

# 研究分野紹介

# 薄膜シリコン太陽電池

太陽光発電工学研究センター  
先端産業プロセス・低コスト化チーム  
松原 浩司

# 薄膜シリコン太陽電池の特徴

1. 低温 (~200°C) で形成可能

- ⇒ ・プラスチックなどの軽量、フレキシブル基板が使える  
・製造に要するエネルギーが少ない(低コストに有利)



2. 材料はシリコンで薄い (0.3~3 μm)

- ⇒ 低コストかつ原料調達リスク小



3. 高温での性能低下少ない

- ⇒ Sunbelt地帯における高発電量が期待可



4. 大面積への一括製膜、集積化プロセス

- ⇒ 量産効果による低コスト化の可能性



5. 変換効率が低い

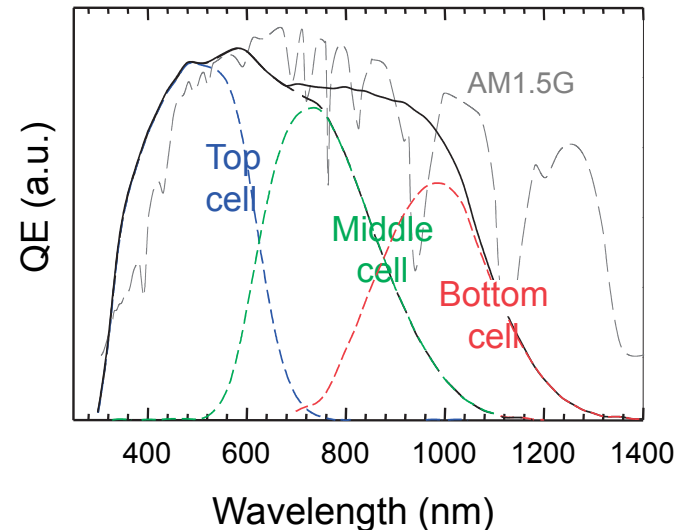
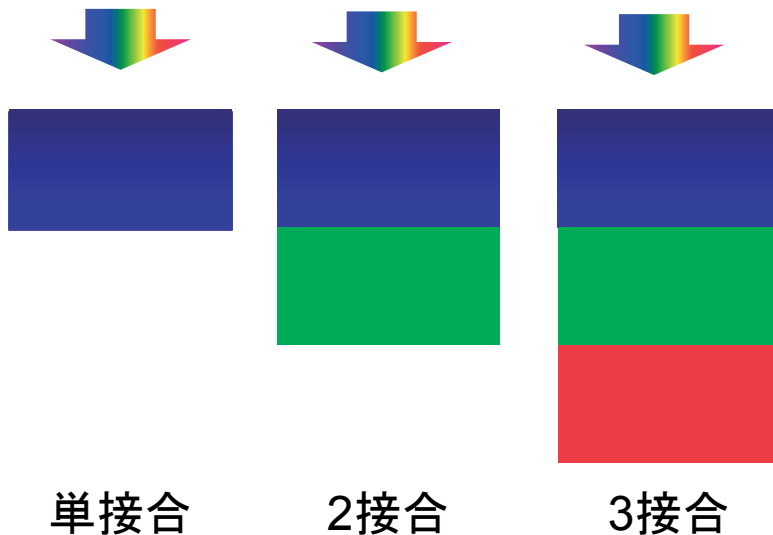


6. 光照射下で性能低下(光劣化, Staebler-Wronski効果)

