

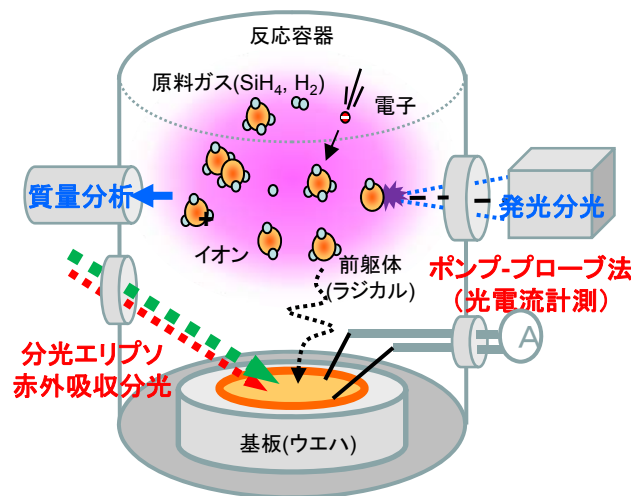
シリコンヘテロ太陽電池の 界面欠陥の評価

国立研究開発法人産業技術総合研究所
太陽光発電研究センター
先進プロセスチーム

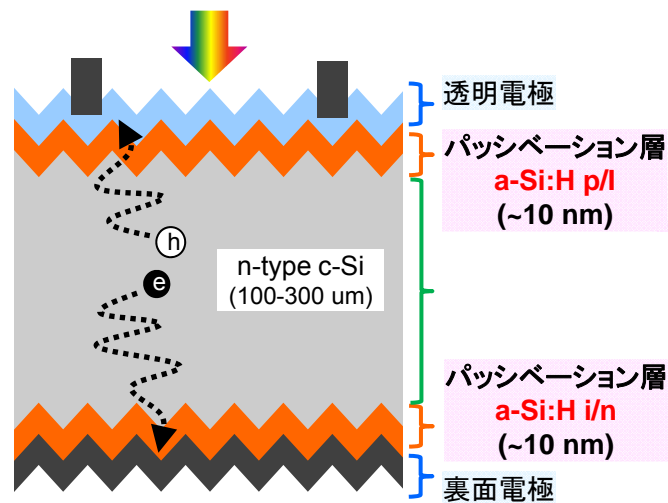
布村 正太, 坂田 功, 佐藤 愛子,
Mickaël Lozac'h, 松原 浩司

シリコンヘテロ接合 (SHJ) 太陽電池の高効率化にむけて

作製プロセスの理解

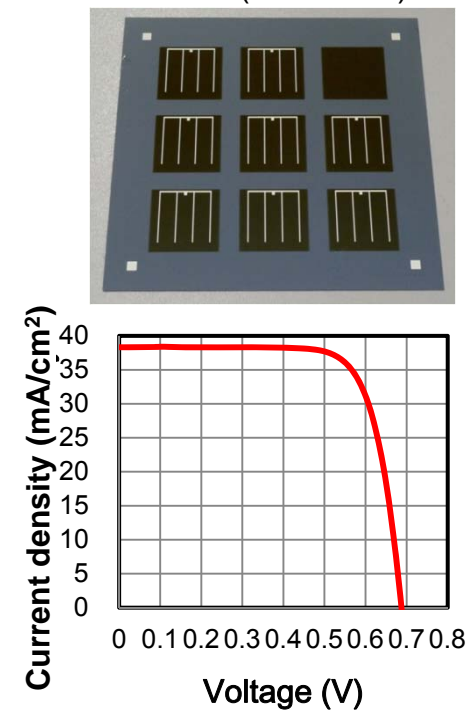


材料・デバイス開発



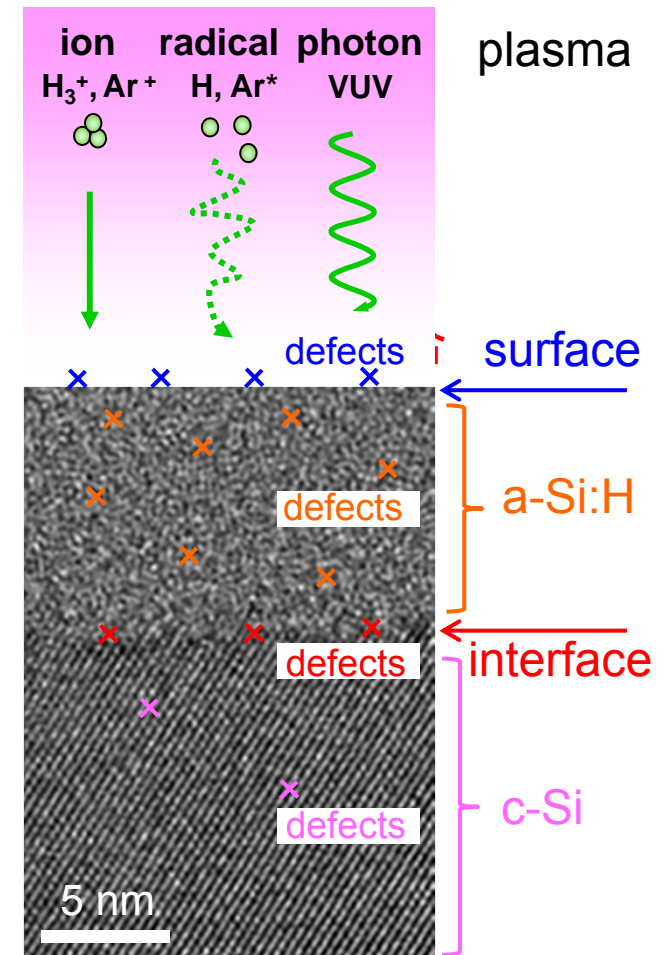
性能評価

SHJ セル(効率~22%)

