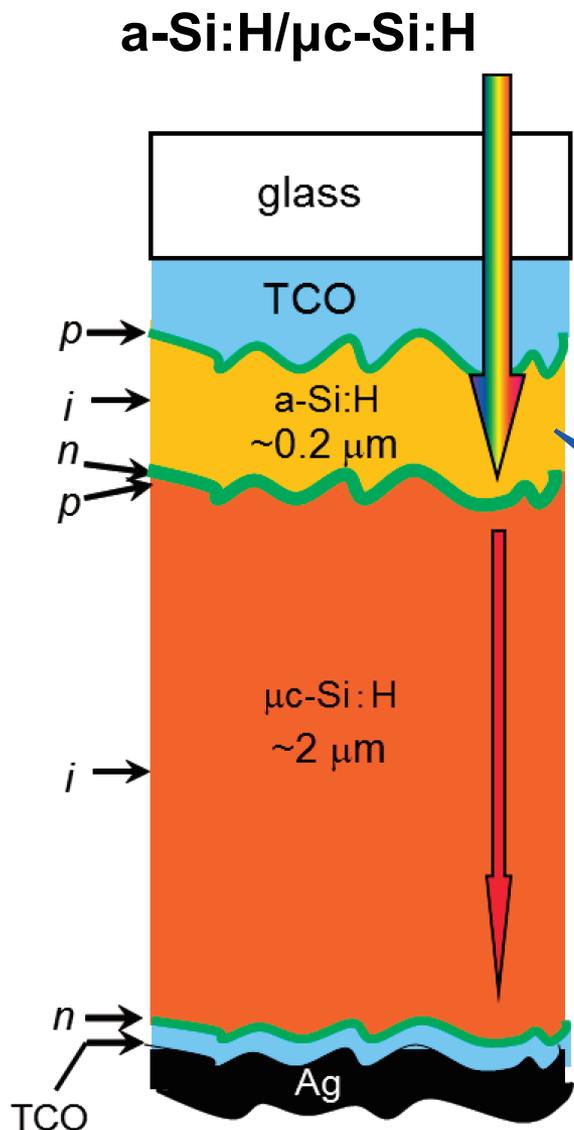


高光安定薄膜シリコン 太陽電池の開発

太陽光発電研究センター
先進プロセスチーム
松井 卓矢

研究背景



η (初期) : ~15 %

Yamamoto et al., Solar Energy 77 939 (2004).

Boccard et al., Nano Lett. 12 1334 (2012).

η (安定化) : ~12 %

Kroll et al., 26th EU-PVSEC 2340 (2011).

Terakawa et al., 26th EU-PVSEC 2362 (2011).

Kadota et al., 21st PVSEC 2A-2O-05 (2012).

Stannowski et al., SOLMAT 119 196 (2013).

Boccard et al., IEEE J. Photovolt. 4 1368 (2014).