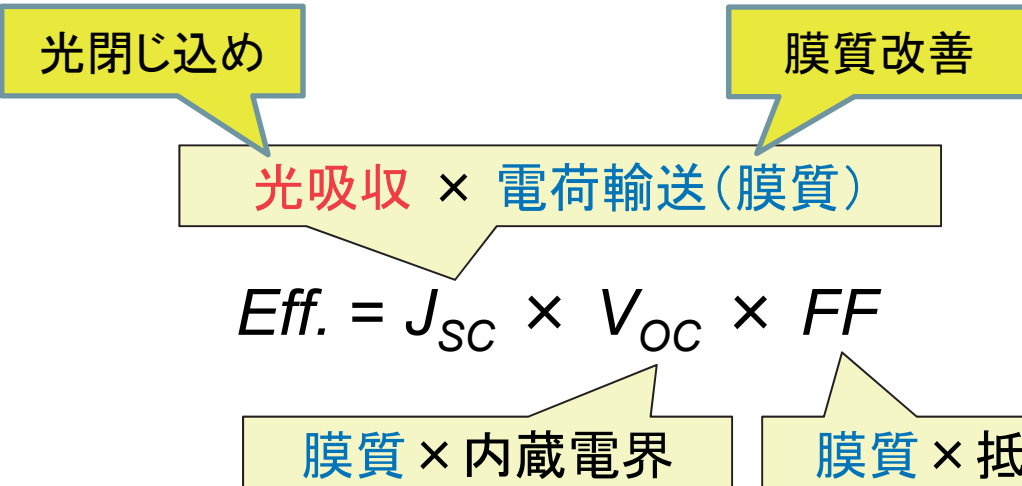


# 高効率化に向けて

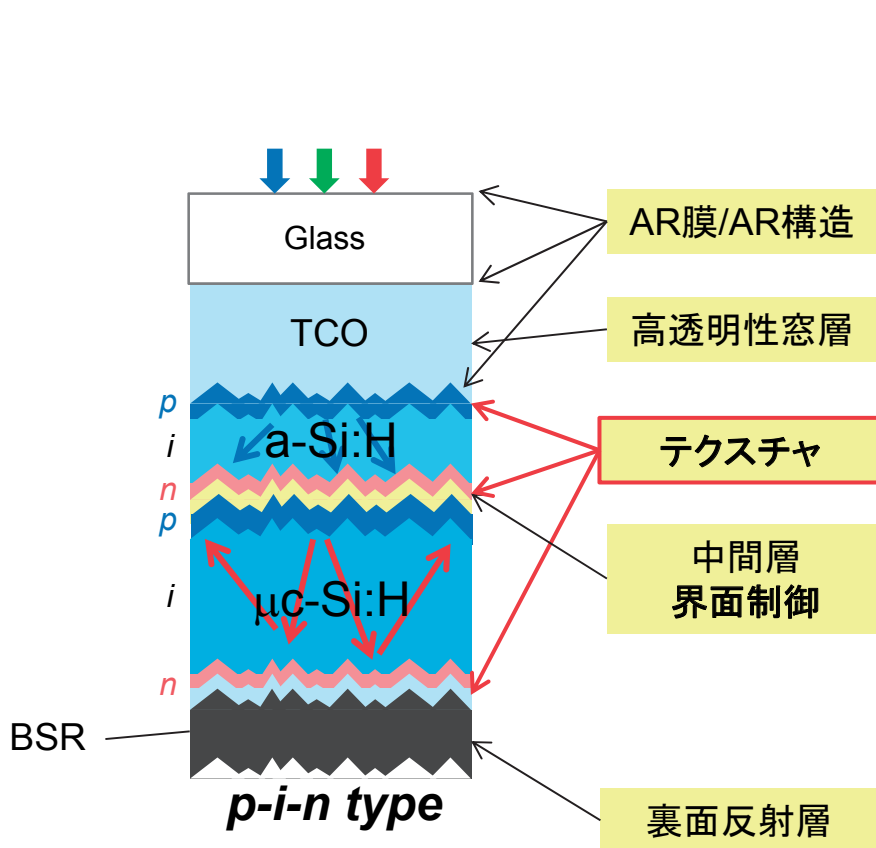
多接合化



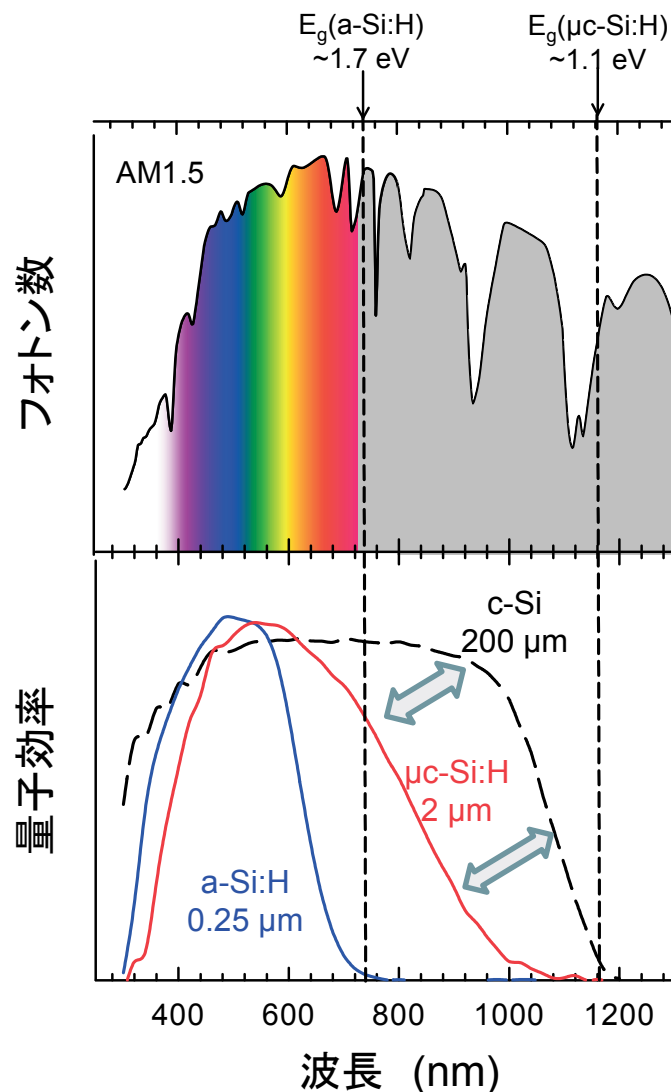
材料



