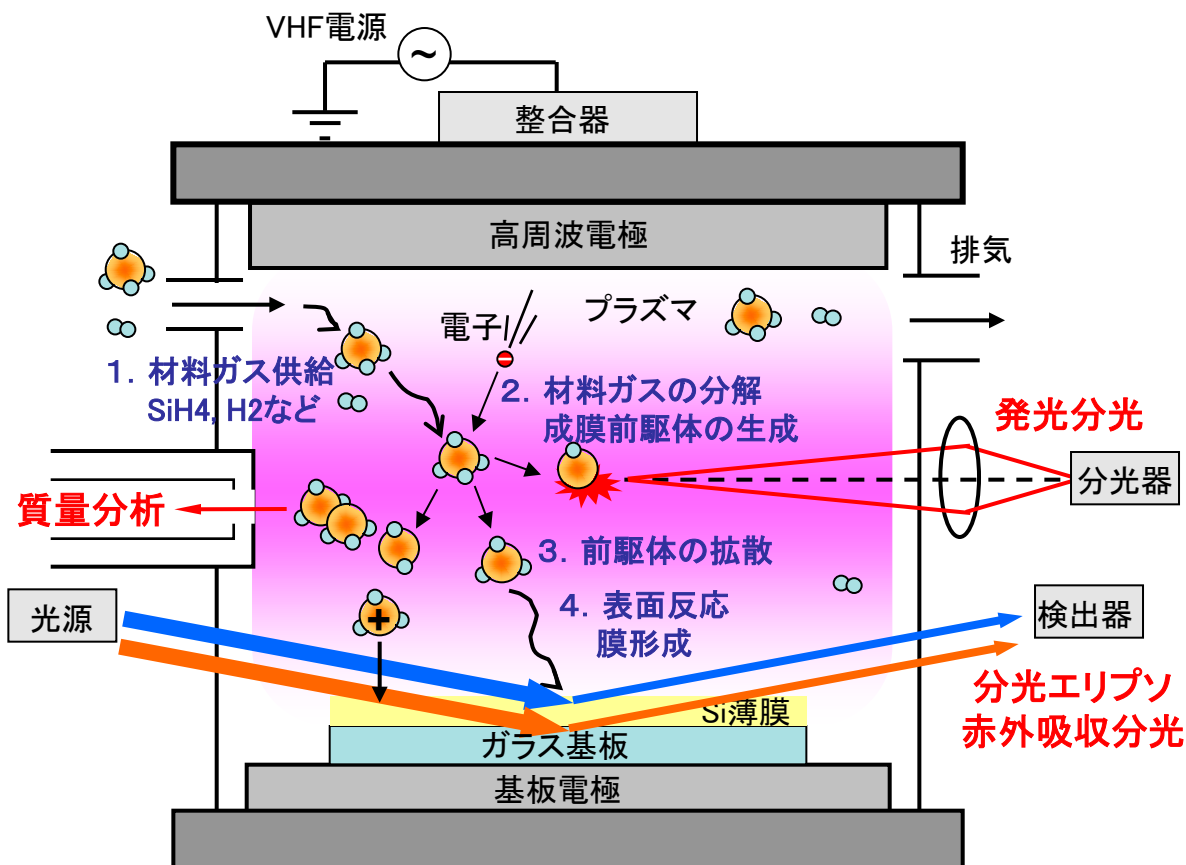
要素技術の実用化研究



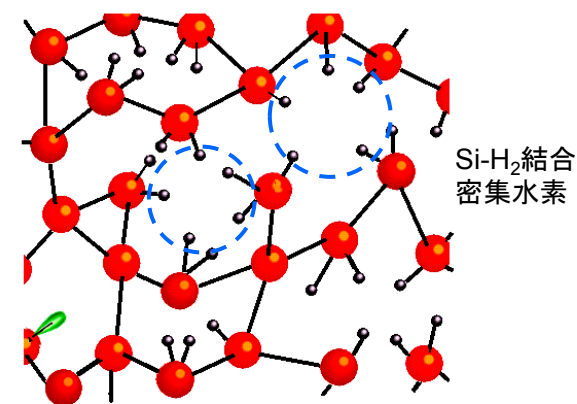
# 薄膜シリコン太陽電池の 高効率化技術開発

# 高効率化のためのプロセス・材料評価技術

気相プラズマと薄膜を同時に診断し、  
気相状態と膜特性及びデバイス特性に与える影響を解明



気相反応生成物の評価

