

AIST 太陽光発電研究 成果報告会 2014

平成26年6月25日

各種太陽電池モジュールにおけるPID： 現象の解明と対策技術

太陽電池モジュール信頼性評価連携研究体
原 浩二郎

PID (Potential-Induced Degradation)

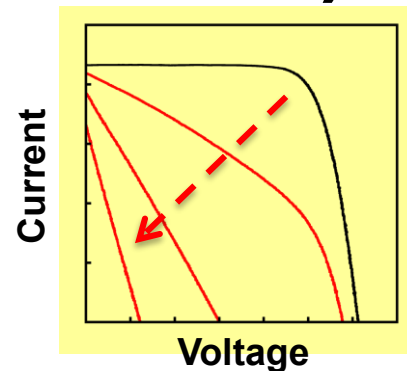


メガソーラー

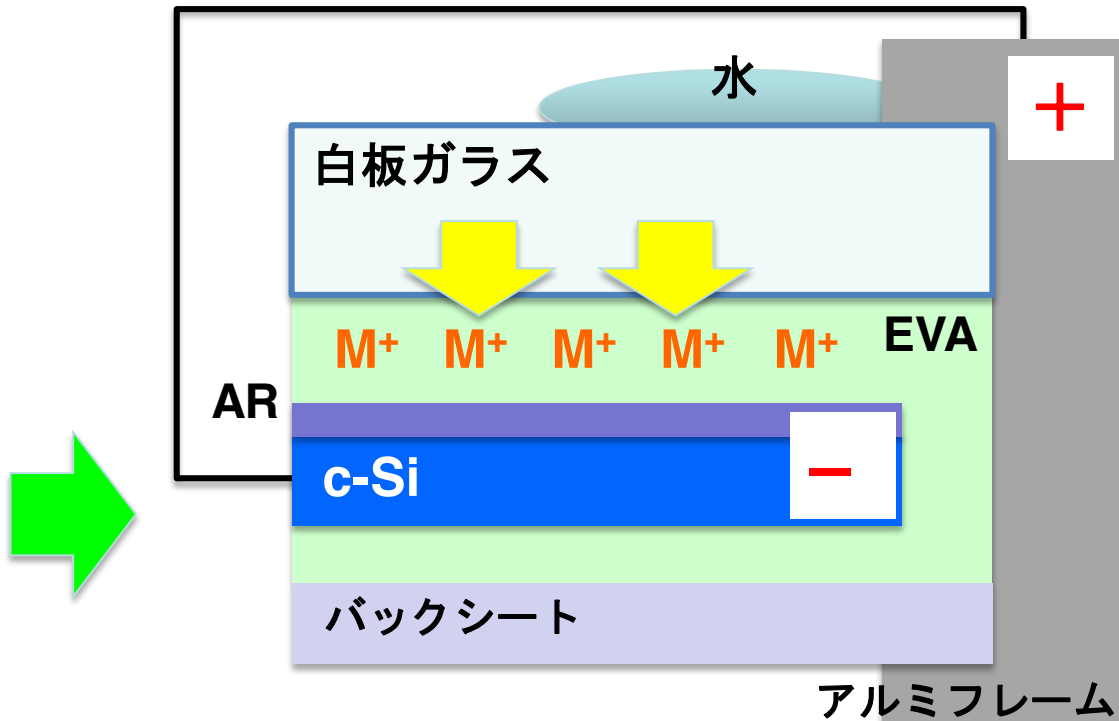
主な関連要因

- ・メガソーラー(高電圧)
- ・トランスレスインバーター
- ・水(湿度)
- ・高温
- ・反射防止(AR)膜
- ・EVA(封止材)
- ・ソーダライムガラス

太陽電池モジュールの出力が短期間で大幅低下



劣化メカニズムの例



現象の解明と早急の対策が急務

研究の目的・流れ

PID現象の早期解明と対策モジュールの開発・提案



いかに短時間でPIDを再現、理解するか

かなり過酷なAIST法（アルミ法）



独自の試験法で我々のモジュールを評価

高PID耐性モジュール（低コスト）

（厳しい試験をどれだけやっても低下なし）

注意!!