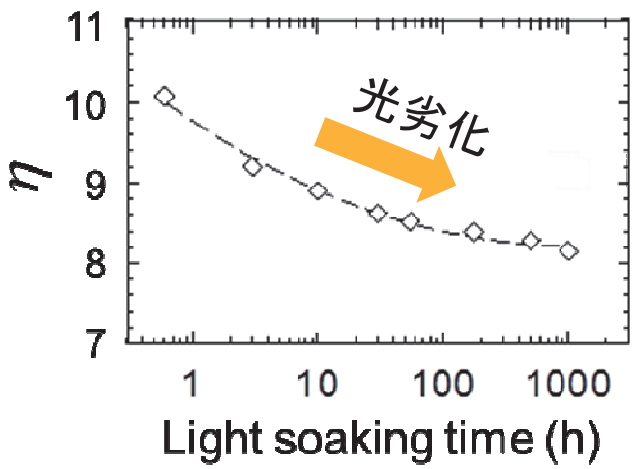
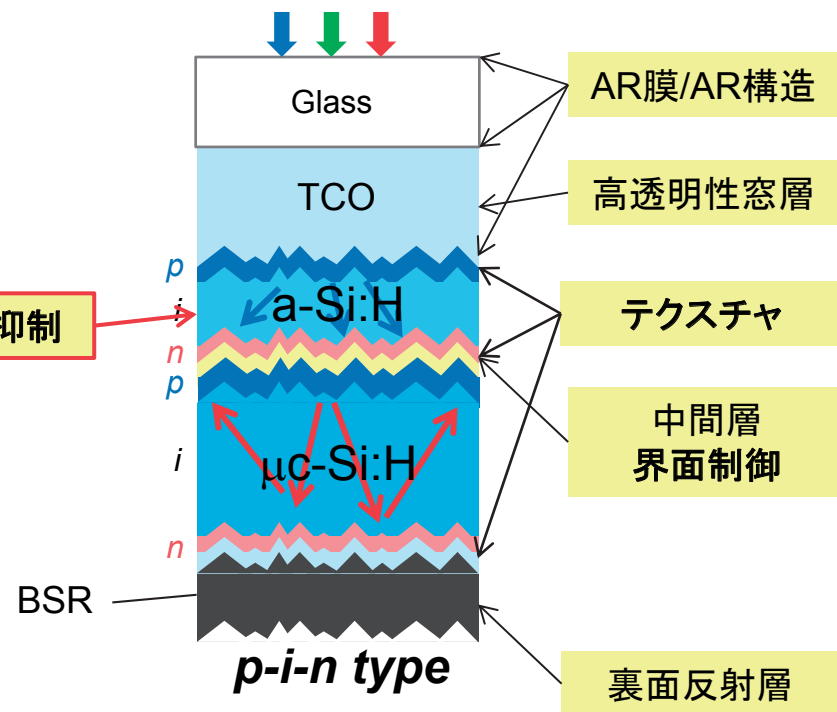
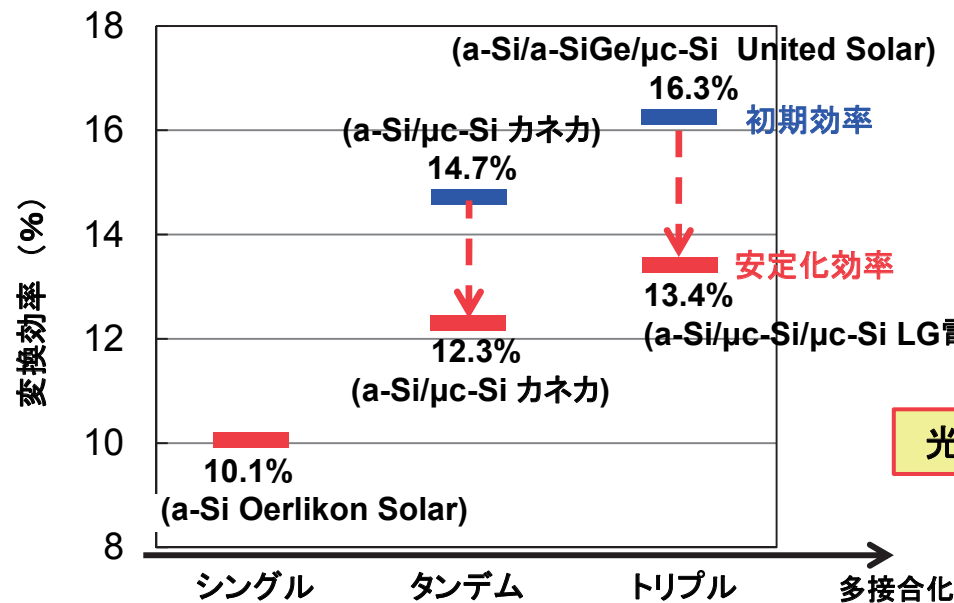
# 高効率化に向けた課題： 光閉じ込め技術