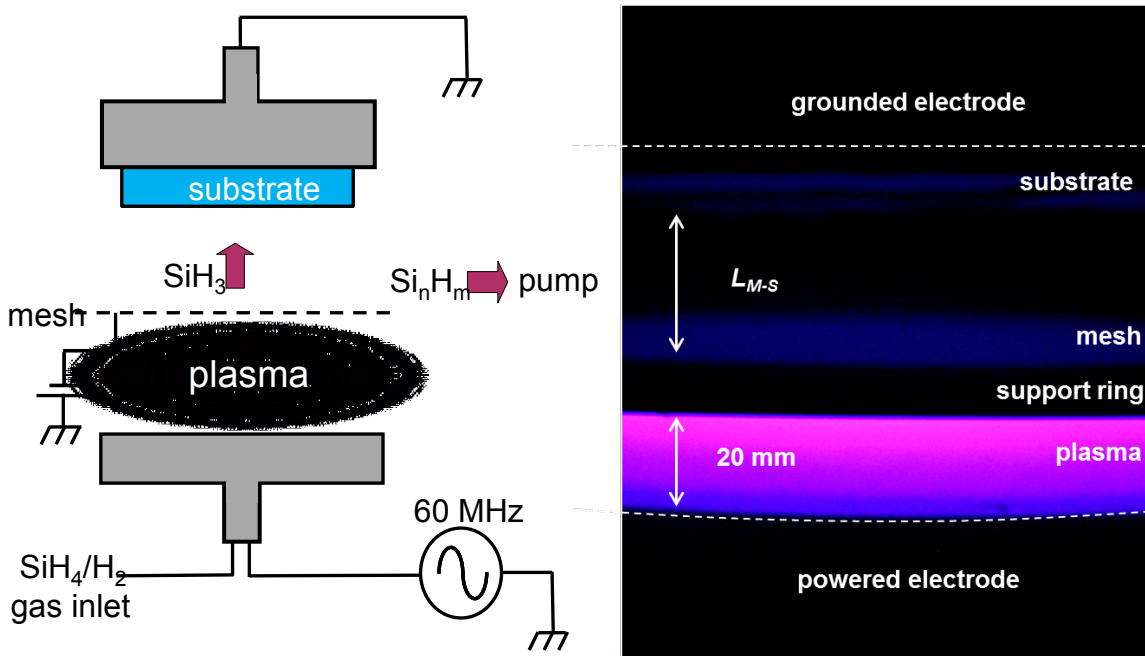


膜欠陥評価

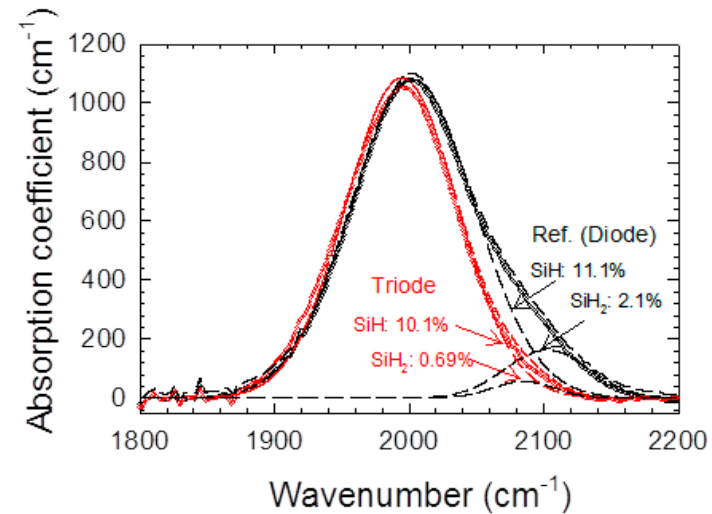


# 低劣化a-Si:Hセルの開発

< triode PECVD >



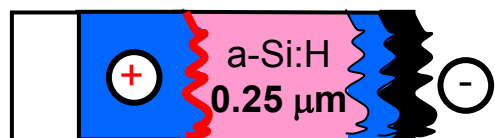
< 赤外吸収スペクトル (Si-H<sub>n</sub>伸縮振動) >



