

# n型フロントエミッター型結晶Si太陽電池モジュールの長時間PIDにおけるNaの挙動

大平 圭介<sup>1</sup>、小松 豊<sup>1</sup>、鈴木 友康<sup>1</sup>、山口 世力<sup>1</sup>、増田 淳<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科  
<sup>2</sup>産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター

## 研究の目的

### 大規模太陽光発電所

多数のセル、モジュールが直列に接続  
 フレーム：接地 (0 V)  
 セル：数百ボルトの電位



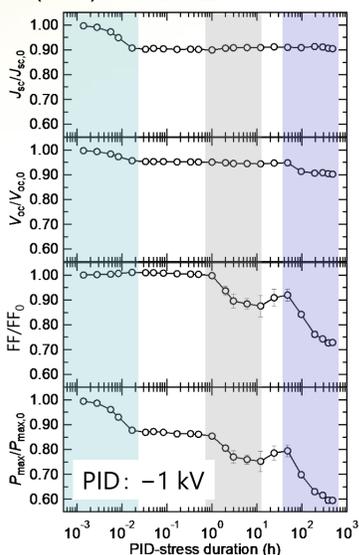
### 電圧誘起劣化 (PID)

PVモジュールのフレーム-セル間の電位差による発電性能の低下

### n型結晶Si太陽電池

- 高効率 → 普及拡大が期待
- 汎用p型モジュールと比べPIDの理解が不十分

### n型フロントエミッター型 (n-FE) c-SiモジュールのPID<sup>[1]</sup>



### 第1劣化

~5 s後から $J_{sc}$ と $V_{oc}$ 低下  
 1-2 min程度で飽和  
 $SiN_x$ への正電荷蓄積

### 第2劣化

~1 h後からFFが低下  
 12 h程度で飽和  
 $n$ 値増大→空乏層内に再結合中心が形成

### 第3劣化

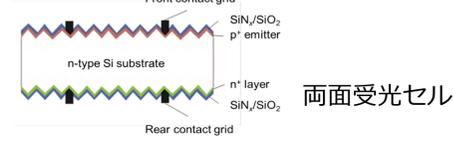
~48 h後から $V_{oc}$ とFF低下  
 384 h (16日) 程度で飽和