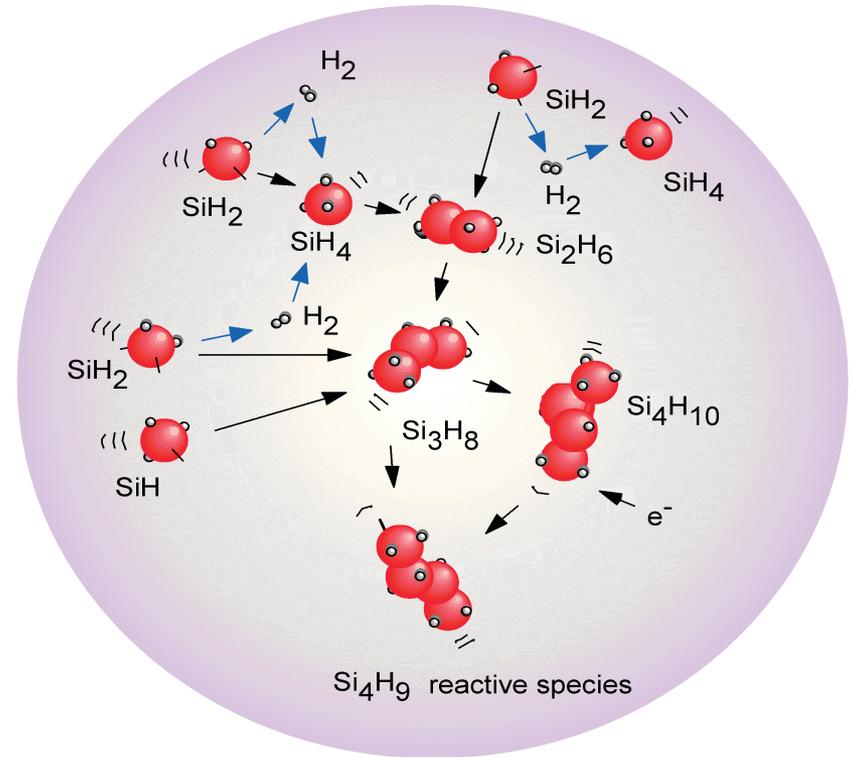
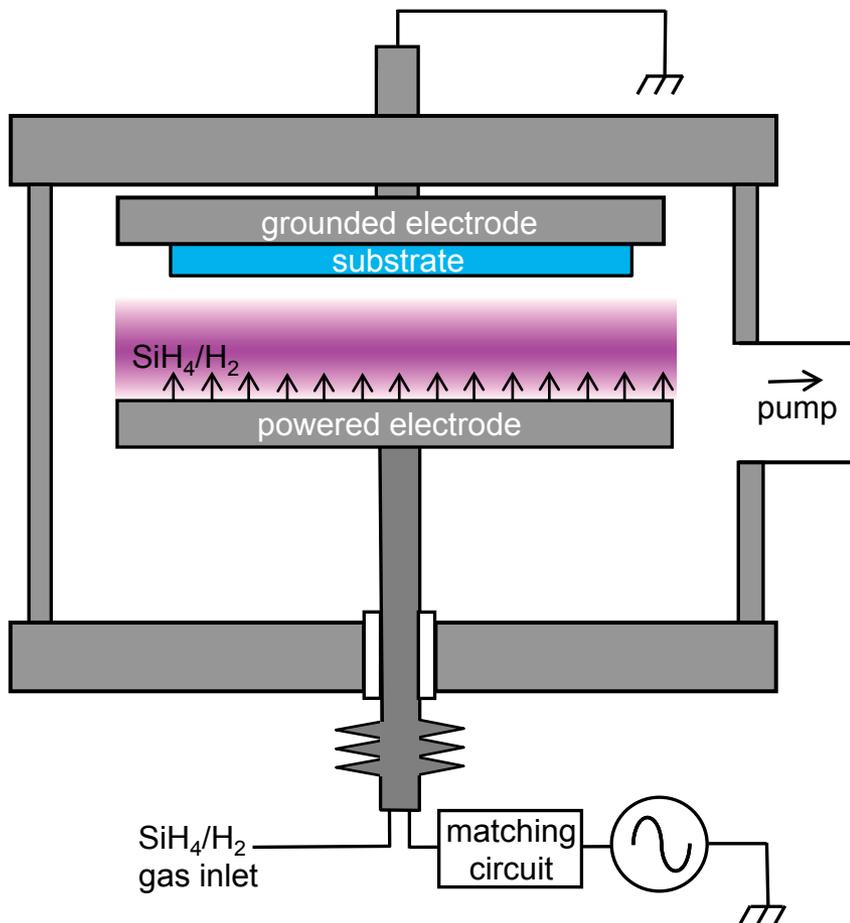
アモルファスシリコンの光劣化の問題

(Staebler-Wronski effect)