- 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(透明電極の改良)



# 高効率化に向けた課題： 光劣化の抑制

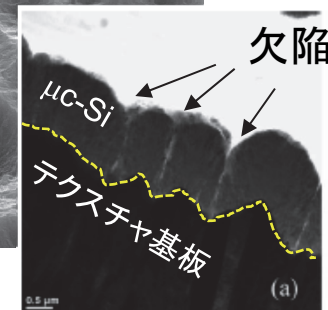
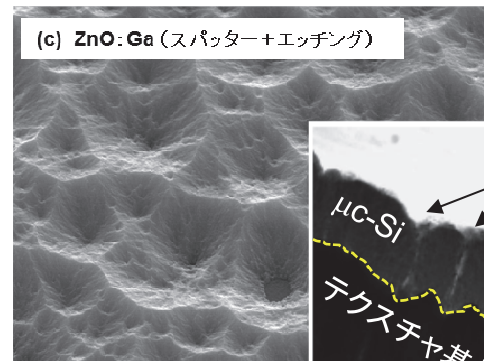
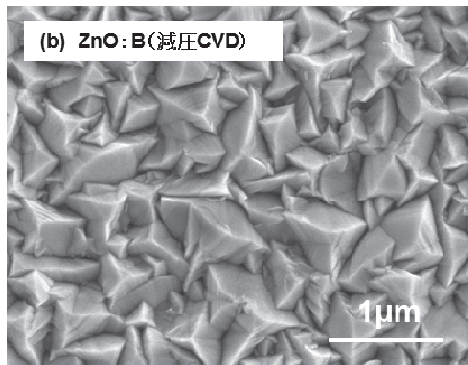
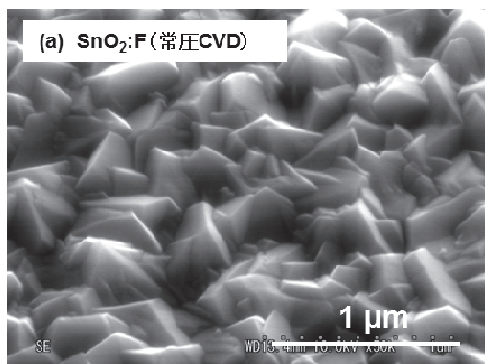


a-Si:Hの高光安定化が必要

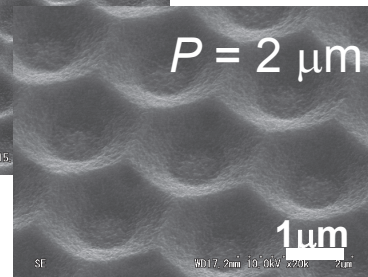
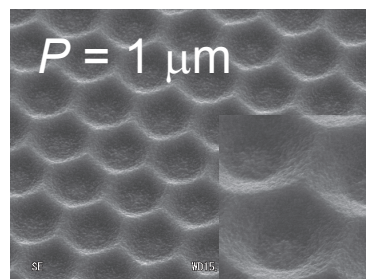
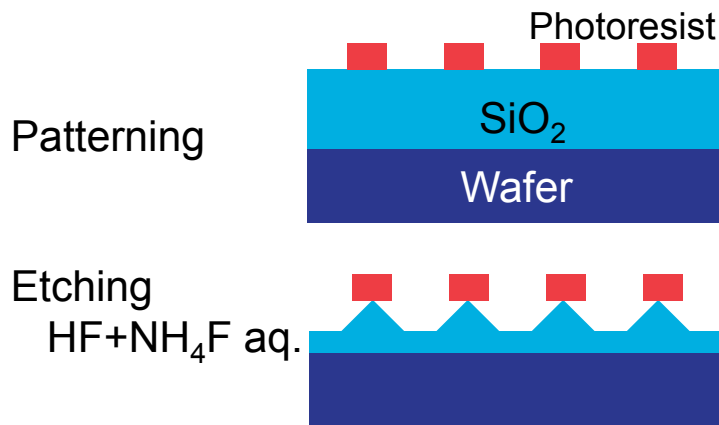
# RCPVTの取組み

# 光マネジメント： 光閉じ込め技術

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)



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)