1. 本研究と同様の時間スケールでの劣化が、屋外曝露モジュールで起こると言っているわけではない!
2. 本手法を標準試験法にしようとしているわけではない!
(→ 屋外モジュールとの比較も含む、議論が必要)

高PID耐性モジュール
(厳しい試験をどれだけやっても低下なし)



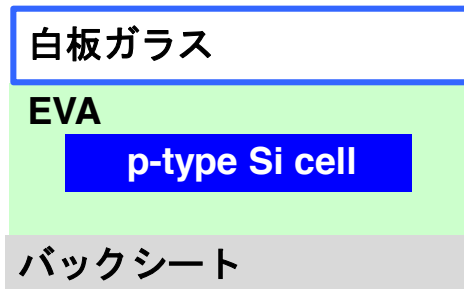
屋外でのPID劣化の可能性は極めて低い

PID試験方法 (AIST法)



多結晶Si (156mm角)
単セルモジュール

試作モジュールの構造



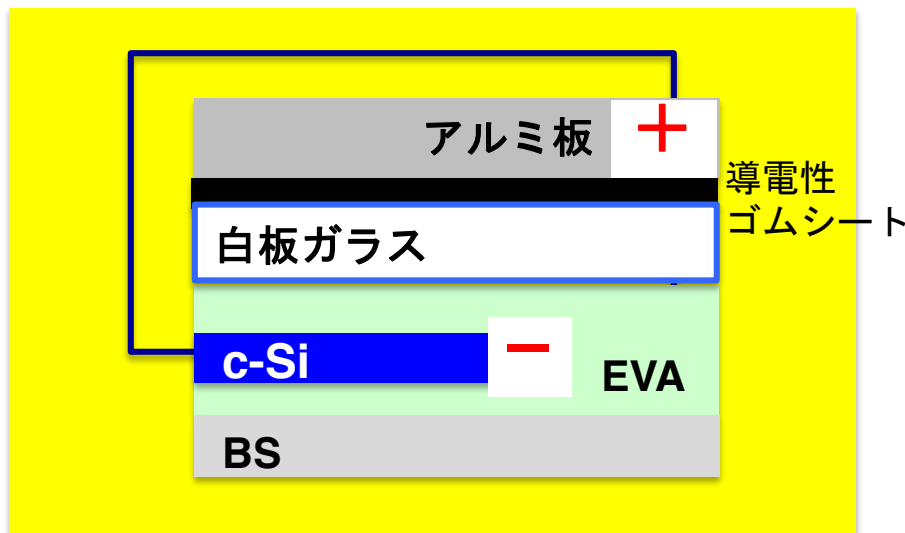
真空ラミネート



TOS7200 (菊水電子)