⇒高効率化には光劣化の抑制が必要

アモルファスシリコンの製膜

一般的なダイオード型プラズマCVD法

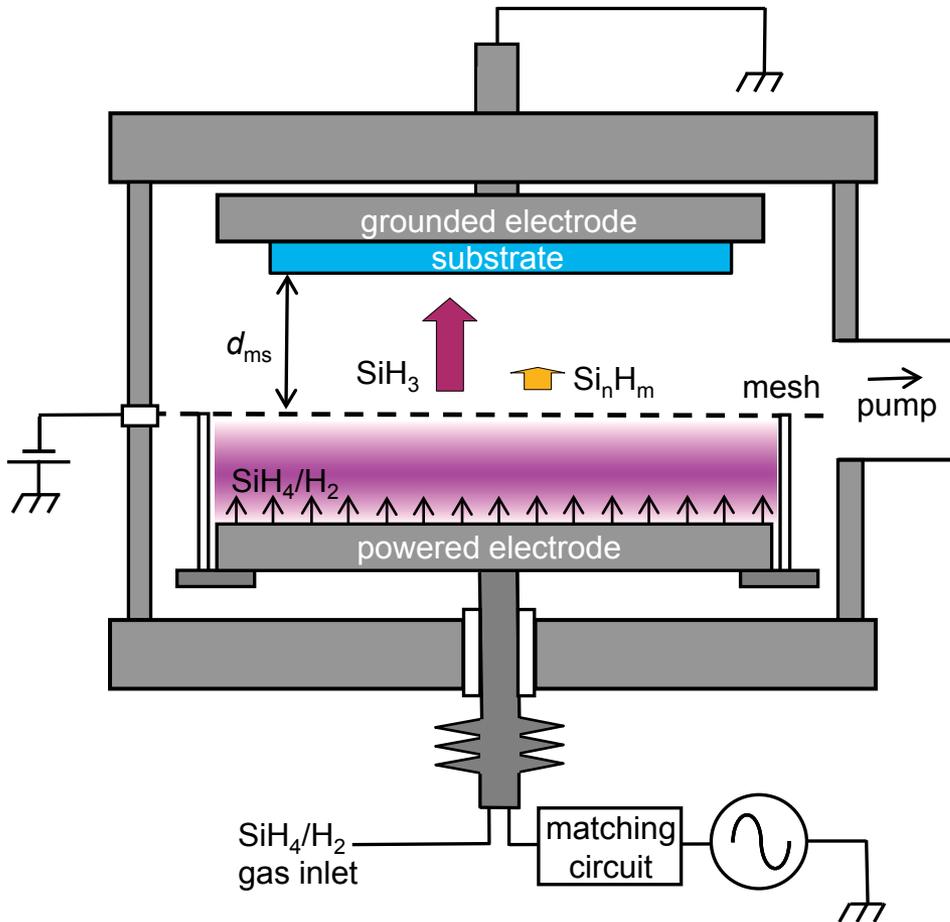


Matsuda et al., Surface Science 227 50 (1990).

Shimizu et al., JAP 97 033522 (2005).