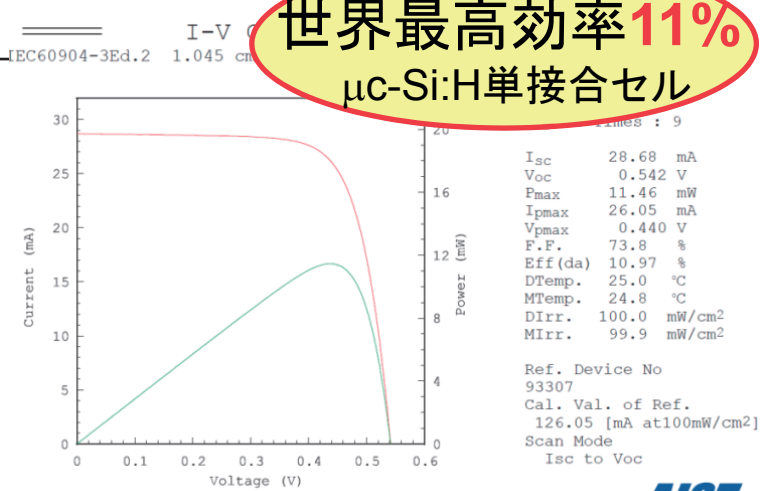
Substrate型で  
系統的に研究

# 微結晶シリコン太陽電池の効率向上

aa: active area  
da: designated area

	Area cm <sup>2</sup>	t μm	V <sub>oc</sub> V	J <sub>sc</sub> mA/cm <sup>2</sup>	FF	Eff. %	Remarks
EPFL	da 1.04	1.8	0.549	26.55	0.733	<b>10.69</b>	Superstrate [1]
	aa 1.0	2	0.51	24	0.72	~9	Commercial substrate
	da 1.05	1.8	0.521	28.17	0.716	<b>10.5</b>	ハニカムテクスチャ, IOH [2]
	da 1.05	1.8	0.523	28.22	0.732	<b>10.81</b>	ハニカムテクスチャ, ITO, AR, (i)μc-Si[3]
	Δ		+0.4%	+0.2%	+2.2%		
	da 1.05	1.7	0.542	27.44	0.738	<b>10.97</b>	ハニカムテクスチャ, i-p buff., thin (i)μc-Si
	Δ		+3.6%	-2.8%	+0.8%		

**世界最高効率11%**  
μc-Si:H単接合セル



## <J<sub>sc</sub>>

- 反射防止フィルム

## <V<sub>oc</sub>, FF>

- (i)μc-Si:Hの結晶化率調整
- i-p buffer層
- 薄型化

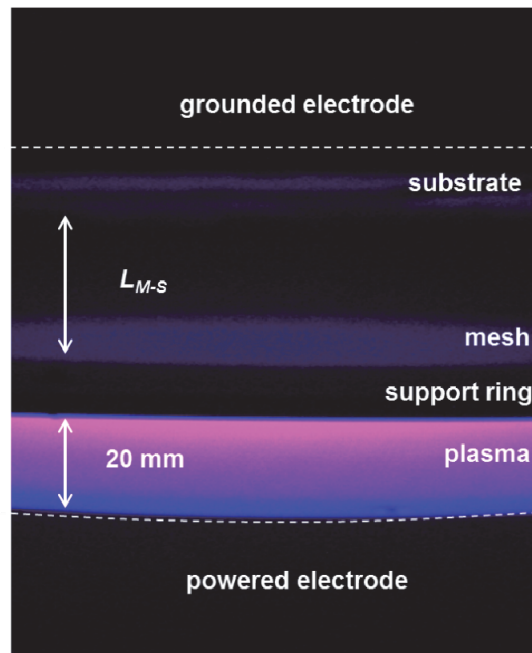
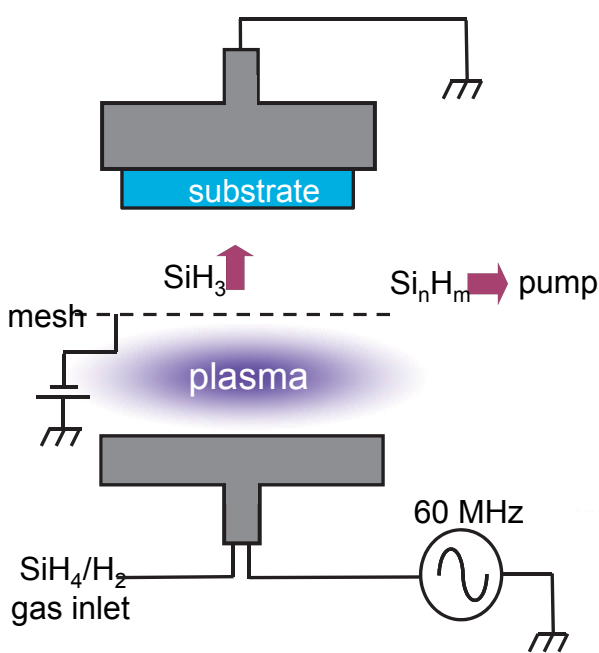
[1] Hänni et al., *PIP 21* (2013) 821. [2] Sai et al., *APEX 6* (2013) 104101.