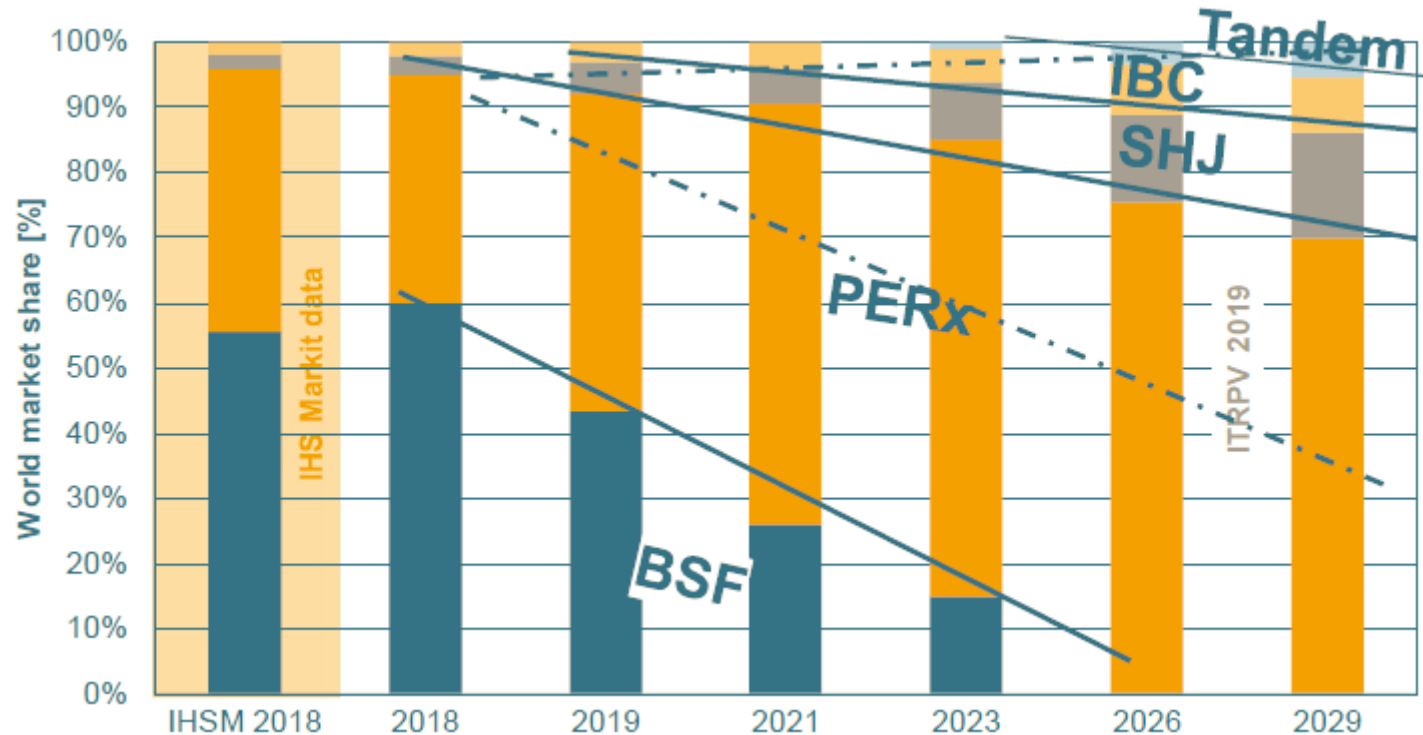


内容

1. SHJ太陽電池の構造と製作工程
2. 界面欠陥の評価法
 - ・QSSPC法
 - ・実時間その場での光電流計測法
3. 結果
 - ・界面欠陥の発生と修復
 - ・欠陥発生の原因
 - ・欠陥修復のポイントと高効率化
4. まとめ

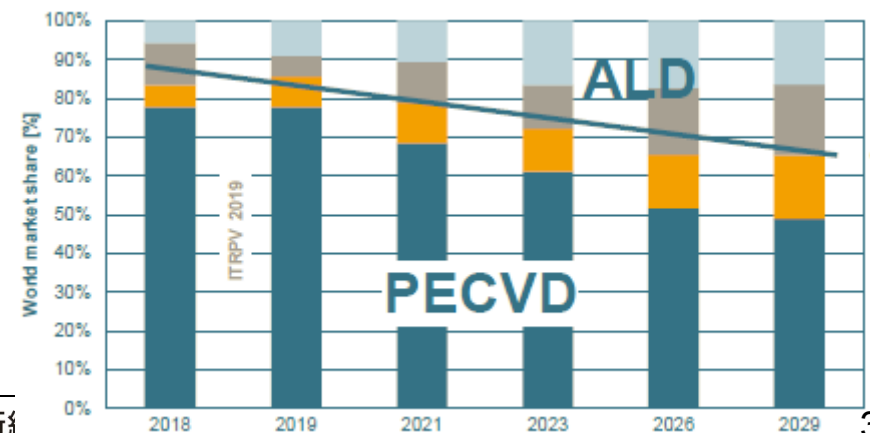


研究背景：c-Si太陽電池のセル構造予測 (ITRPV2019)



1. 両面パッシベーションを有する高効率
RERC、SHJ構造が主流に。

2. パッシベーションはPECVDやALD
等のプラズマ技術に基づく。



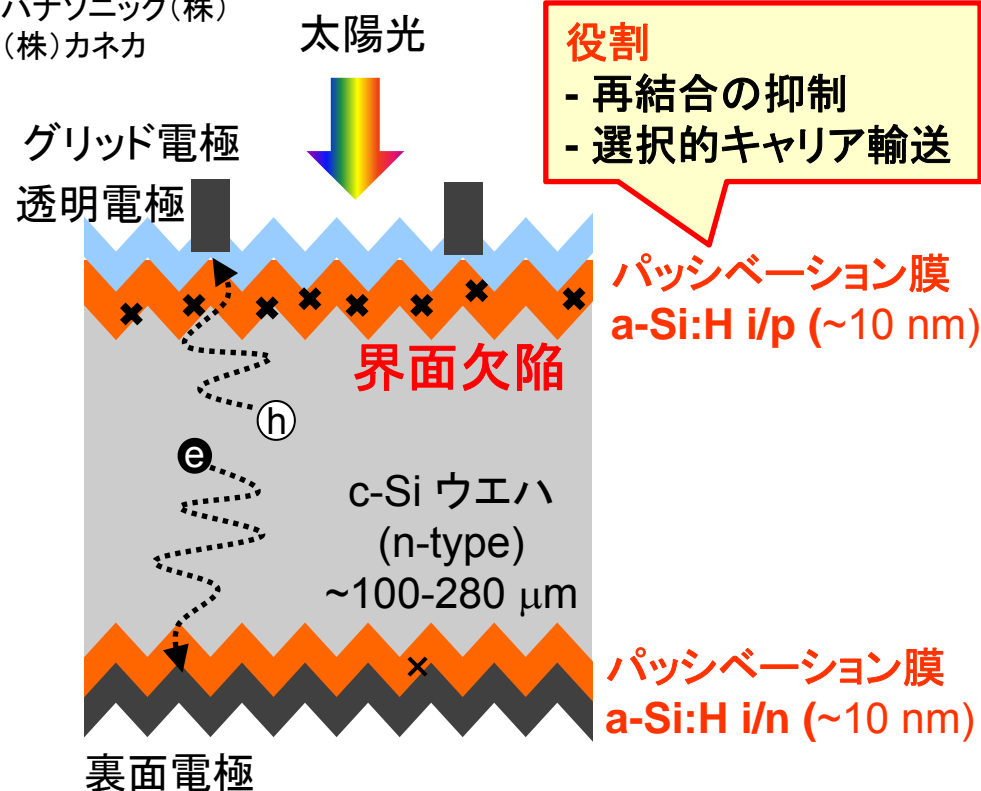
<http://www.itrpv.net/Reports/Downloads/2019/>