光劣化を抑制する製膜プロセスの開発

トライオード型プラズマCVD法

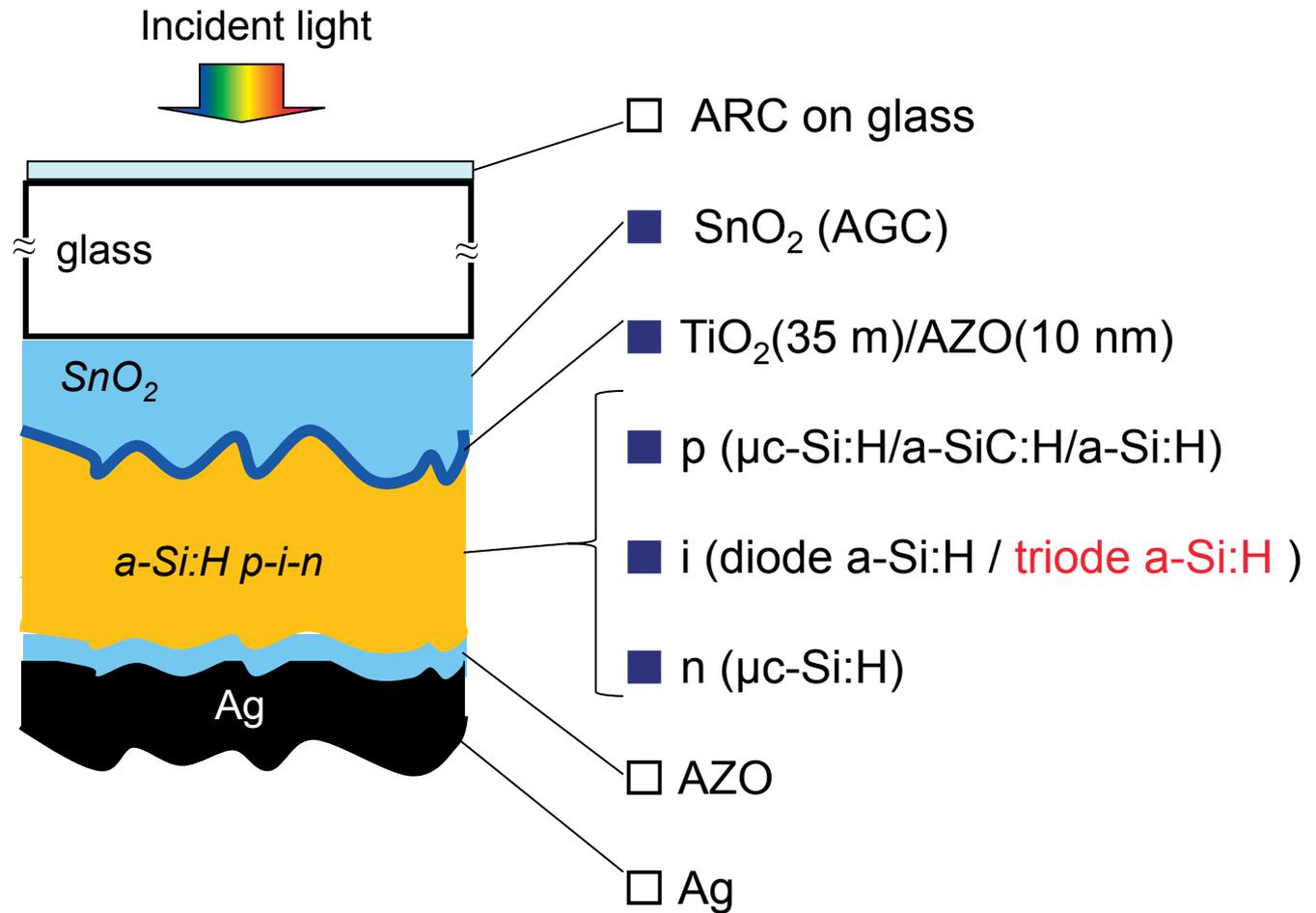


- SiH_3 選択輸送
- 短寿命ラジカル・クラスターの取り込み抑制
- 低温で低水素化 (SiH_2 結合の低減)