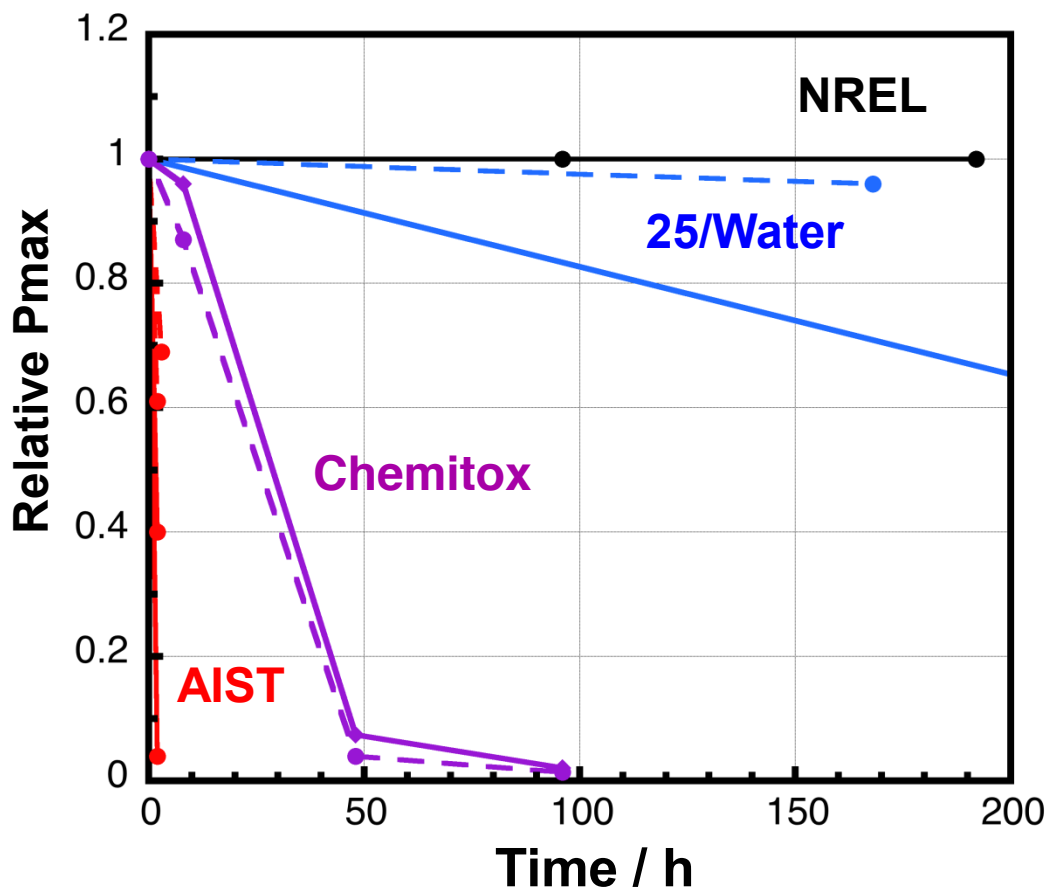
-1000 V, 85°C, 2-1000 h
(湿度の制御なし)



いかに簡便に短時間で
PIDを再現するか

PID試験方法による劣化の違い

Module: 標準部材構成 (1セルと4セル)



Name	Front	Temp. / °C	Hum. (%)
NREL	—	60	85
25/Water	Water	25	—
Chemitox	Water	60	85
AIST	Al plate	85	—

Applied voltage : -1000 V

AIST法 (アルミ法)