SHJ太陽電池の構造と作製プロセス(一例)

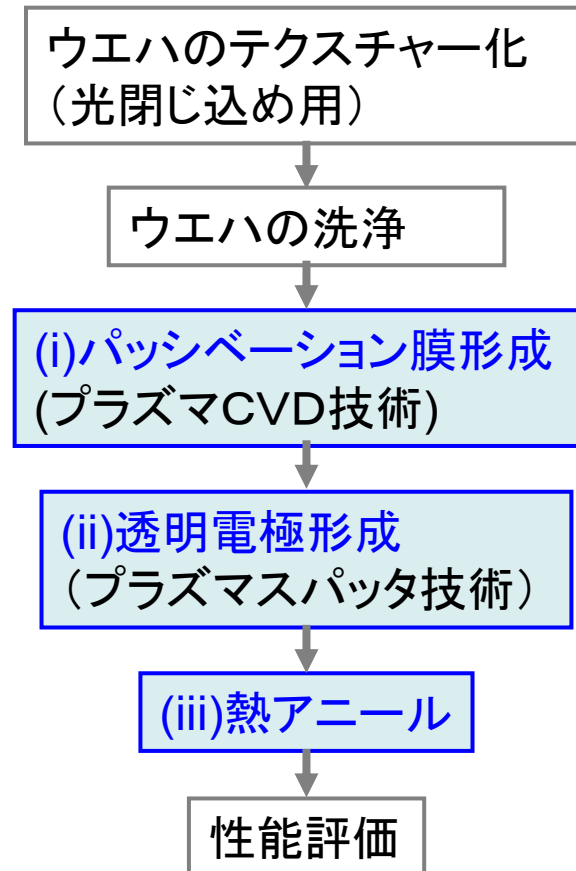


25.6%, パナソニック(株)
26.7%, (株)カネカ

SHJ太陽電池の構造



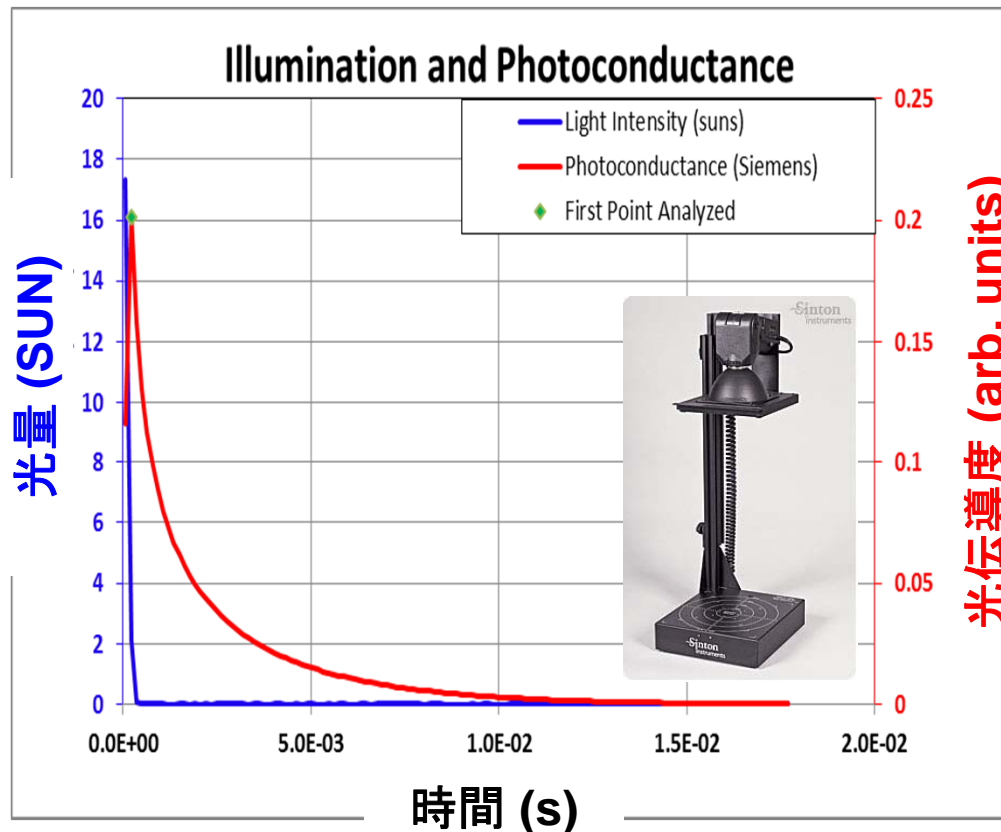
作製プロセス



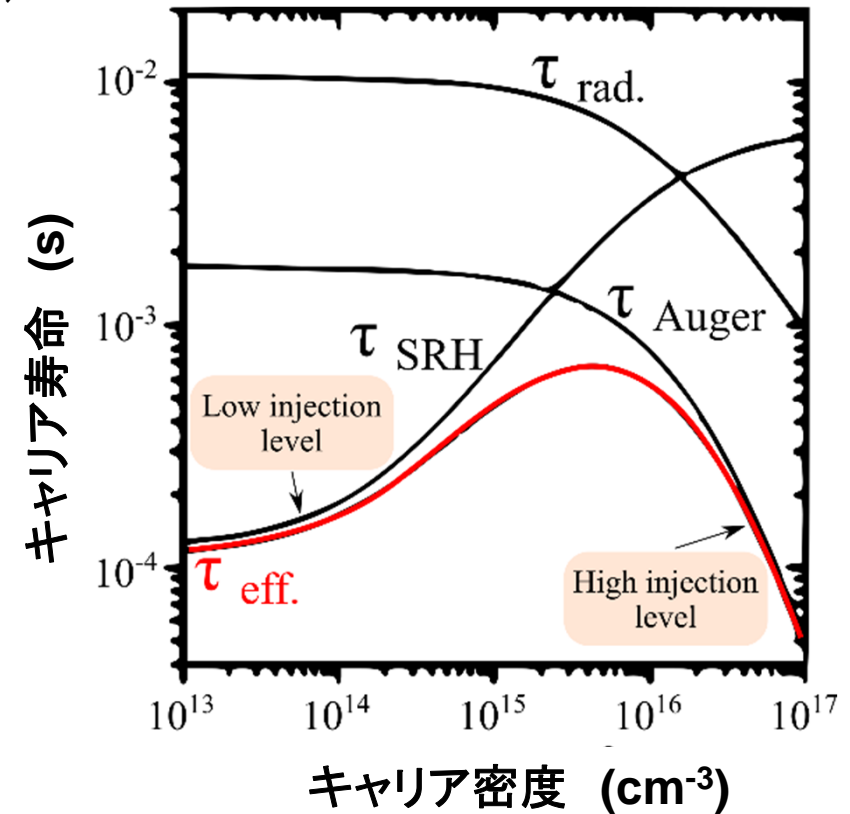
構造及びプロセスはシンプル
低温プロセス(約220 °C以下)