- 製膜速度が低い問題

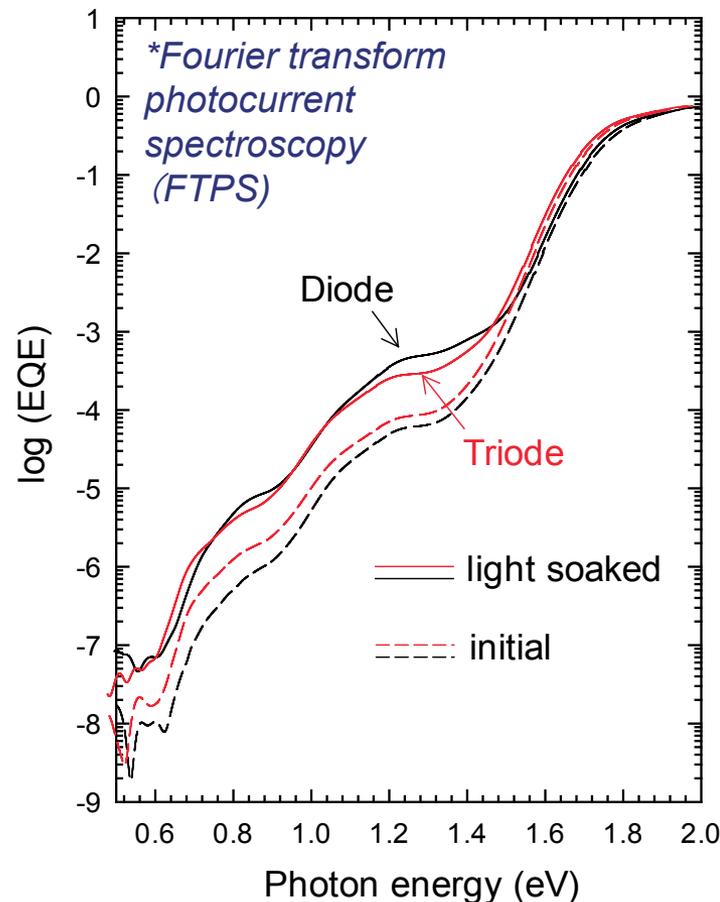
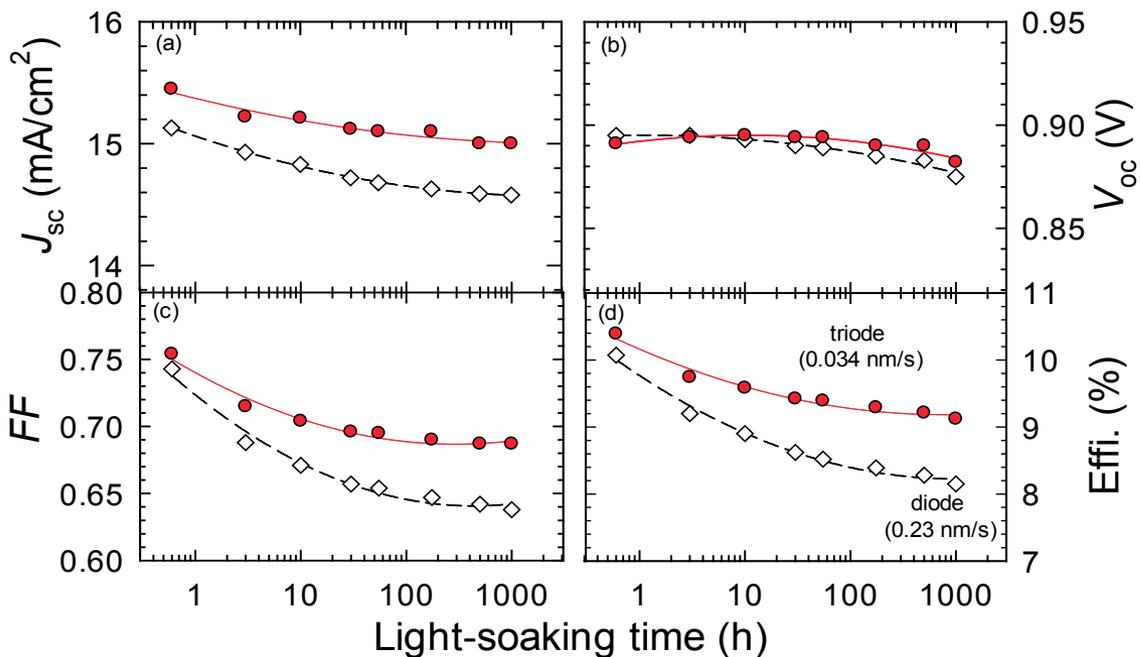
Matsuda et al., Surface Science 227 50 (1990).