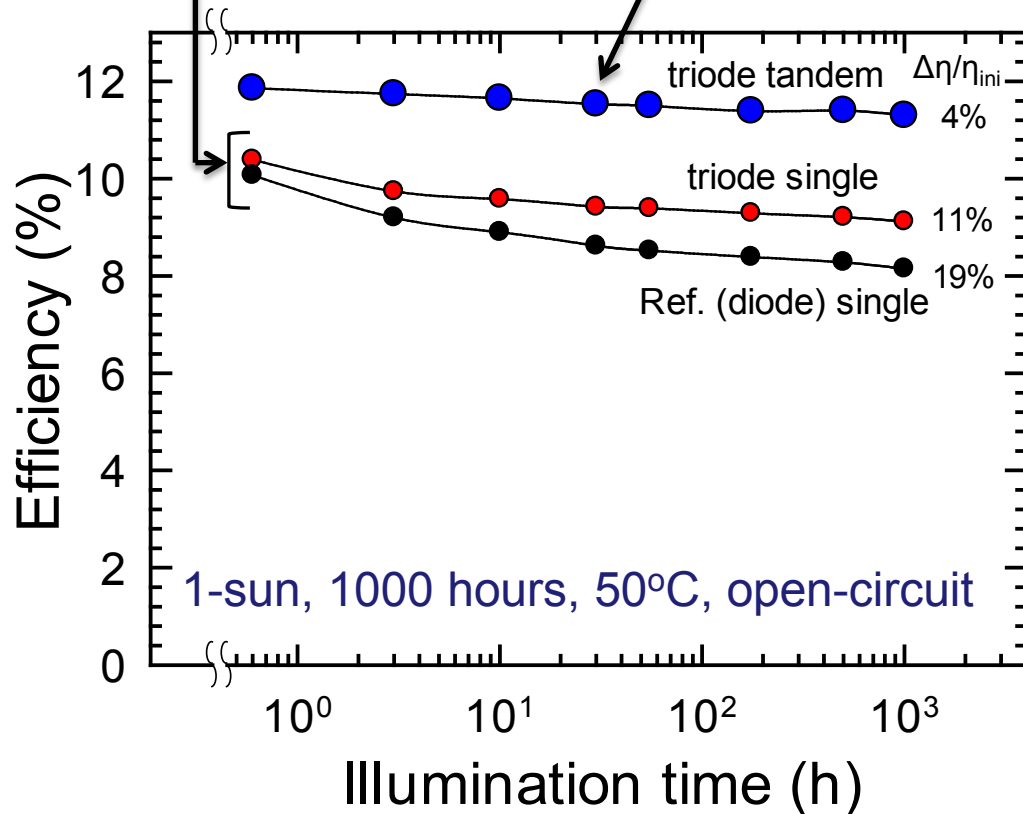
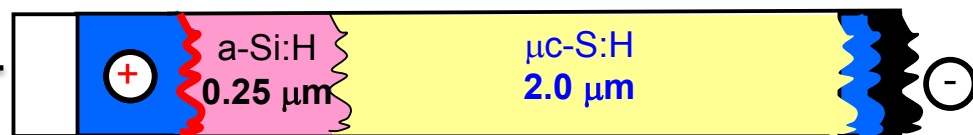
- ダイオード⇒トライオード(プラズマのリモート化)により、光劣化を誘発する反応性ラジカル(高次シラン種など)の膜への取り込みを抑制する
- 膜中SiH<sub>2</sub>濃度が少ない緻密なアモルファスシリコンが得られる