界面欠陥の評価 ~ウエハ側から~ (QSSPC法による少数キャリア寿命の測定)

QSSPC (Quasi Steady-State Photoconductance)



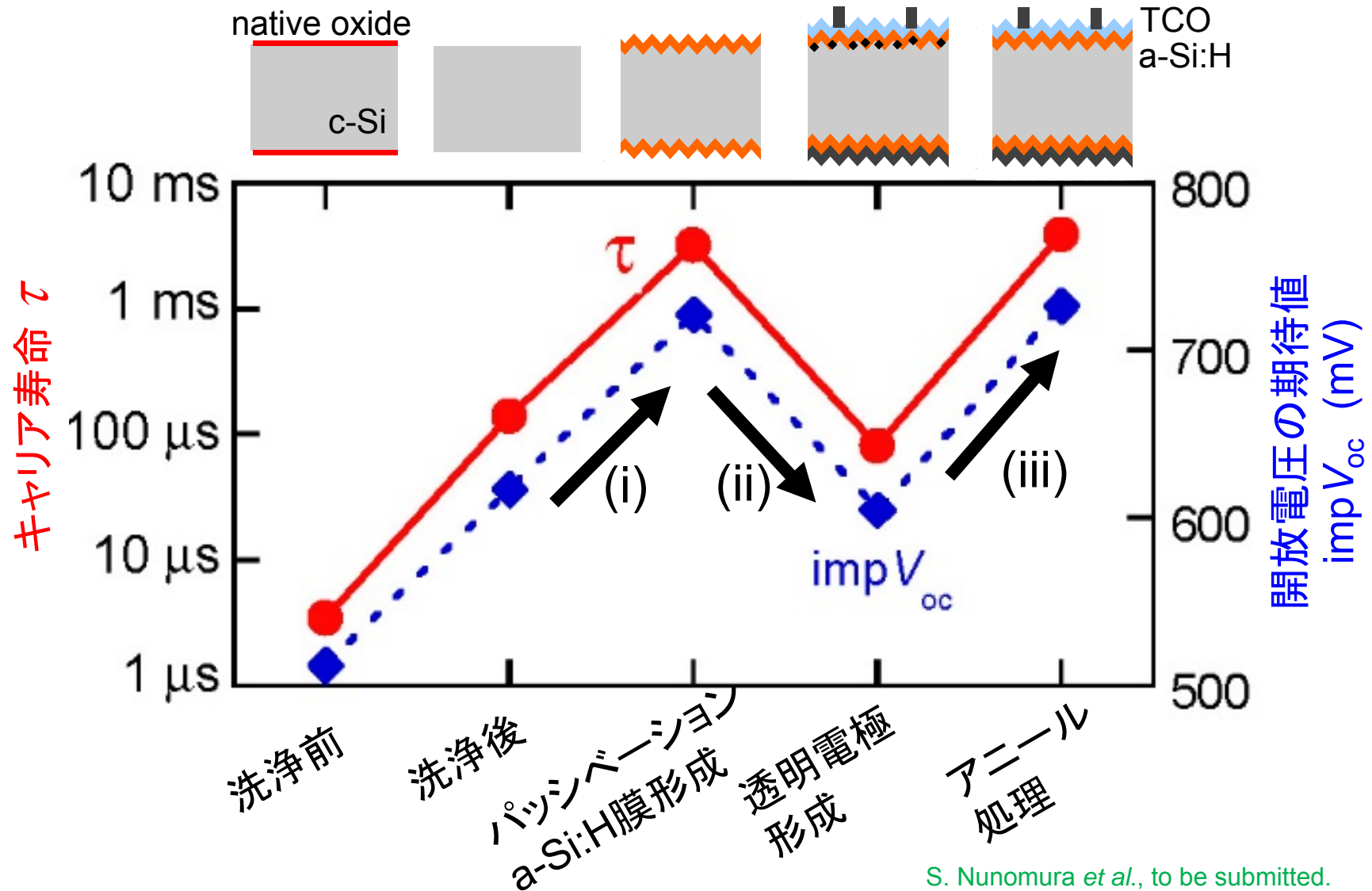
<http://www.sintoninstruments.com/>



パッシベーションの目安
 ・少数キャリア寿命: $\tau > 1$ ms
 ($D_{it} < 10^9$ cm^{-2} , $S < 0.1$ cm/s)