### 本研究の目的

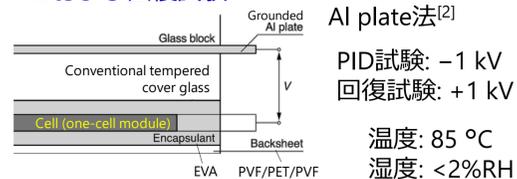
- 長時間PID/回復試験によるNaの挙動
- 第3劣化の機構解明

## 実験

### n-FEセル



### PIDおよび回復試験

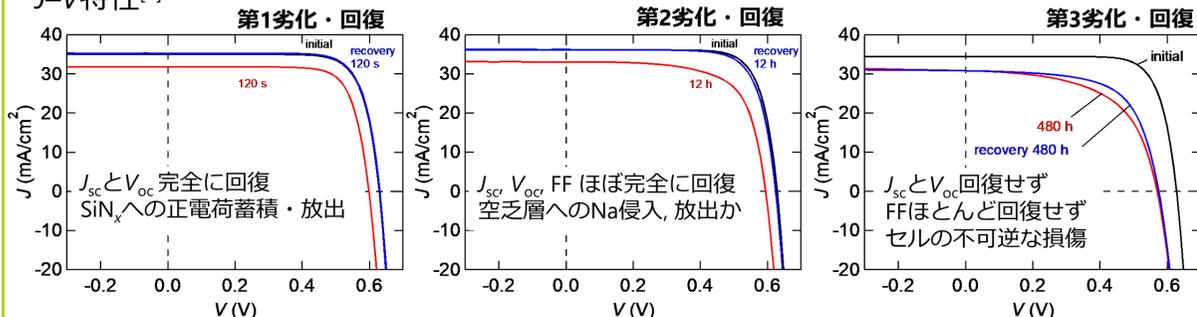


試験時間	PID試験	回復試験
第1劣化	120 s	120 s
第2劣化	12 h	12 h
第3劣化	480 h	480 h

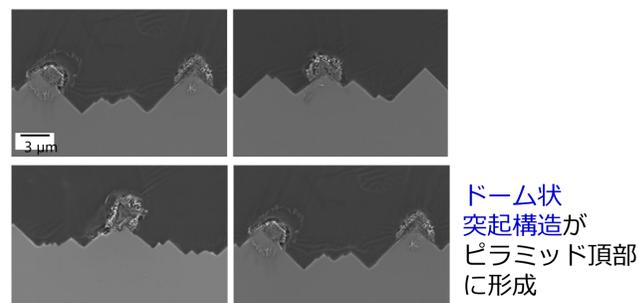
評価手法 J-V, SIMS, 断面SEM-EDX

## 結果・考察

### J-V特性<sup>[1]</sup>

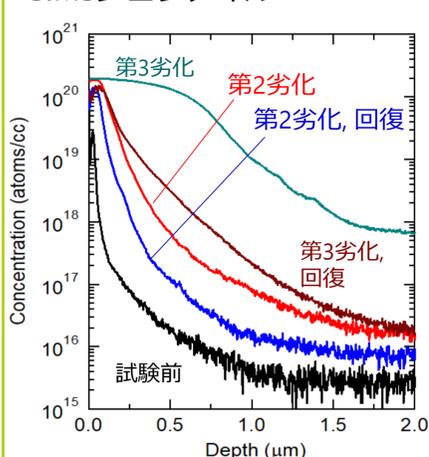


### 断面SEM像 (PID試験 480 h後、第3劣化) <sup>[3]</sup>



ドーム状突起構造がピラミッド頂部に形成

### SIMSプロファイル<sup>[3]</sup>



- PID試験により多量のNaが導入
- 回復試験によりNaが外方拡散

### Si中のNaの拡散係数 (D)<sup>[4]</sup>

$$D = D_0 \exp(-E_a/kT)$$

$$D_0 = 1.4 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$E_a = 1.28 \text{ eV}$$

$$T = 100 \text{ }^\circ\text{C} (373 \text{ K})$$

$$\rightarrow D = 7.36 \times 10^{-20} \text{ cm}^2/\text{s}$$

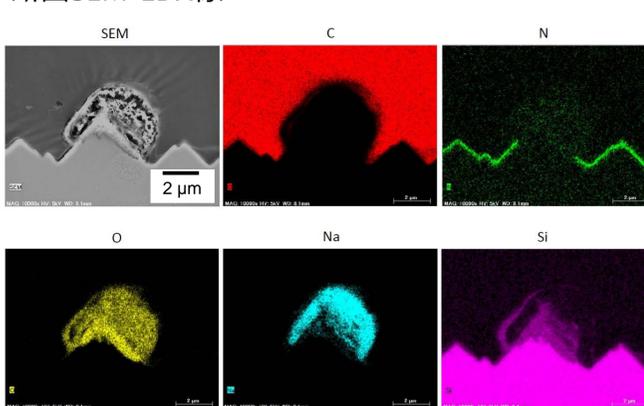
拡散長  
 1年: 15 nm  
 20年: 68 nm

### 固溶度<sup>[5]</sup>

c-SiをNa溶液に1週間曝露(800 °C)  
 $\rightarrow$  Si中Na濃度  $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$

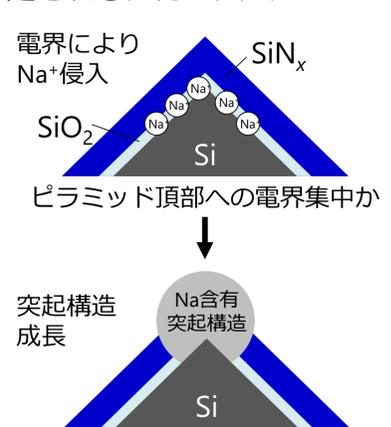
結晶Si内部へのNaの大量侵入は考えづらい

### 断面SEM-EDX像 <sup>[3]</sup>



- 突起構造はNaを多く含む
- ※Oは断面形成後の大気曝露時に侵入の可能性大
- 突起構造形成部では $SiN_x$ 膜が消失、pn接合へも侵入か

### 想定されるメカニズム



$SiN_x$ , pn接合の損傷  $\rightarrow V_{oc}$ , FF低減  
 逆バイアス印加でも損傷箇所は修復しない

## 結論

### n-FE結晶Si太陽電池モジュールの長時間PID/回復試験によるNaの挙動

- J-Vの劣化/回復挙動に対応するNaの増減をSIMSプロファイルにて確認
- テクスチャ頂部にNa含有ドーム状突起構造形成、突起構造形成箇所では $SiN_x$ が消失  $\rightarrow$  第三劣化のメカニズム

## 参考文献

- [1] Y. Komatsu, S. Yamaguchi, A. Masuda, K. Ohdaira, Microelectron. Reliab. 84, 127 (2018).
- [2] K. Hara, H. Ichinose, T. N. Murakami, A. Masuda, RSC Adv. 4, 44291 (2014).
- [3] K. Ohdaira, Y. Komatsu, T. Suzuki, S. Yamaguchi, A. Masuda, Appl. Phys. Express 12, 064004 (2019).
- [4] A. V. Zastavnoi, V. M. Korol', Tech. Phys. Lett. 42, 415 (2016).
- [5] J. O. McCaldin, M. J. Little, A. E. Widmer, J. Phys. Chem. Solids 26, 1119 (1965).

### 謝辞

本研究は、NEDOの委託を受け実施された。  
 大野裕先生(東北大)には、Si中のNaの形態についてご議論いただいた。