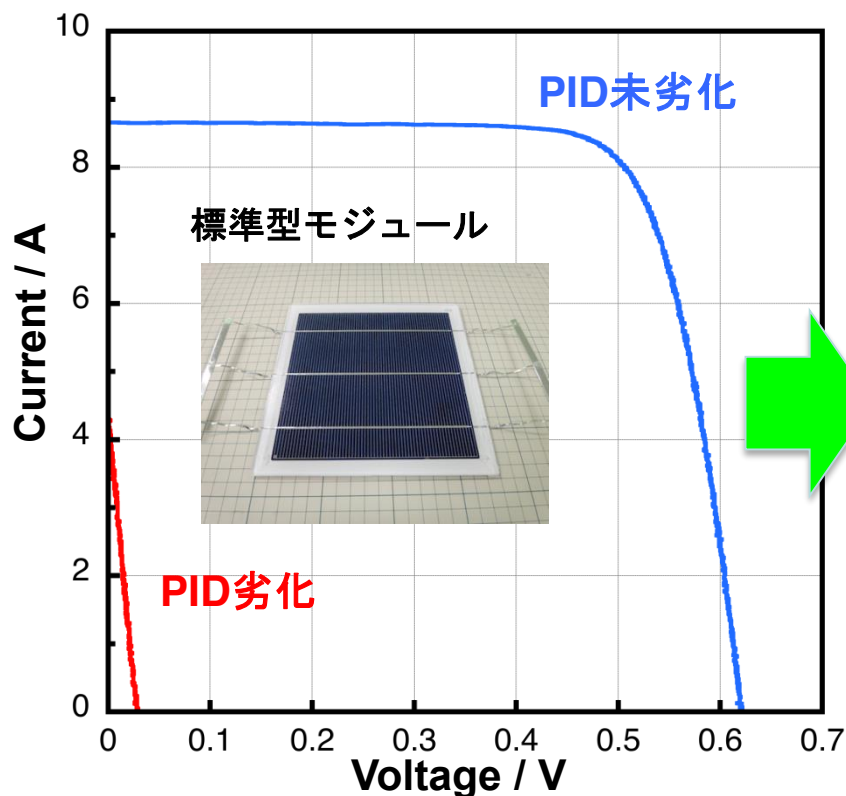


**Chemitox法の15倍、
NREL法の110倍加速**

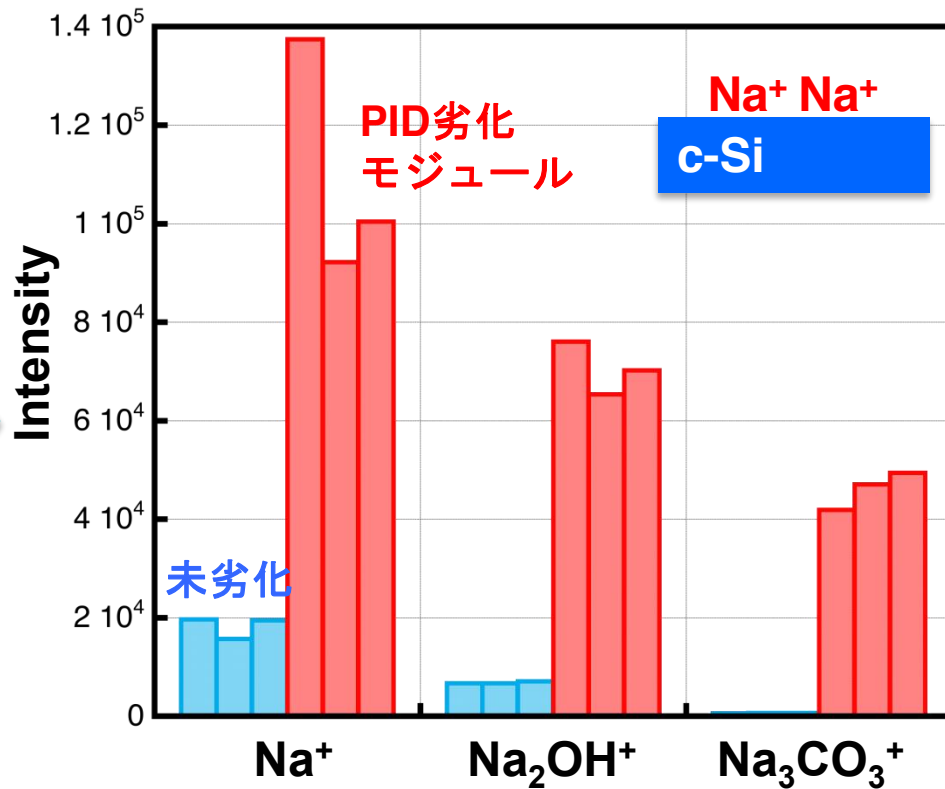
AIST法 : かなり過酷な試験法 (短時間でPIDを再現可能)