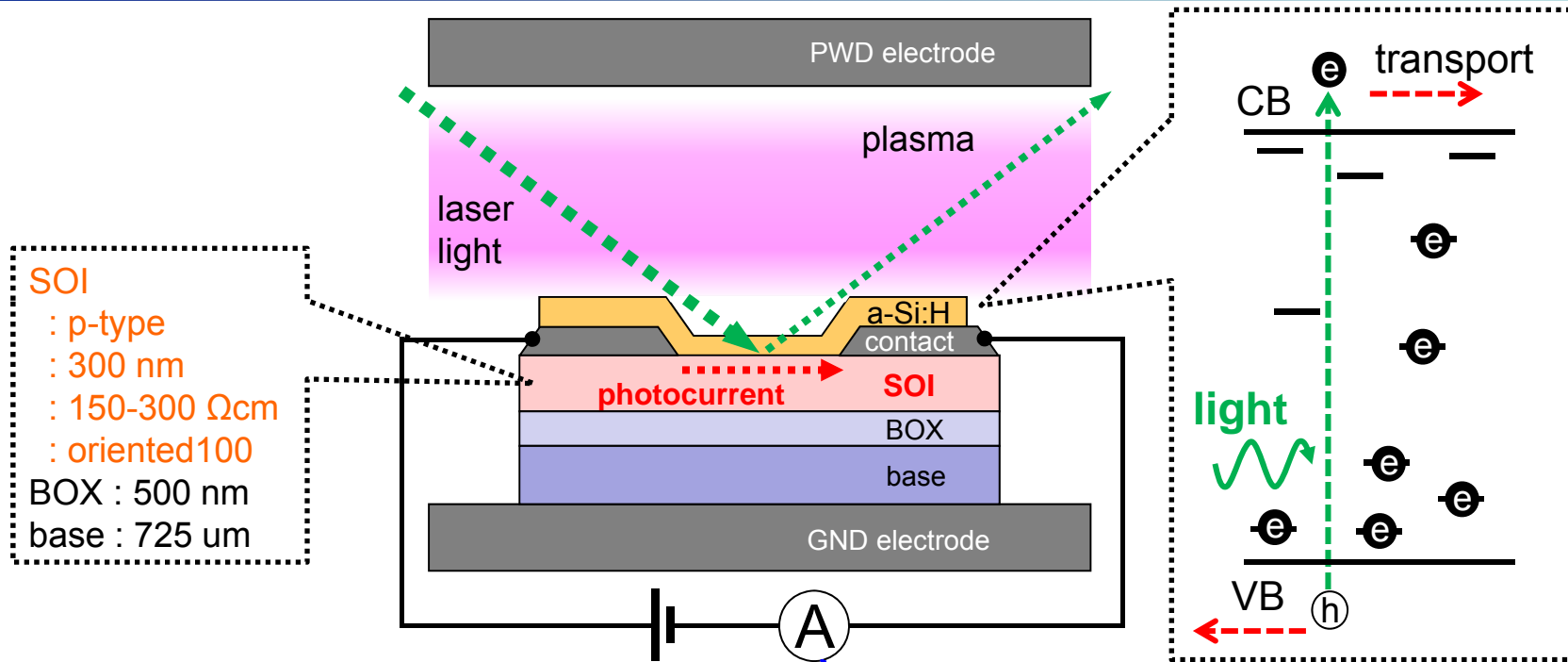
結果: 各プロセス後の界面欠陥の増減

c-Siの少数キャリア寿命



S. Nunomura et al., to be submitted.

界面欠陥の評価 ~プロセス時のa-Si:H/c-Siヘテロ構造にて~ (光電流の実時間その場測定)



SOI
 : p-type
 : 300 nm
 : 150-300 Ωcm
 : oriented 100
 BOX : 500 nm
 base : 725 μm

$$I_{ph} = e n_{ph} v_d \propto \mu \tau_r$$

$$n_{ph} = g \tau_r \quad v_d = \mu E$$

defects
 $\tau_r \propto 1/n_{defect}$

A decrease in $I_p \Rightarrow$ generation of defects
 An increase in $I_p \Rightarrow$ annihilation of defects