[3] *PIP 22* (2014) 1. efficiency tables (ver.43)

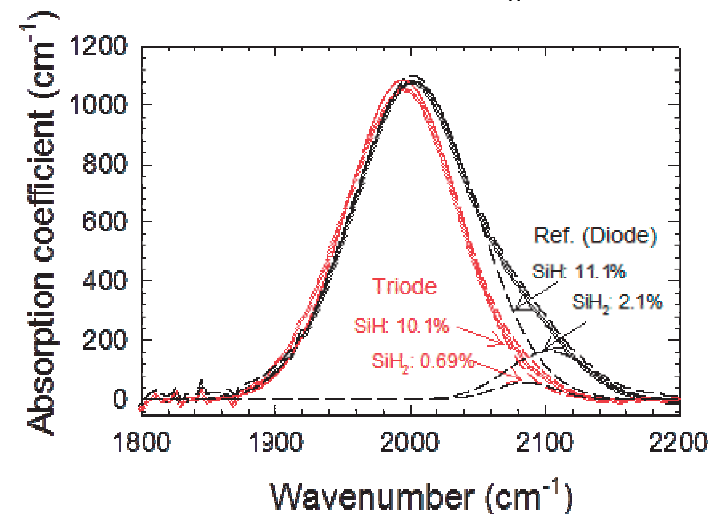


# 低劣化a-Si:Hセルの開発

< triode PECVD >



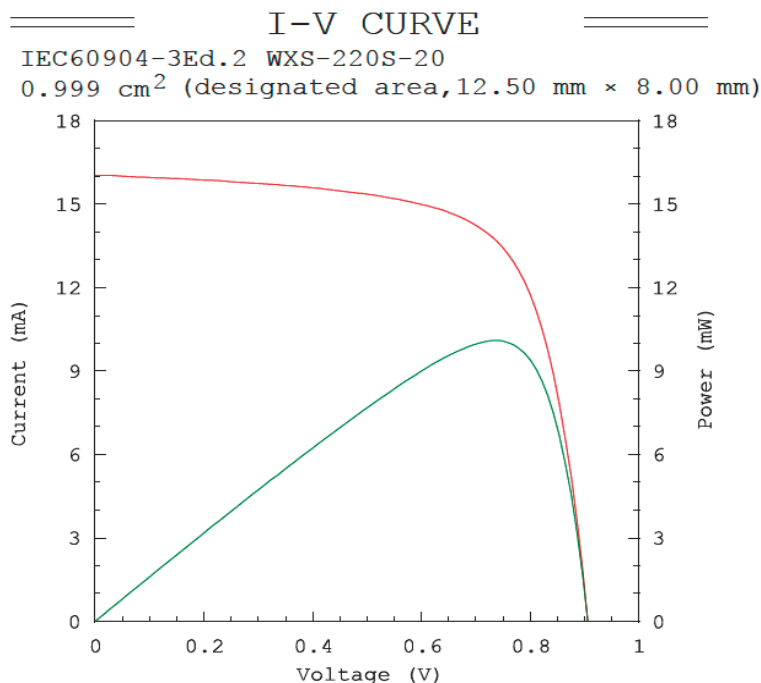
< 赤外吸収スペクトル (Si-H<sub>n</sub>伸縮振動) >



- 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 $\text{SiH}_2$ 濃度が少ない緻密なアモルファスシリコンが得られる

## a-Si:H単接合セルの開発 (レコードセルとの比較)

Organization	Remark	LS condition	confirmed by	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (mV)	FF	efficiency (%)
AIST/PVTEC*	stabilized $t_i \sim 220$ nm 0.999 cm <sup>2</sup>	1sun, 50°C 1000h	AIST	16.05	906	0.695	10.11
TEL Solar** (Oerlikon Solar)	stabilized $t_i \sim 250$ nm 1.05 cm <sup>2</sup>	1sun, 50°C 1000h	NREL	17.28	876	0.665	10.09



Date : 14 JUN 2013  
 Data No : T130401-1-01  
 Sample No : T130401-1  
 Repeat Times : 9

$I_{sc}$  16.04 mA  
 $V_{oc}$  0.906 V  
 $P_{max}$  10.10 mW  
 $I_{pmax}$  13.70 mA  
 $V_{pmax}$  0.737 V  
 F.F. 69.5 %  
 Eff (da) 10.11 %  
 $DTemp.$  25.0 °C  
 $MTemp.$  25.1 °C  
 $DIrr.$  100.0 mW/cm<sup>2</sup>  
 $MIrr.$  100.0 mW/cm<sup>2</sup>