PID試験・Naイオンの分析

PID試験 : -1000 V, 85°C, 24 days



Siセル表面をTOF-SIMSにより分析

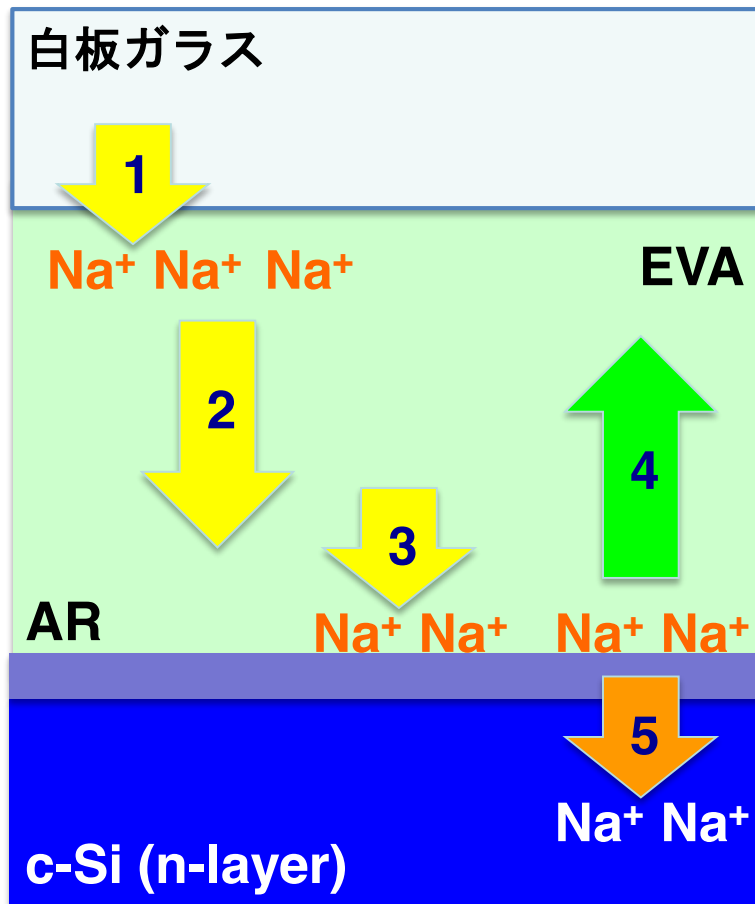


電子線マイクロアナライザ分析(EPMA)
→ Naはフィンガーやセルの表面に偏在

PID劣化モジュール
→ Naが大幅増加

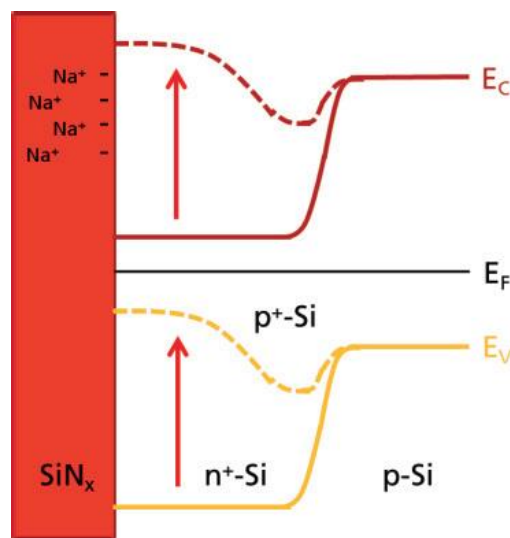


PID劣化メカニズムの考察 (p型セル)

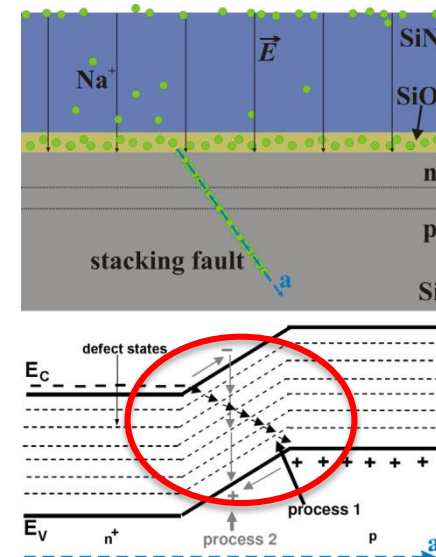


劣化は可逆 (一部は不可逆)