S. Nunomura *et al.*, Phys. Rev. Appl. **10**, 054006 (2018).

比較実験：基板とプラズマ 欠陥の位置とダイナミクス

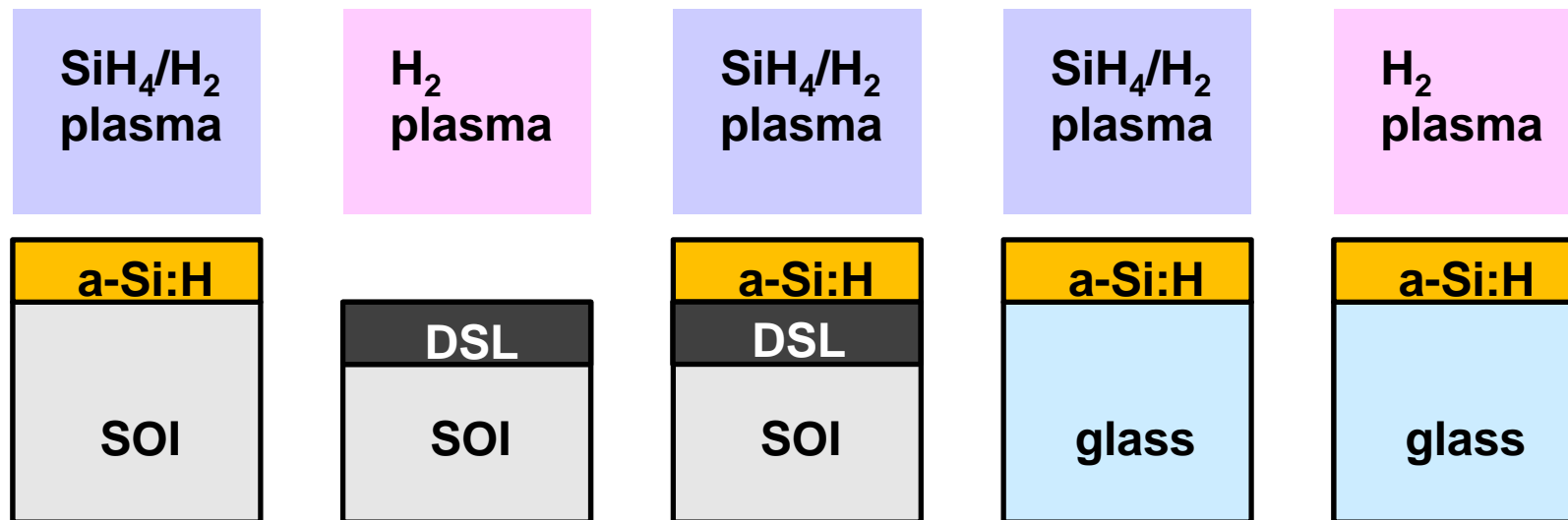
(a) SOI基板上のa-Si:H成長

(b) SOI基板へのH₂プラズマ照射

(c) 表面欠陥層上のa-Si:H製膜

(d) ガラス基板上的a-Si:H成長

(e) a-Si:H膜への
H₂プラズマ照射

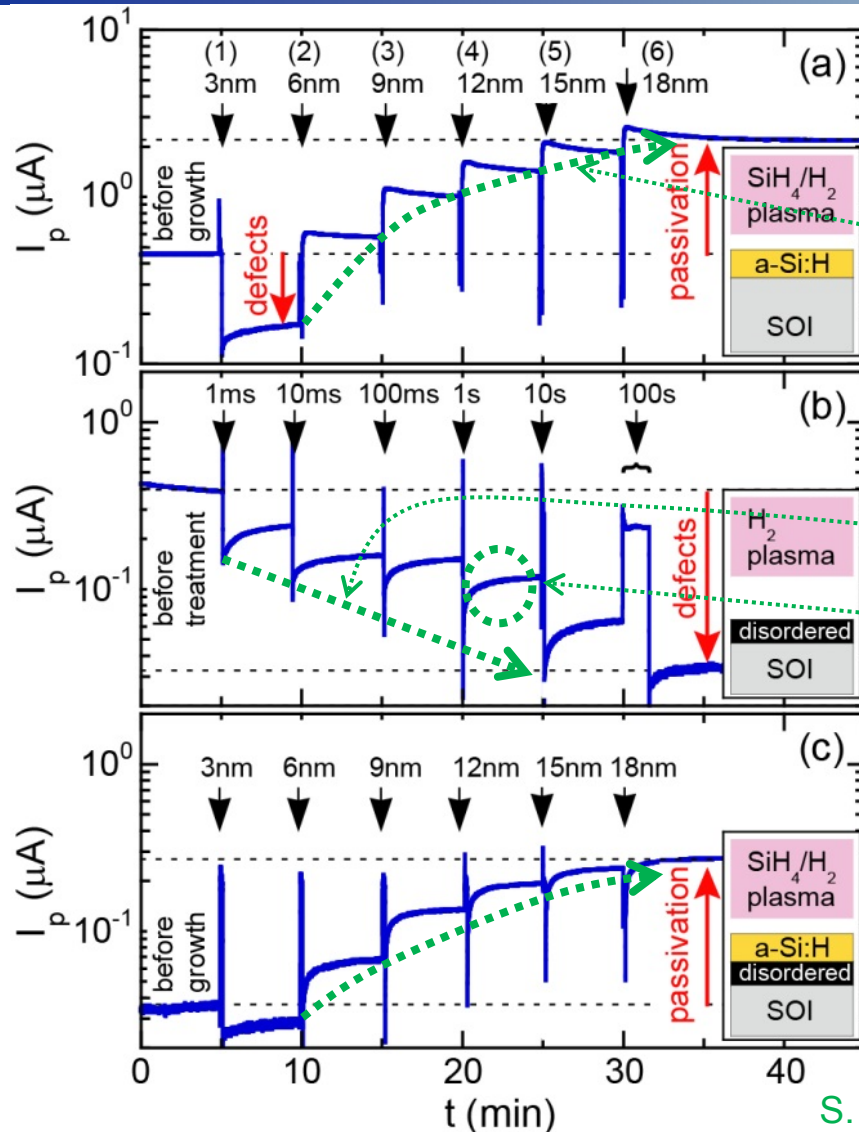


SOI: Silicon on insulator

DSL: Disordered surface layer

S. Nunomura *et al.*, *Appl. Phys. Express* **12**, 051006 (2019).

光電流の測定結果 (ヘテロ構造形成時 & H₂プラズマ照射時)



(a) SOI基板上的a-Si:H成長

- Growth is separated into 6 stages. (3 nm for each growth)
- I_p is increased with d , except for ultrathin layer. => **surface passivation by growth of a-Si:H**

(b) SOI基板へのH₂プラズマ照射

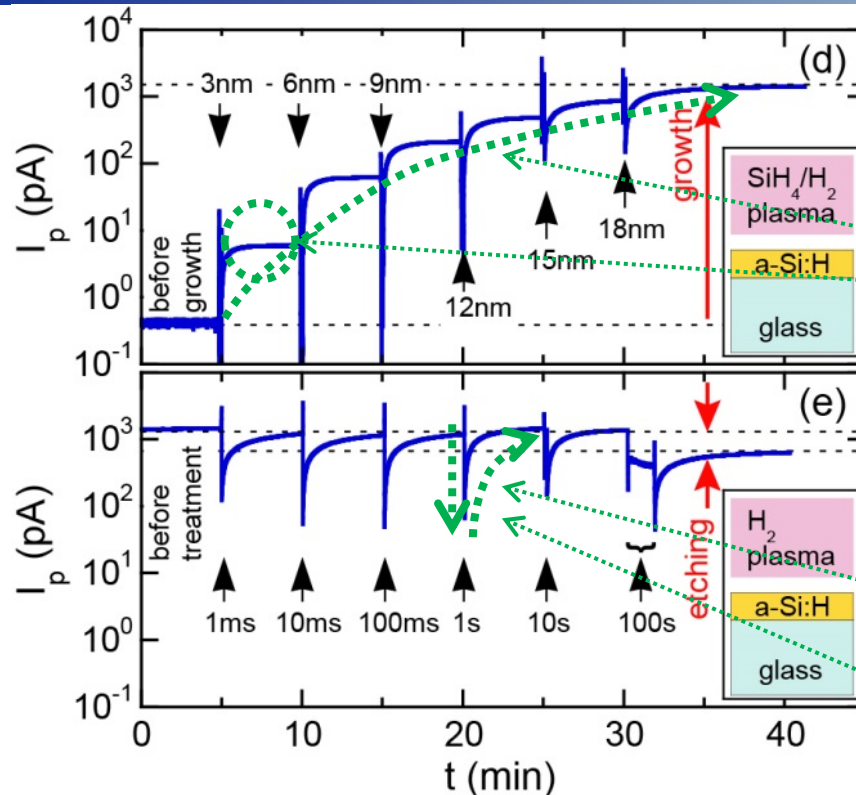
- Treatment time is varied from 1 ms to 100 s.
- I_p is decreased by H₂ plasma treatments. => **generation of defects in SOI**
- I_p is partially recovered by postannealing. => **annihilation of some defects in SOI**

(c) 表面欠陥層上のa-Si:H製膜

- I_p is increased by growth of a-Si:H, i.e. d . => **passivation effect even for disordered surf.**
- => **but, passivation quality is low.**

S. Nunomura *et al.*, Appl. Phys. Express **12**, 051006 (2019).

光電流の測定結果



(d) ガラス基板上的a-Si:H 成長

- Growth is separated into 6 stages. (3 nm for each growth)
- I_p is increased with d .
- Increment in I_p is large for ultrathin-layer.
=> defect density is reduced for thicker layer.
=> defect density is higher for ultra-thin layer.