Shimizu et al., JAP 97 033522 (2005).

a-Si:Hセル デバイス構造と最適化



a-Si:Hセル特性とサブギャップ吸収スペクトル(FTPS)



■ 初期特性はほぼ同等 ($\eta_{ini} \sim 10\%$)

■ 長時間の光照射により劣化の度合いが異なる(特にFF)
(トライオード: $\Delta\eta/\eta_{ini} \sim 10\%$, ダイオード: $\Delta\eta/\eta_{ini} \sim 18\%$)

■ 光劣化はギャップ内の光誘起欠陥の大小により決定される

*Vaneček and Poruba, *APL* **80**
719 (2002).

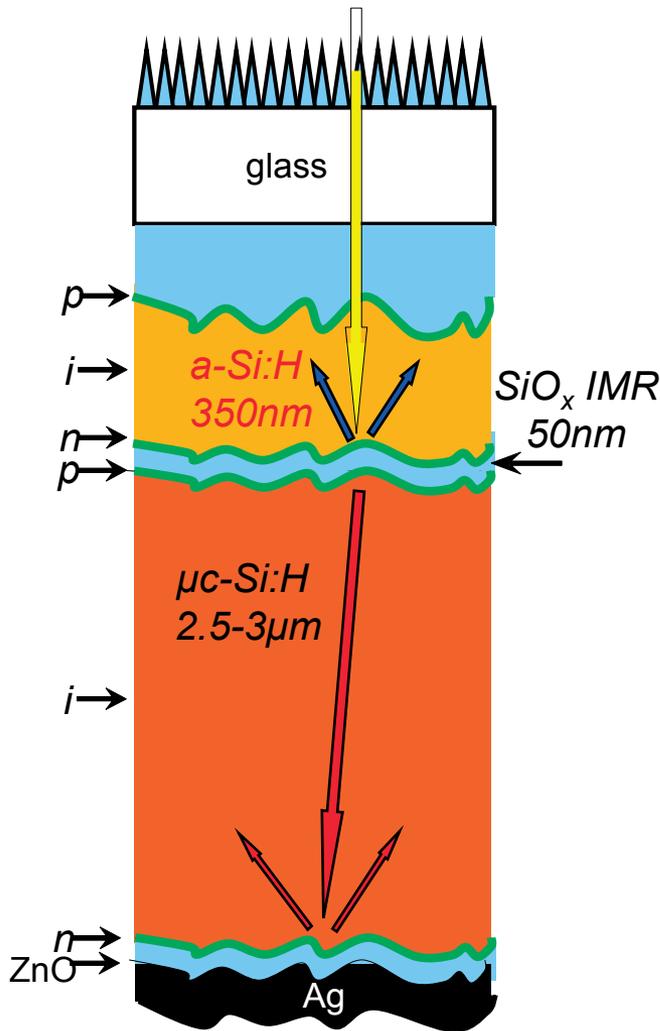
a-Si:Hセル 高精度評価結果

Organization	Remark	LS condition	confirmed by	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (mV)	FF	efficiency (%)
TEL Solar* (formerly Oerlikon Solar)	stabilized $t_i \sim 250$ nm 1.05 cm ²	1sun, 50°C 1000h	NREL	17.28	876	0.665	10.09
AIST/PVTEC	stabilized $t_i \sim 220$ nm 1.0 cm²	1sun, 50°C 1000h	AIST	16.36	896	0.698	10.22
AIST/PVTEC	stabilized $t_i \sim 310$ nm 1.0 cm²	1sun, 50°C 1000h	AIST	16.86	882	0.678	10.08

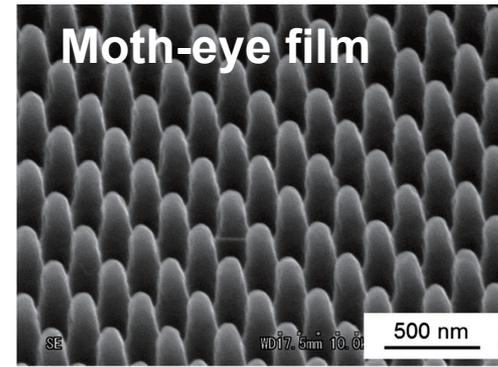
*Benagli et al., 24th EU-PVSEC 21 (2009).

- 遮光マスクをつけて高精度評価 (AIST太陽光発電研究センター評価・標準チーム測定)
- 前記録の10.09%* を上回る安定化効率
- 低い劣化率を厚膜でも維持 ($\Delta\eta/\eta=10-11\%$ @ $t_i=220-310$ nm)

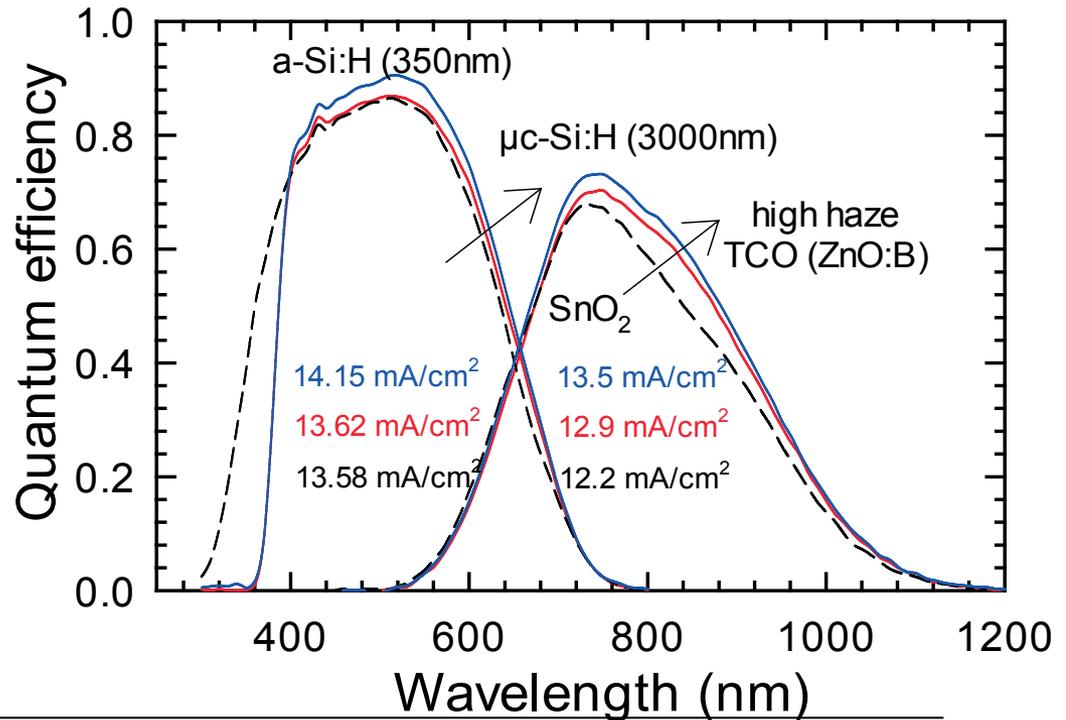
a-Si:H/ μ c-Si:H タンデムセル



Maejima et al., *TSF* 559 83 (2013).