1. セル表面への影響



2. セル内部への影響



1. セル表面でn型層の電荷を相殺
→ バンドベンディングが減少、
オーミック的な特性になる
2. セル内部で不純物準位を形成
→ 再結合による効率低下

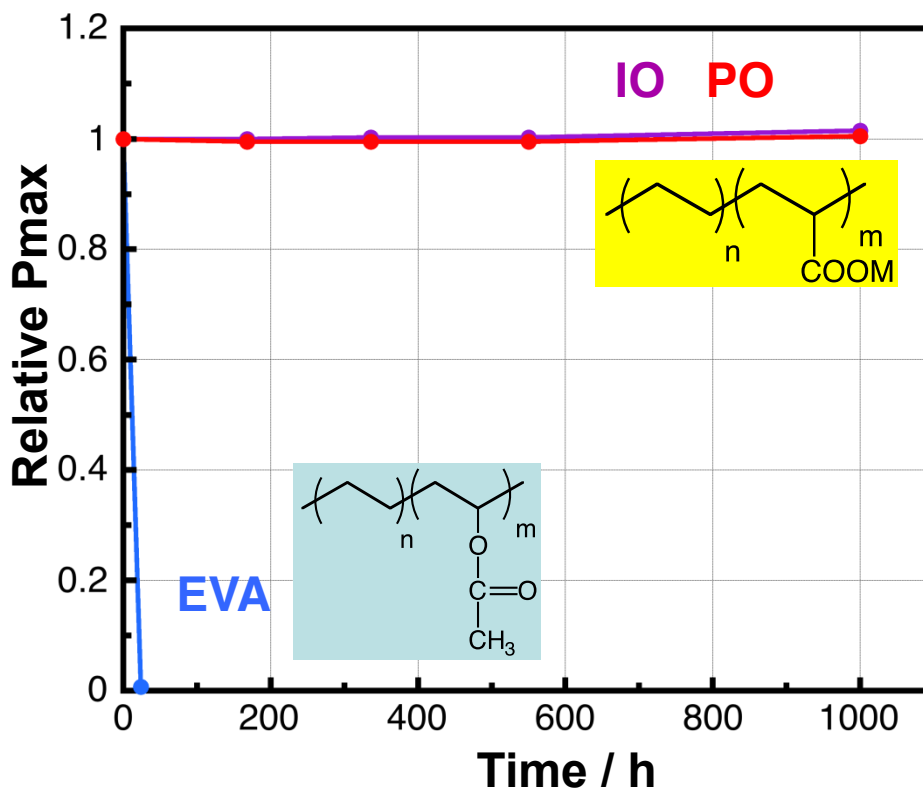
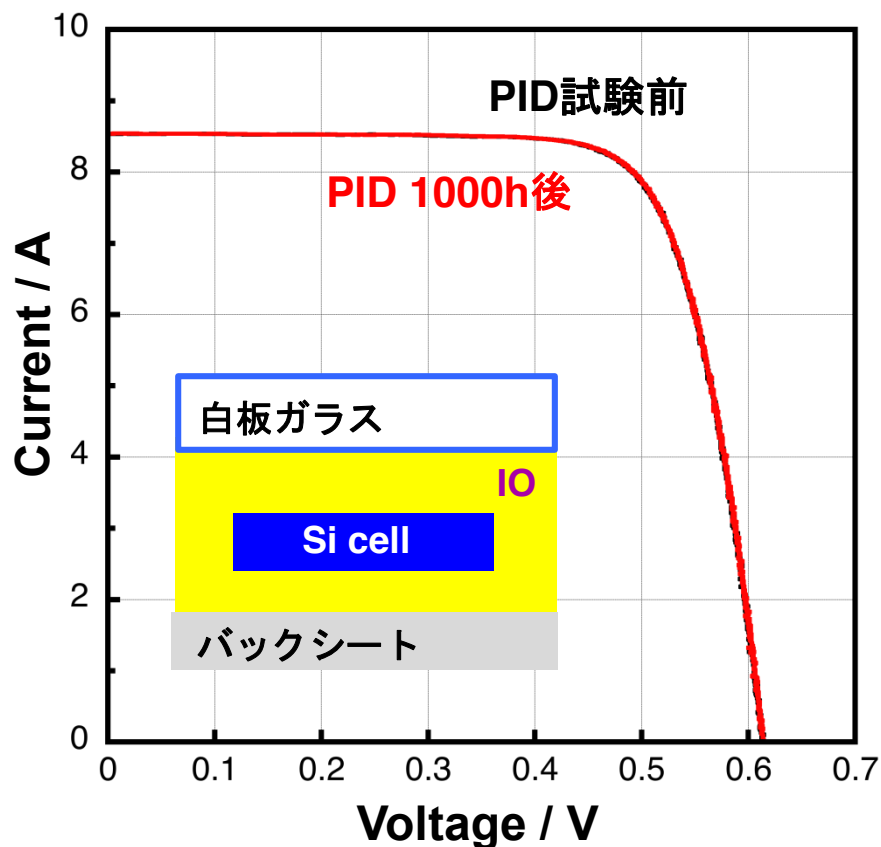
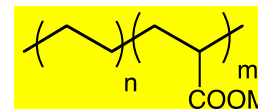
Naumann et al., Energy Procedia 27 (2012) 1.; Sol. Energy Mater. Sol. Cells 120 (2014) 383.