Ref. Device No  
 JQA01+KG5-2t  
 Cal. Val. of Ref.  
 54.94 [mA at 100mW/cm<sup>2</sup>]  
 Scan Mode  
 $I_{sc}$  to  $V_{oc}$

\*T. Matsui, et al., 28<sup>th</sup> EU-PVSEC (2013)

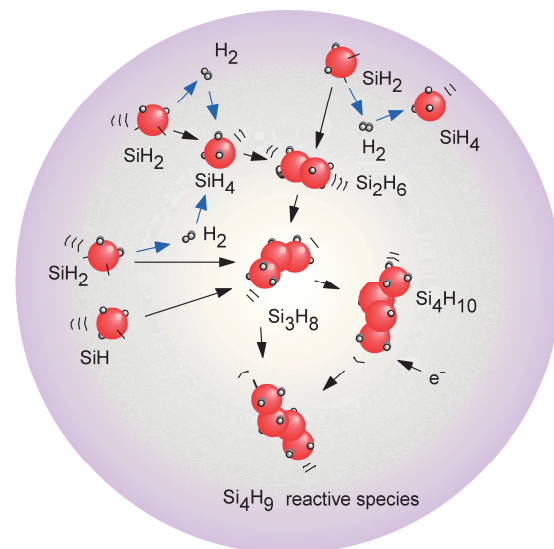
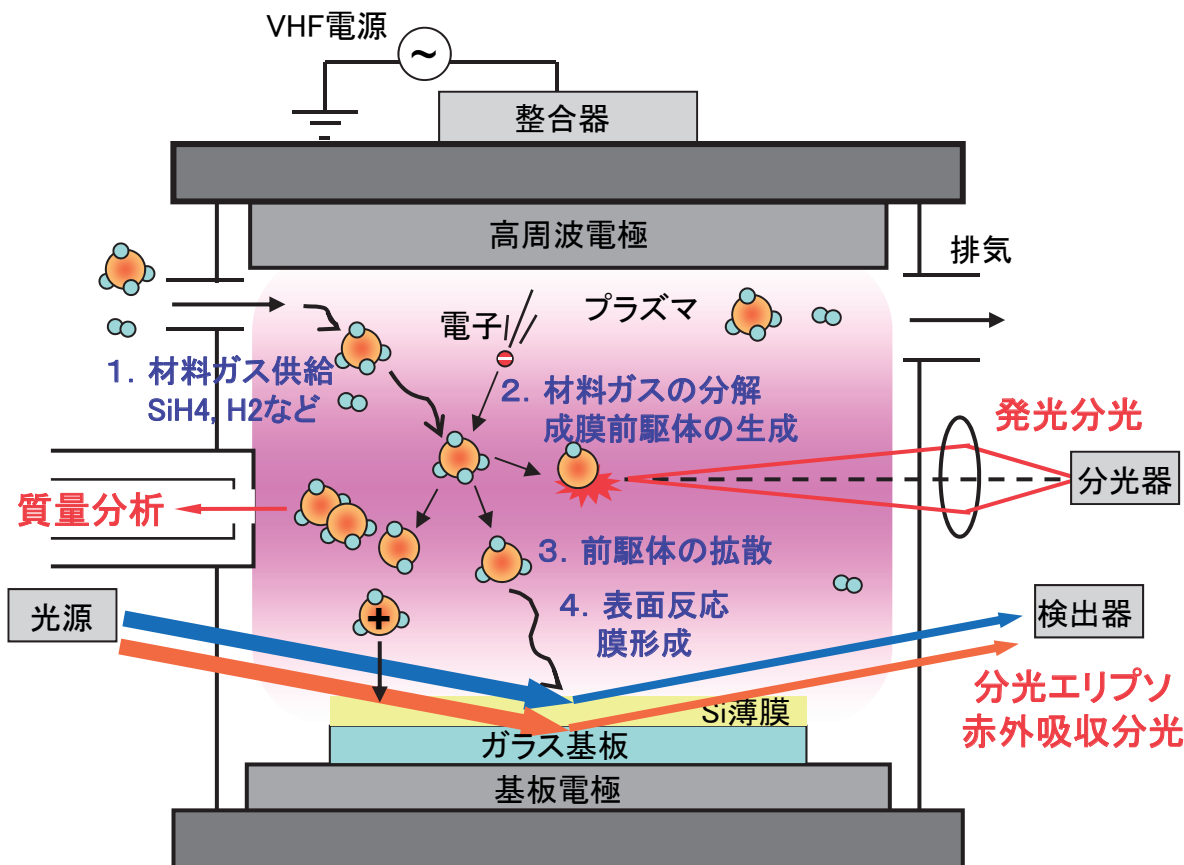
\*\*S. Benagli, et al., 24<sup>th</sup> EU-PVSEC (2009)

