

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¹、小松 豊¹、鈴木 友康¹、山口 世力¹、増田 淳²
¹北陸先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科
²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



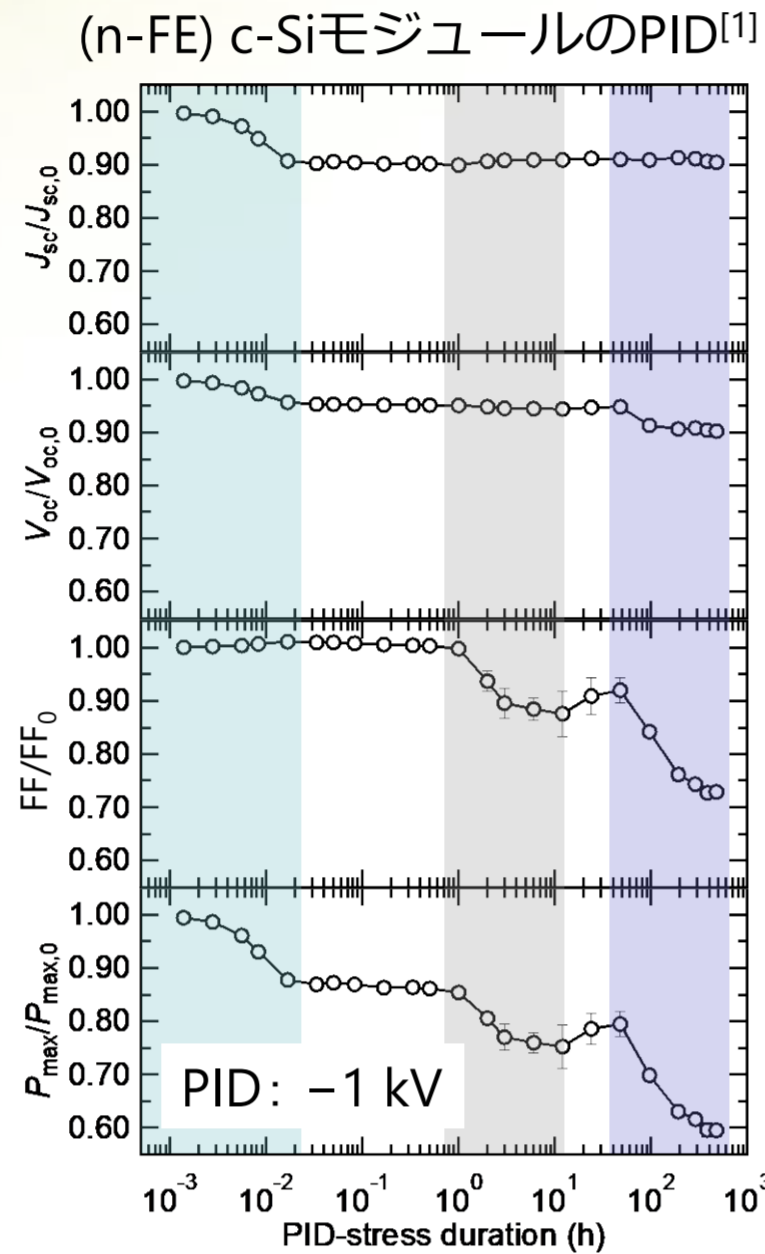
電圧誘起劣化 (PID)

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^[1]



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

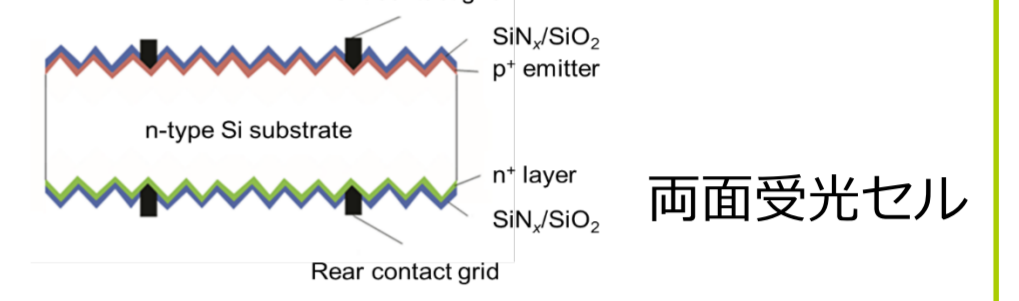
~48 h後から V_{oc} とFF低下
 384 h (16日) 程度で飽和