(e) a-Si:H膜へのH₂ プラズマ照射

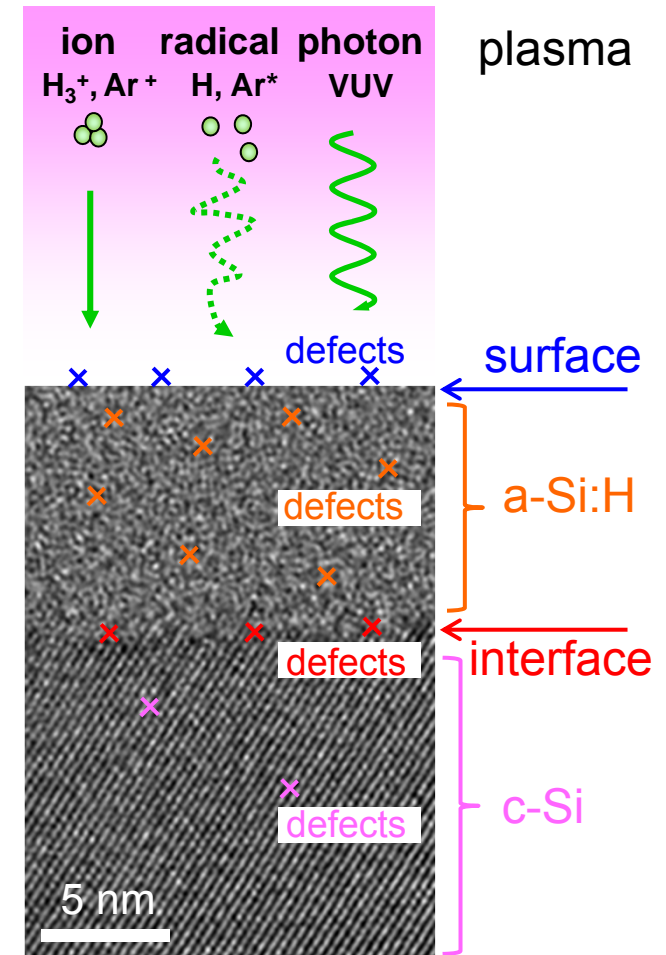
- Treatment time is varied from 1 ms to 100 s.
- I_p is decreased by H₂ plasma treatments.
=> generation of defects in a-Si:H
- However, I_p is completely recovered by postannealing.
=> annihilation of defects in a-Si:H

S. Nunomura *et al.*, Appl. Phys. Express **12**, 051006 (2019).

ヘテロ接合の欠陥 ($\text{SiH}_4/\text{H}_2 \Rightarrow \text{a-Si:H}/\text{c-Si}$)

1. 極薄a-Si:H形成時
⇒H原子侵入によりc-Si内に欠陥が発生
2. 厚膜a-Si:H形成時
⇒主としてa-Si:H内に欠陥が発生
3. アニール時
⇒a-Si:H内の欠陥は修復
⇒c-Si内の欠陥は一部のみ修復(残留欠陥)

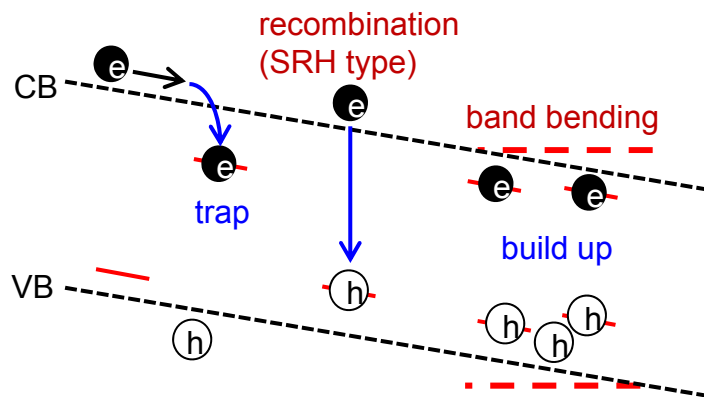
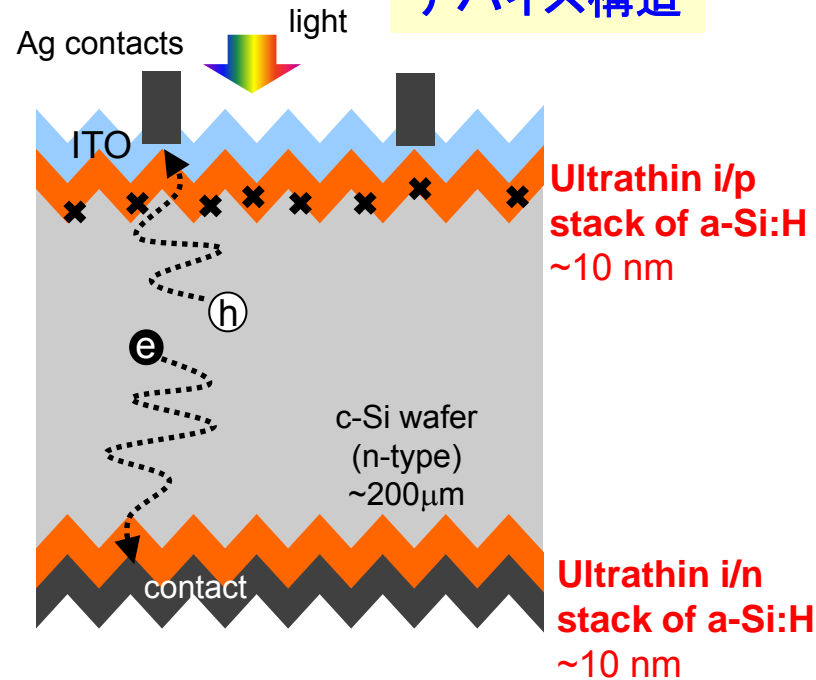
以上の知見より、成膜初期にH原子供給を抑制することで残留欠陥を低減することが可能。



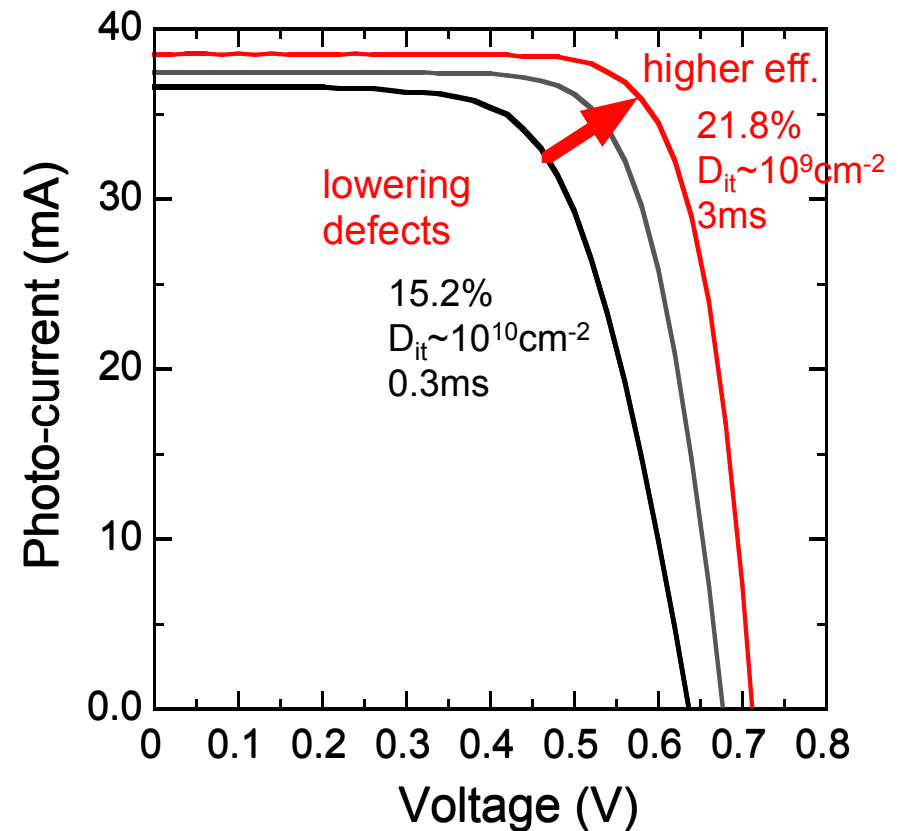
S. Nunomura *et al.*, Appl. Phys. Express **12**, 051006 (2019).