# 低劣化a-Si:Hセルの開発

a-Si:H single-junction



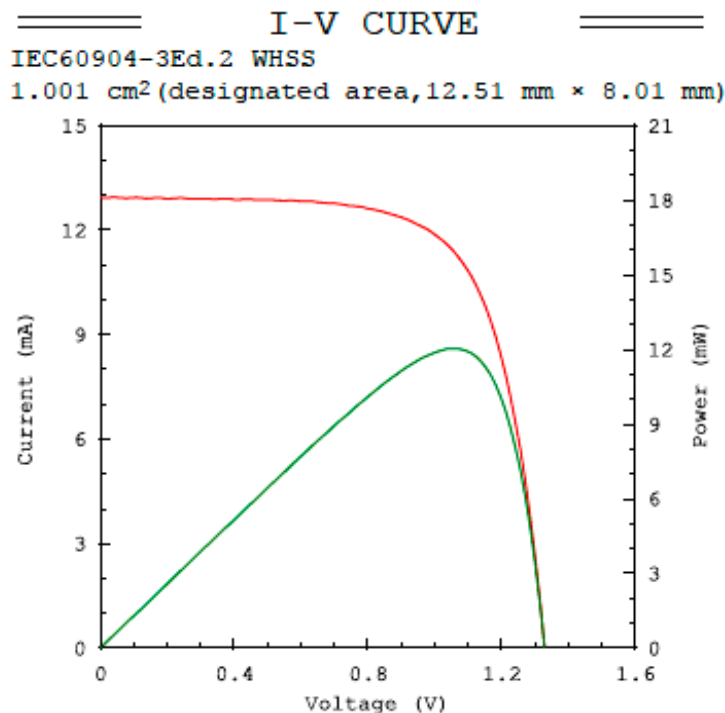
a-Si:H/ $\mu$ c-Si:H tandem



- 優れた光安定性をデバイスで実証  
 $\Delta\eta/\eta_{ini} \sim 10\%$  (a-Si:H single),  $\sim 5\%$  (a-Si:H/ $\mu$ c-Si:H tandem)
- トップセル高性能化に向けたプロセス・デバイス開発をコンソ研究員と共同開発中

# 低劣化a-Si:Hセルの開発

Light-soaking condition: 1-sun, 1000 hours, 50°C



Date : 24 Jan 2013  
Data No : T120803-2-01  
Sample No : T120803-2  
Repeat Times : 9

I <sub>sc</sub>	12.93 mA
V <sub>oc</sub>	1.330 V
P <sub>max</sub>	12.04 mW
I <sub>pmax</sub>	11.46 mA
V <sub>pmax</sub>	1.050 V
F.F.	70.0 %
Eff (da)	12.0 %
DTemp.	25.0 °C
MTemp.	25.2 °C
DIrr.	100.0 mW/cm <sup>2</sup>
MIrr.	100.3 mW/cm <sup>2</sup> (top) 99.4 mW/cm <sup>2</sup> (bottom)

$J_{sc}$  : 12.9 mA/cm<sup>2</sup>  
V<sub>oc</sub> : 1.330 V  
FF : 0.700  
 $\eta$  : 12.0%  
(area : 1.0 cm<sup>2</sup>)

with  
ARC

Scan Mode  
I<sub>sc</sub> to V<sub>oc</sub>

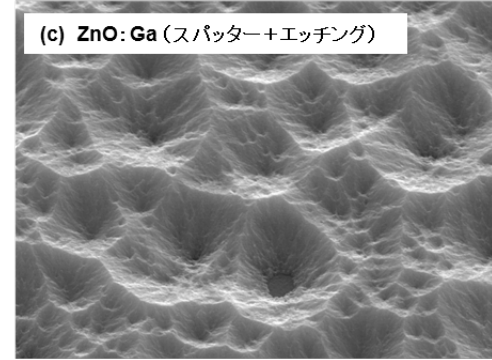
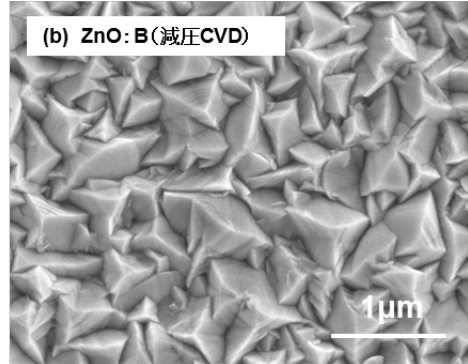
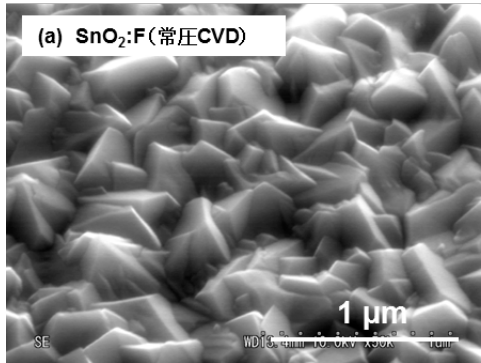