本研究の目的

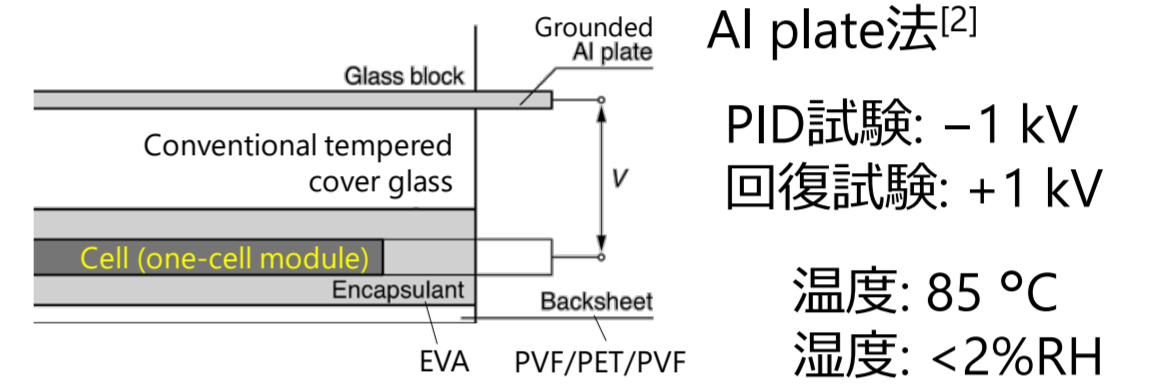
- 長時間PID/回復試験によるNaの挙動
- 第3劣化の機構解明

実験

n-FEセル



PIDおよび回復試験

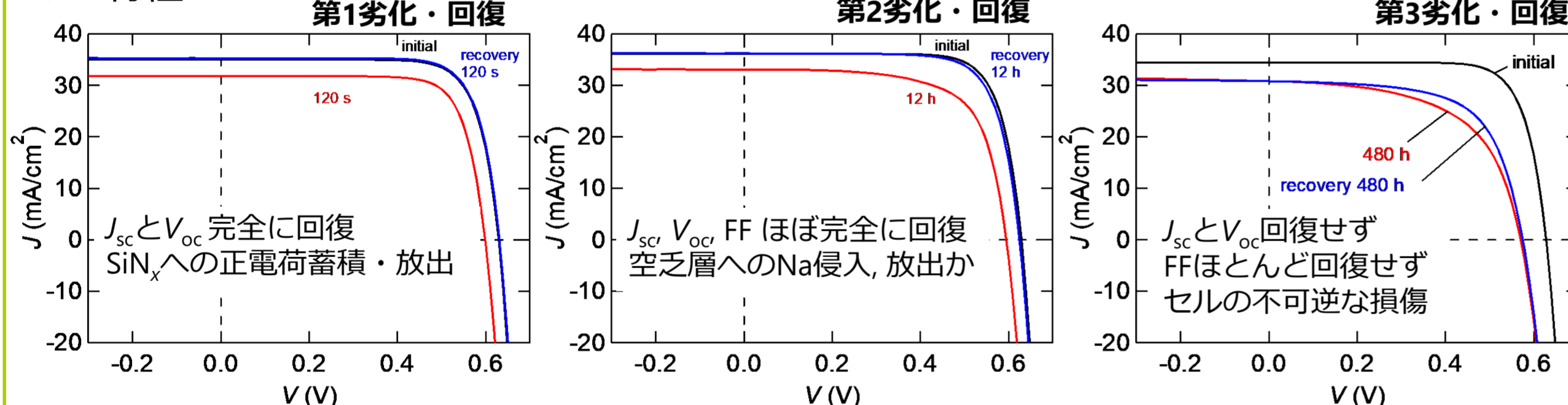


試験時間	PID試験	回復試験
第1劣化	120 s	120 s
第2劣化	12 h	12 h
第3劣化	480 h	480 h