PID試験・対策モジュール

PID試験条件 : -1000 V, 85°C, ~1000 h

IOやPOによるEVAの代替

IO : Ionomer
PO : Polyolefin



EVAの完全代替モジュール → 1000時間でもPID劣化なし

CIGS太陽電池モジュールとPID

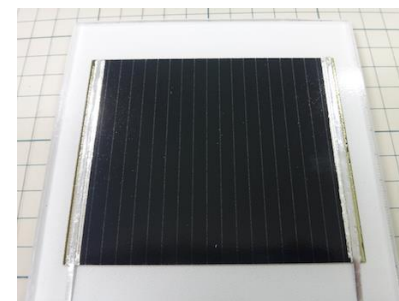
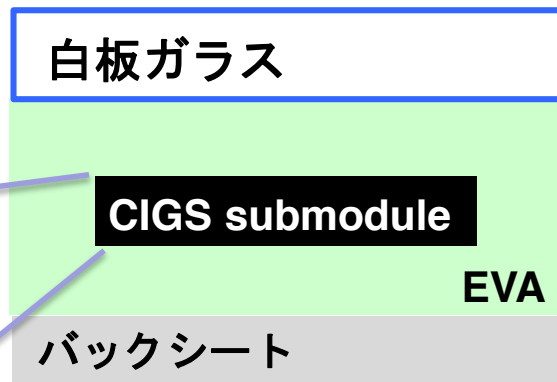
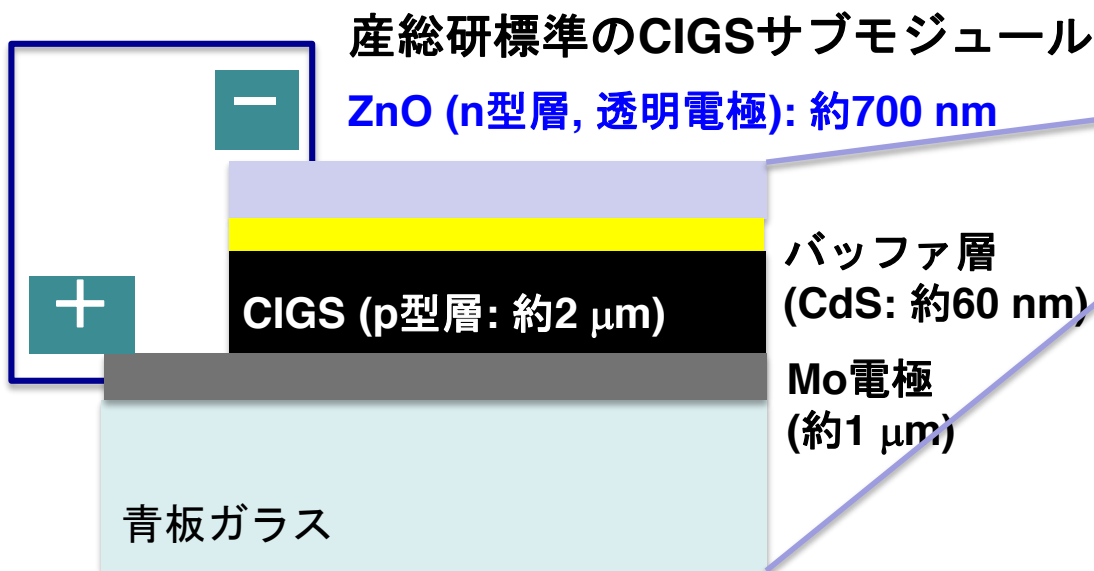