- a-Si:H/ $\mu$ c-Si:Hタンデムセルで安定化効率12.0%\*を達成 (市販基板使用)

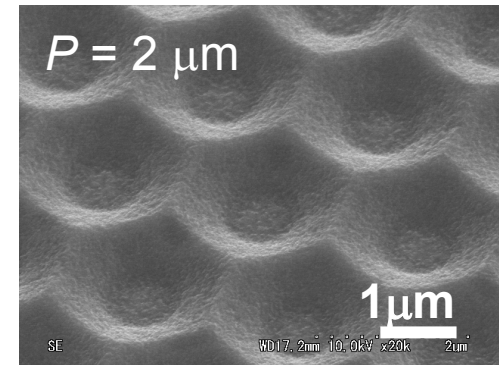
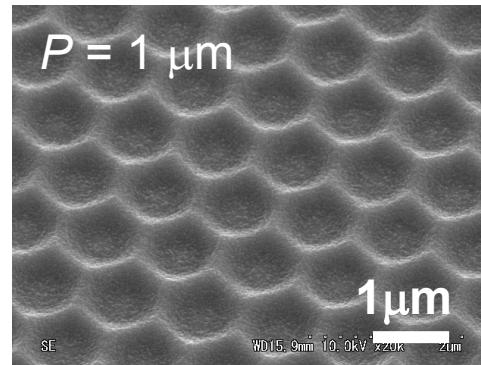
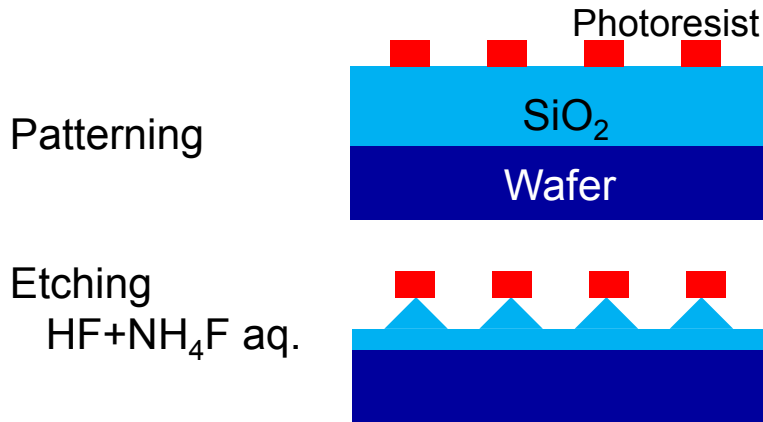
\*AIST 評価・標準チーム測定

# 高度光閉じ込め技術開発

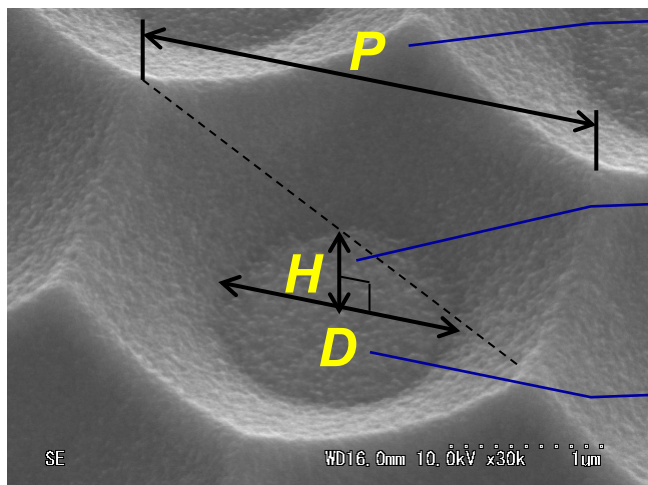
従来のランダムテクスチャ基板 (透明電極などの成長制御・エッチング)



新しく開発した周期構造テクスチャ基板 (ピッチや深さ、アスペクト比を系統的に制御可)