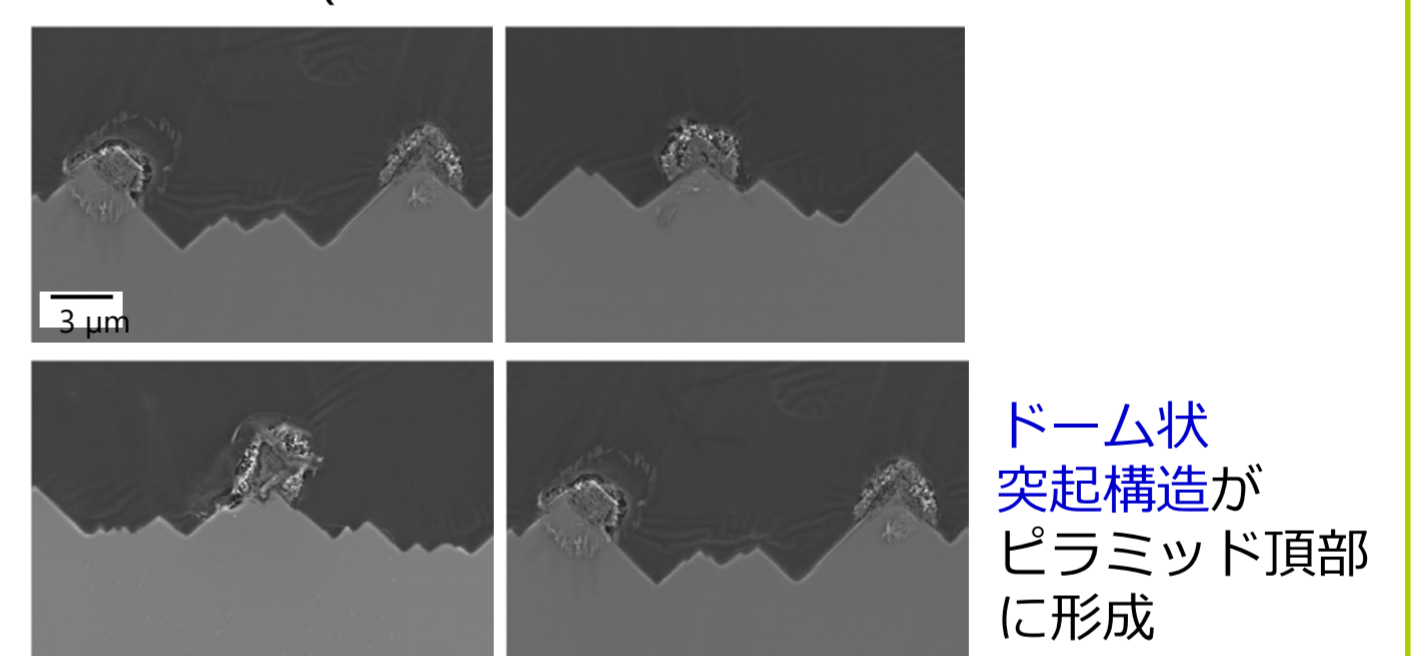
評価手法 J-V, SIMS, 断面SEM-EDX

結果・考察

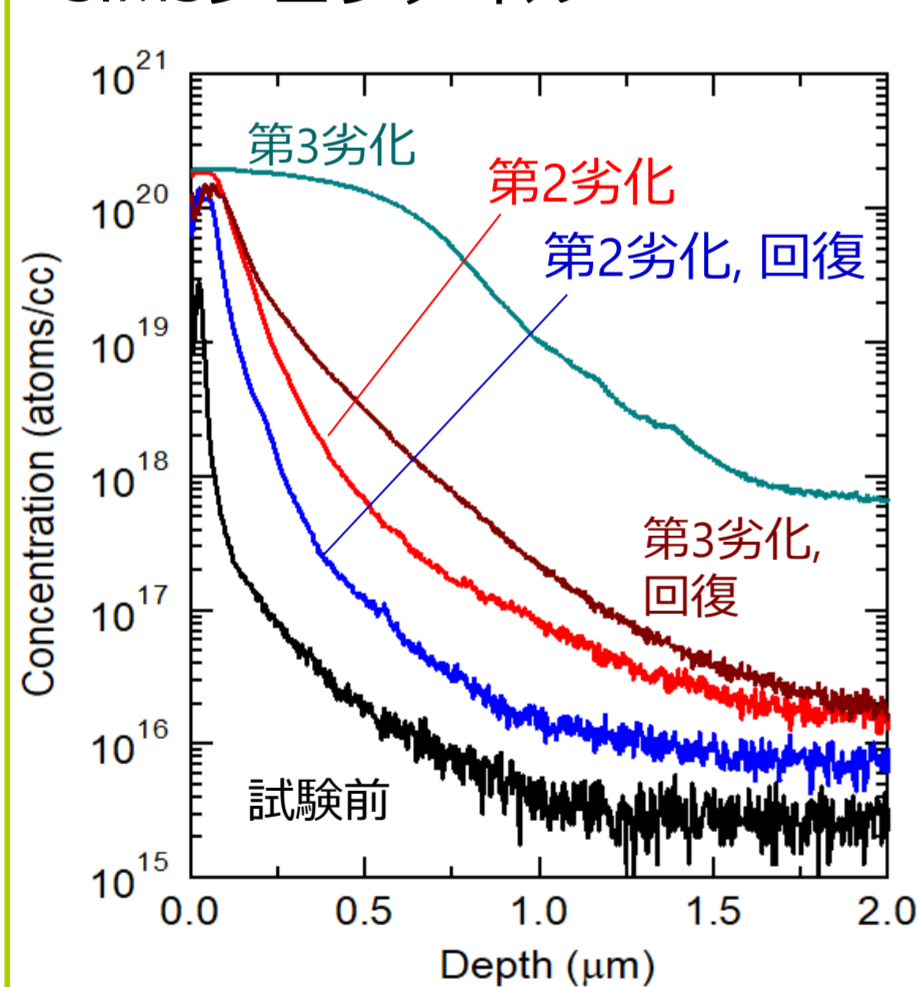
J-V特性^[1]



断面SEM像 (PID試験 480 h後、第3劣化) ^[3]



SIMSプロファイル^[3]



- 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)^[4]