Sai et al., *PIP online* (2015).



a-Si:H/ μ c-Si:H タンデムセル

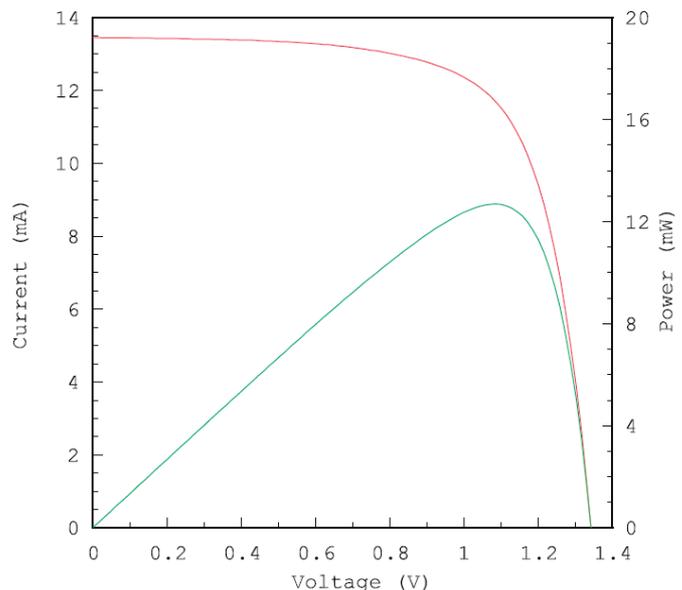
state	measurement	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (mV)	FF	efficiency (%)
initial	in-house	13.1	1.302	0.766	13.1
stabilized	in-house	12.9	1.330	0.744	12.7
stabilized	AIST	13.45	1.342	0.702	12.69

1-sun, 1000 hours, 50°C, open-circuit

I-V CURVE

IEC60904-3Ed.2 WHSS

1.000 cm² (designated area, 1.25 cm × 0.80 cm)



Date : 2 Oct 2014

Data No :

T140724-25-1-4tdm-1

Sample No :

T140724-25-1-4tdm

Repeat Times : 5

I_{sc}	13.45	mA
V_{oc}	1.342	V
P_{max}	12.69	mW
I_{pmax}	11.70	mA
V_{pmax}	1.085	V
F.F.	70.2	%
Eff (da)	12.69	%
DTemp.	25.0	°C
MTemp.	24.9	°C
DIrr.	100.0	mW/cm ²
MIrr.	100.2	mW/cm ² (top)
MIrr.	100.1	mW/cm ² (bottom)

Scan Mode

Isc to Voc

■ トライオード法によるトップセルi層製膜 ($t_i=350$ nm)

■ $\Delta\eta/\eta \sim 3\%$

■ 前記録の12.62%*を上回る安定化効率

*Boccard et al., *IEEE J. Photovoltaics* 4 1368 (2014).