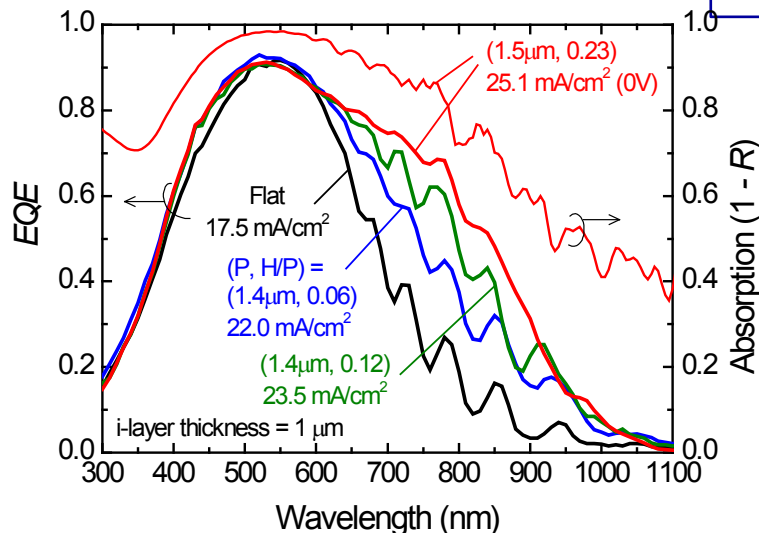
# 高度光閉じ込め技術開発



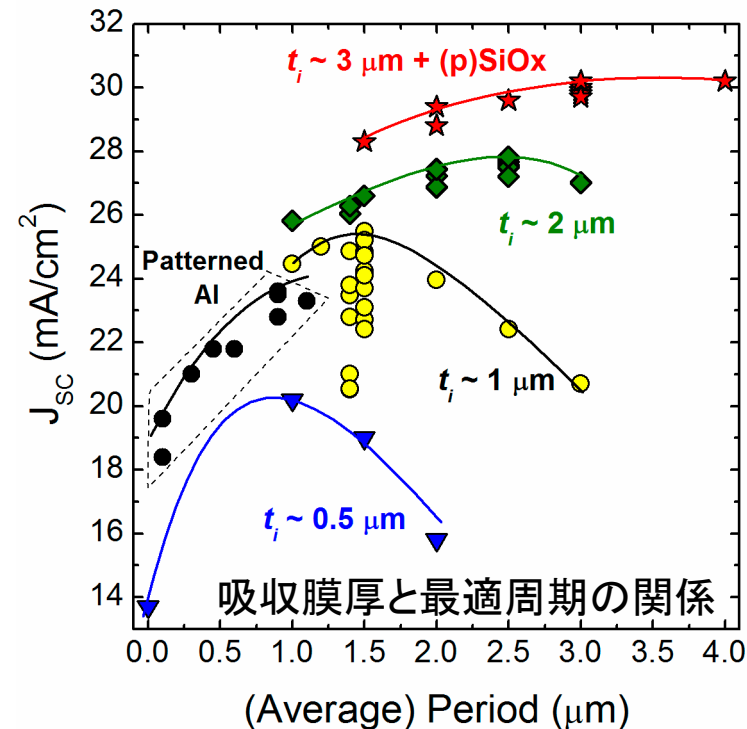
周期  
 $P = 1 \sim 4 \mu\text{m}$

アスペクト比  
 $H/P = 0 \sim 0.3$

底部長さ比  
 $D/P = 0.3 \sim 0.5$



アスペクト比大⇒光閉じ込め効果大



- 基板表面形状の最適設計の指針を得た
- テクスチャ+TCOの最適化により、 $J_{sc}=30.8 \text{ mA/cm}^2$  (@ $t_i=3 \mu\text{m}$ , ラボ測定)を得た
- 微結晶Si太陽電池で変換効率10.5%\*を達成

\*AIST 評価・標準チーム測定

- 多接合型化でさらなる高効率化に期待

## まとめ

- NEDOプロジェクトのもと、オールジャパン コンソーシアム体制で薄膜シリコン太陽電池の課題克服に向けた研究開発を推進
- AISTは主に高効率化研究開発を実施
- 光安定化技術開発に関しては、独自の製膜法(トライオード製膜法)による膜質を改善するアプローチにより、市販基板を用いたセルにおいて、タンデムセル安定化効率12.0%を達成
- 透明導電膜・光閉じ込め開発に関しては、従来技術を上回る要素技術開発に成功
- 周期構造を有するハニカムテクスチャ構造による光閉じ込め最適構造の検討により、微結晶Siシングルセルで短絡電流 $30.8 \text{ mA/cm}^2$ を達成。変換効率10.5%を実証