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

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

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

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

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

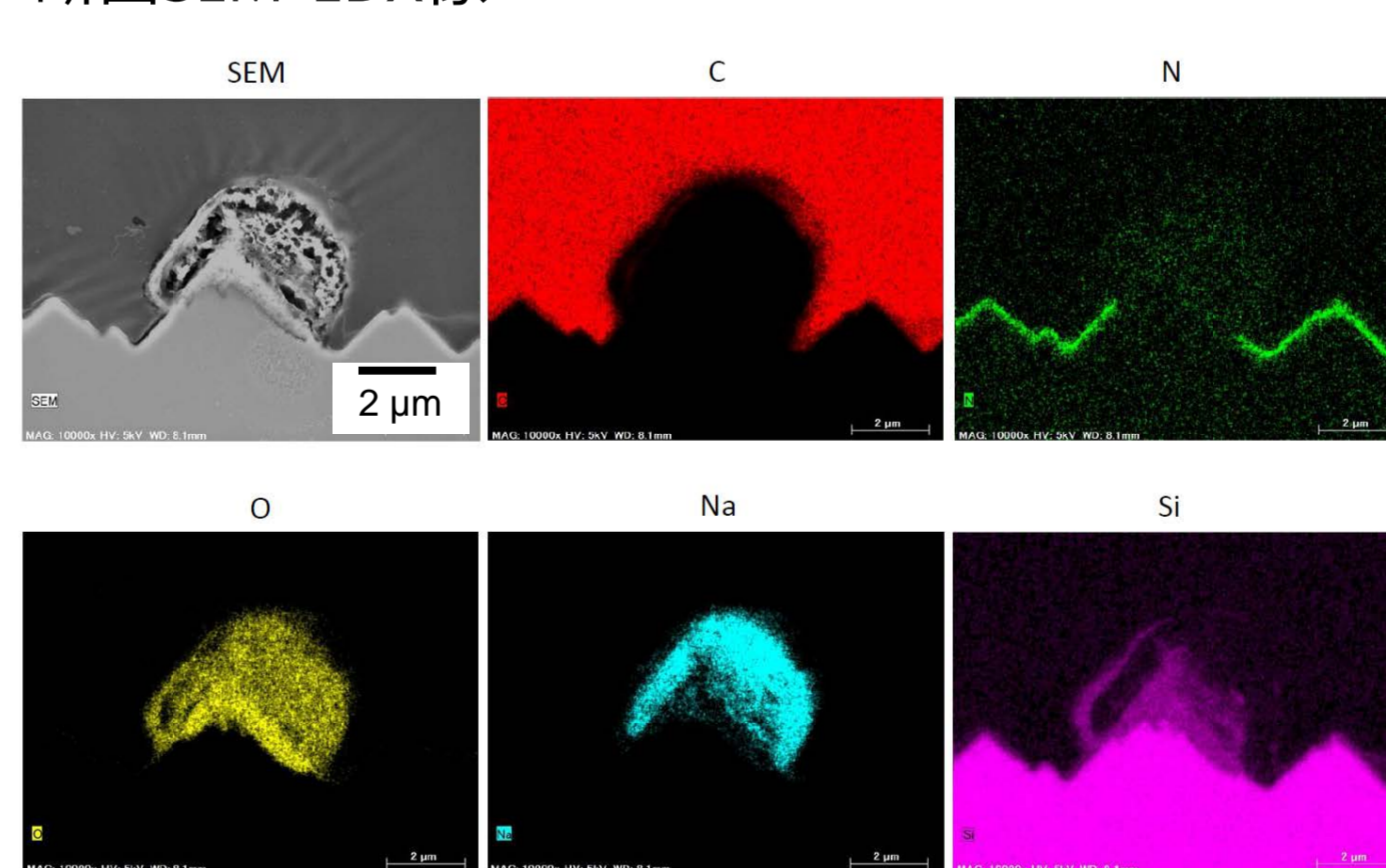
拡散長
 1年: 15 nm
 20年: 68 nm

固溶度^[5]

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

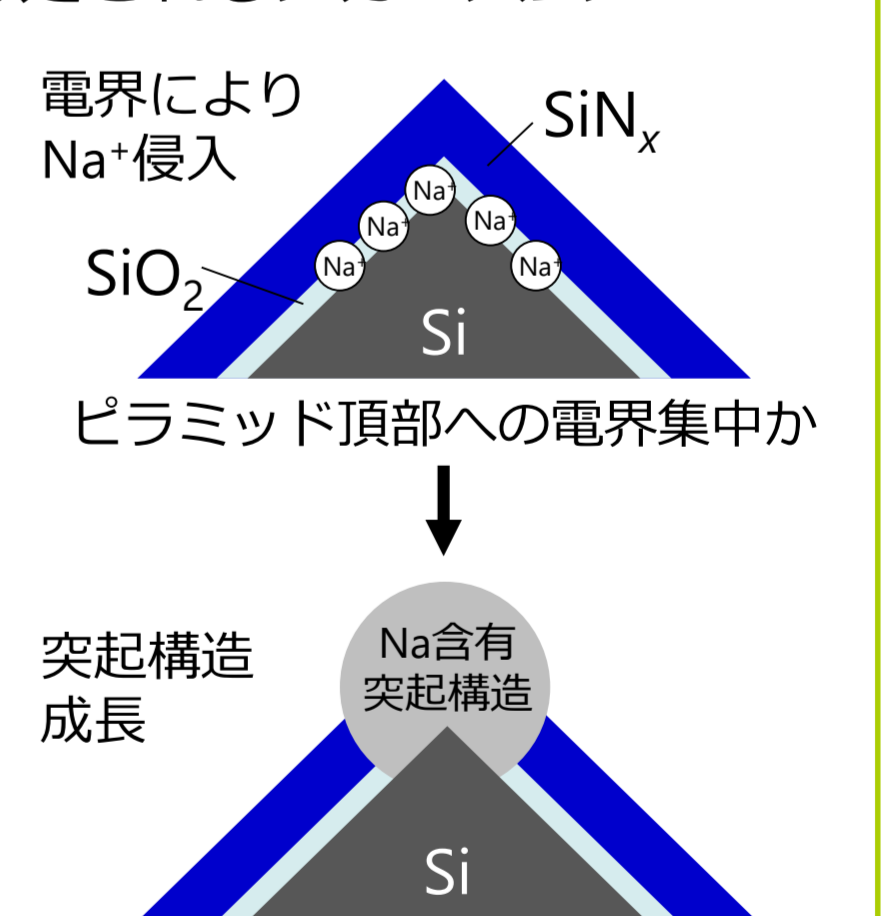
結晶Si内部へのNaの大量侵入は考えづらい

断面SEM-EDX像 ^[3]



- 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。