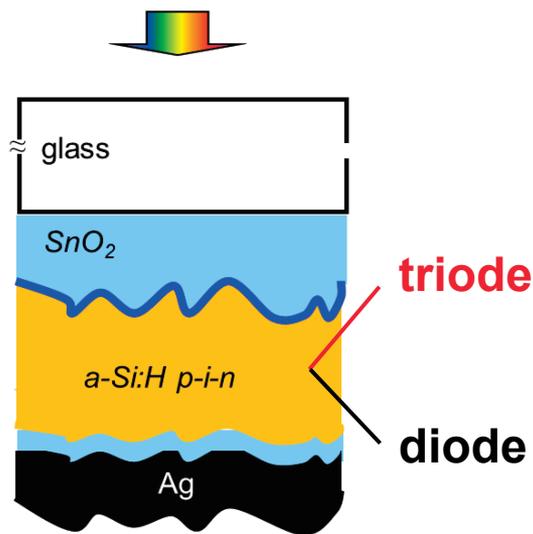
a-Si:H光安定性の製膜速度依存性の調査

1. トライオード法で高い特性が得られるのは、低い製膜速度に起因しているのか？
2. 製膜速度を極限的に下げれば、光劣化はさらに低減できるか？

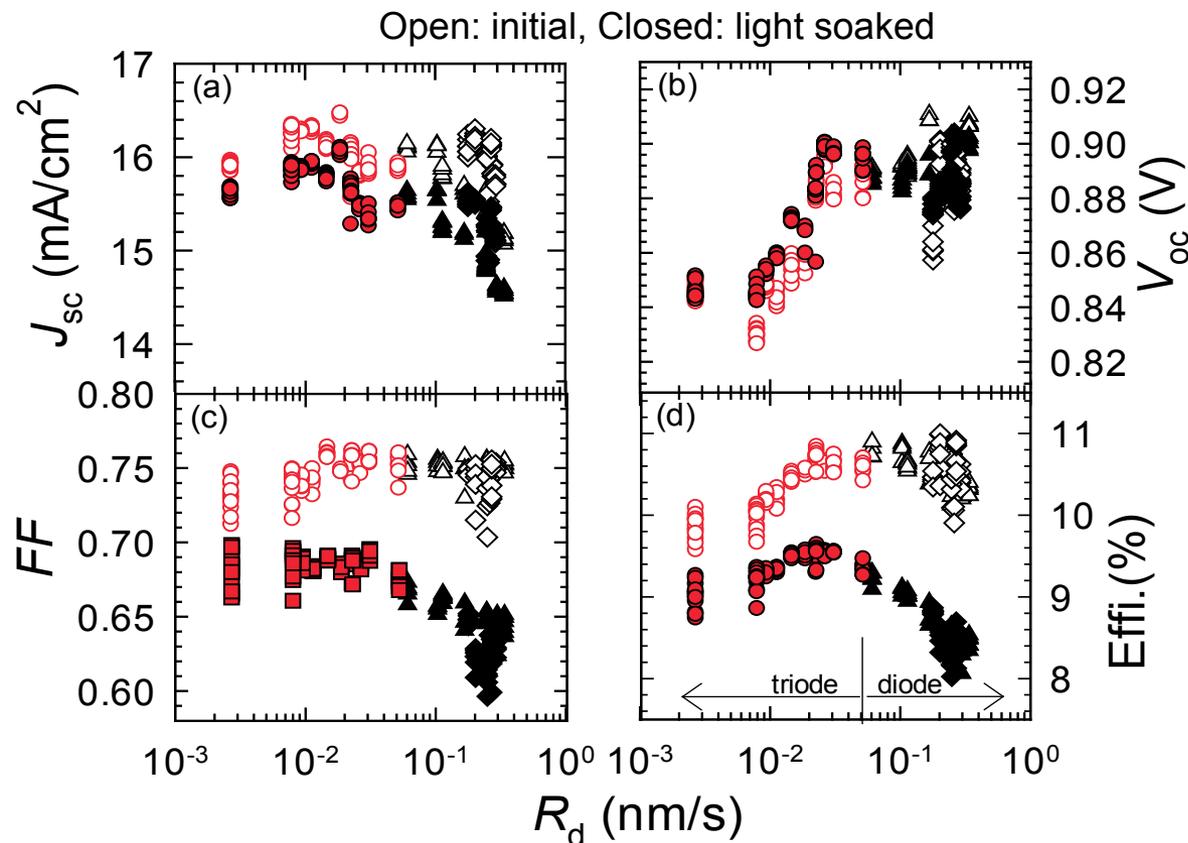


- ダイオードおよびトライオードプラズマCVD法を用いて広範囲に製膜速度を制御し、太陽電池の初期特性と光劣化特性を評価する。
- 異なる製膜速度で作製した太陽電池の局在準位を評価して、太陽電池特性を決める要因を調査する。

a-Si:Hセル i層製膜速度依存性



Matsui et al., *APL* 106, 053901 (2015).



- トライオード領域で最も高い安定化効率が得られるが、非常に低い製膜速度で作製したセル ($R_d=2 \times 10^{-3}$ nm/s) においても劣化後特性は改善されない ($FF \sim < 0.7$)。
- 低レート化に伴って V_{oc} が著しく低下 \Leftrightarrow 狭バンドギャップ化に関係。
- より高い製膜速度領域でトライオード法の効果を検証する必要がある。

まとめ

- トライオード型プラズマCVD法を用いて光吸収層を製膜したa-Si:H太陽電池は、光誘起欠陥の生成が少ないことに起因して光照射後に優れた発電特性を示す。
- その結果、これまでの報告の中で最も高い安定化効率を単接合(10.2%)並びにタンDEM構造(12.7%)のデバイスで実証した。(高精度評価結果)
- 製膜速度を極限的に低くしても、一定の光劣化が残存する。
- 一般的な製膜速度領域で、トライオード法の優位性を検証することが課題。

謝辞

本研究はNEDO「太陽エネルギー技術研究開発 太陽光発電システム次世代高性能技術の開発 次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による研究開発」の中で太陽光発電技術研究組合(PVTEC)と共同で実施された。関係各位に感謝致します。



New Energy and Industrial Technology
Development Organization