欠陥低減によるデバイス高性能化

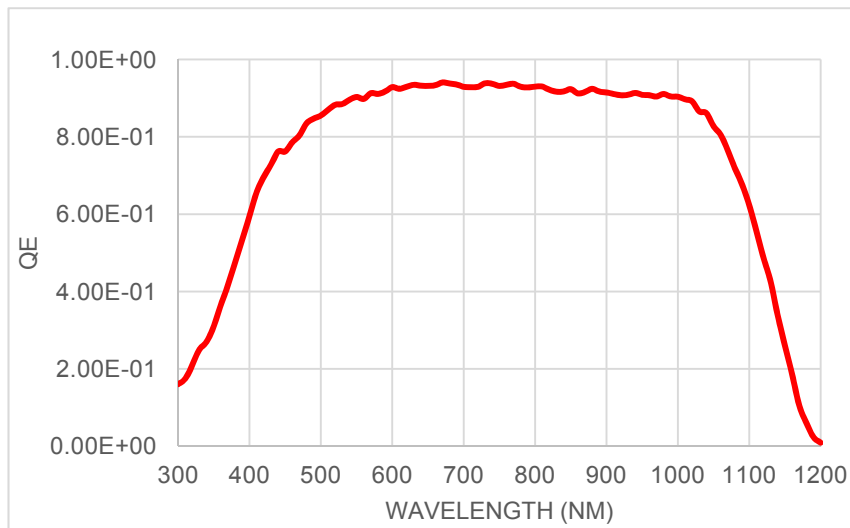
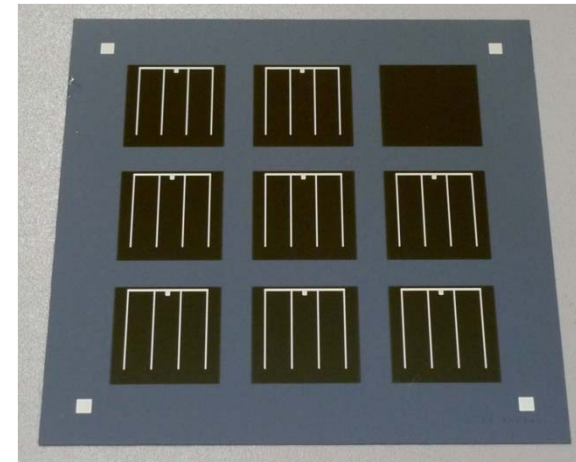
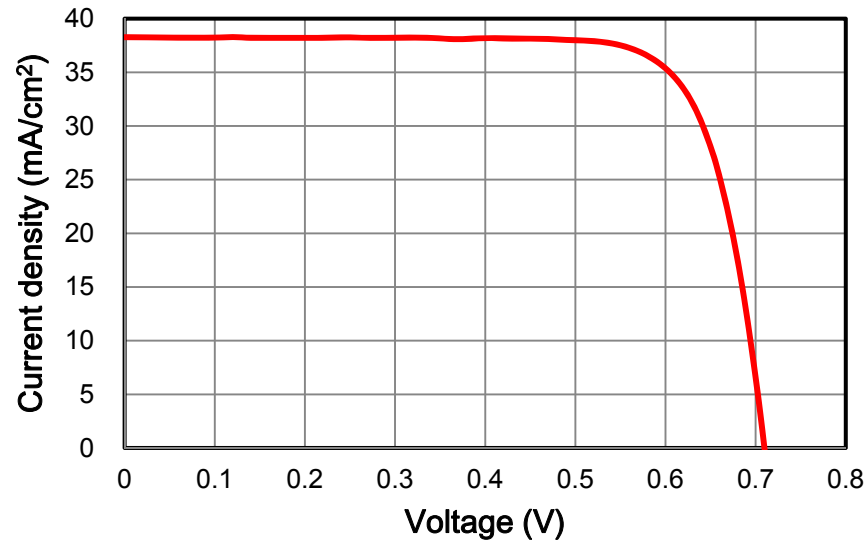
デバイス構造



電流-電圧特性



SHJ太陽電池の作製例 (効率~21.8%)



U190624-7

Area	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	F.F.	η (%)
1.045 cm ²				
cell-1	37.461	0.714	0.801	21.431
cell-2	37.625	0.714	0.803	21.573
cell-3	38.217	0.714	0.795	21.695
cell-4	38.397	0.714	0.797	21.856
cell-5	38.423	0.713	0.792	21.705
cell-6	38.204	0.713	0.797	21.723
cell-7	38.126	0.713	0.800	21.738
cell-8	38.420	0.712	0.794	21.714
Ave.	38.109	0.713	0.798	21.679

まとめ

- SHJ太陽電池の界面欠陥をその場でモニタリングする技術を開発。
- 界面欠陥の発生、修復のメカニズムを調査・考察。
- 界面欠陥の低減に向けたプロセス開発の指針を提案。
- 今後は、本技術を様々な太陽電池や半導体デバイスに適用し、各種デバイスの性能向上に貢献。

謝辞

関係者

先進プロセスチームの皆様
齋均、松井卓矢(セル作製と評価)

予算:

科研費 (課題番号: 15K04717, 18K03603)
NEDO 「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発」

受賞等

2018年10月 堀場雅夫賞 <http://www.mh-award.org/year/2018/3/>
2019年3月 応用物理学会 プラズマエレクトロニクス賞
(Phys. Rev. Appl.)

ご清聴ありがとうございました。

Welcome to Collaboration

s.nunomura@aist.go.jp