- ドープ層・界面バッファ層の改良とa-Si:H i層の高品質化により、世界最高の安定化効率10.11%を達成
- i層高品質化に起因して、高い劣化後FFを実現
- 短絡電流密度が低く、光閉じ込めに課題

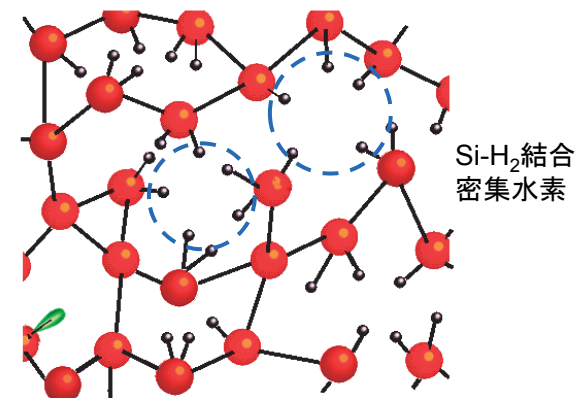
Light-soaking condition: 1-sun, 1000 hours, 50°C

# 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



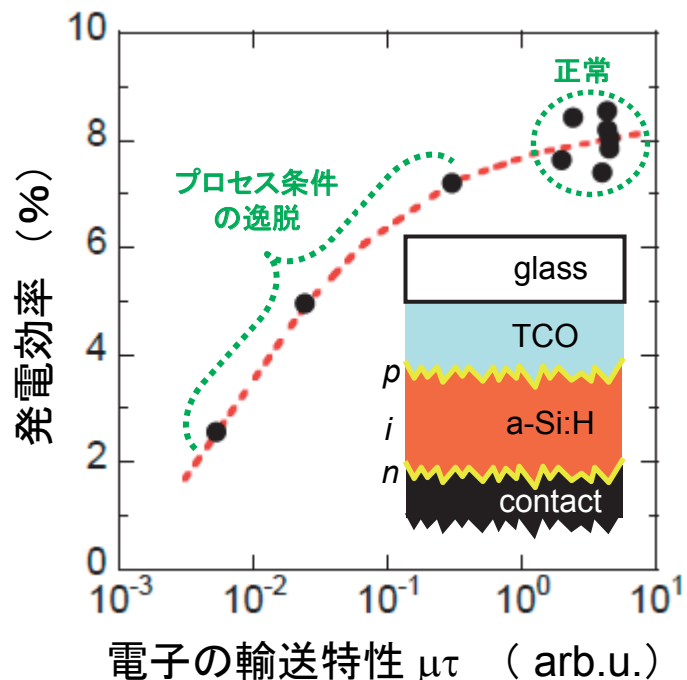
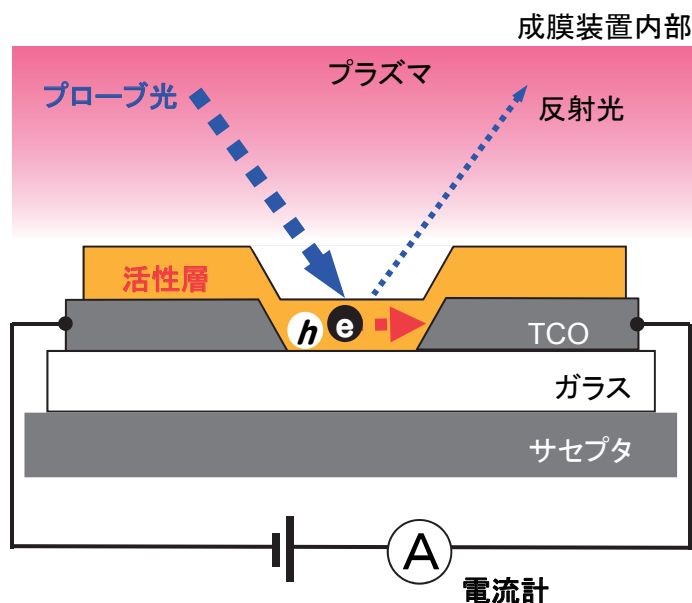
気相反応生成物の評価



膜欠陥評価

# プロセス・材料評価技術

## 活性層 (a-Si:H) の電子輸送特性のリアルタイム計測



- プロセスの早期異常発見
- → 歩留まりの向上を支援

- 活性層の品質をモニタリング
- → 電池性能の予測が可能に

## 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
- 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、光吸収層の膜質改善、界面制御などにより、微結晶Siシングルセルで変換効率11%を達成
- 独自の製膜法(トライオード製膜法)による膜質改善で、a-Siシングルセルで安定化効率10.11%を達成
- レーザプローブによる製膜中リアルタイム計測技術を開発