山梨県甲府市米倉山(10 MW)

CIGS太陽電池のメガソーラーが普及拡大



CIGS太陽電池モジュールでもPID現象は起こるのか？

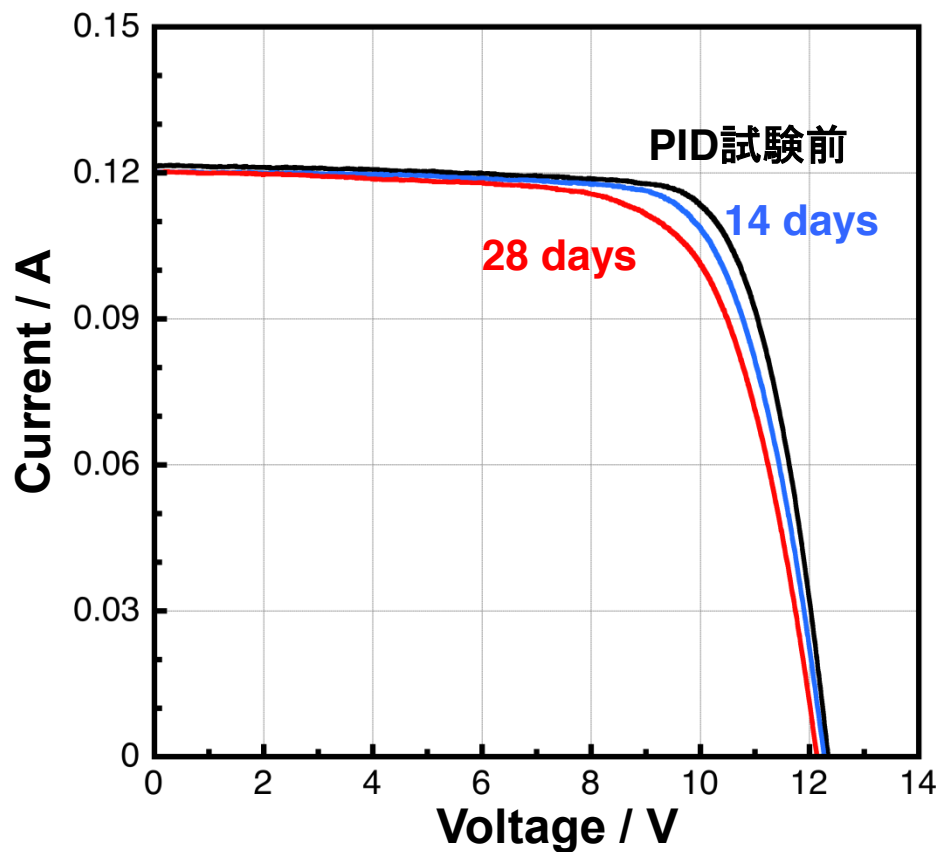
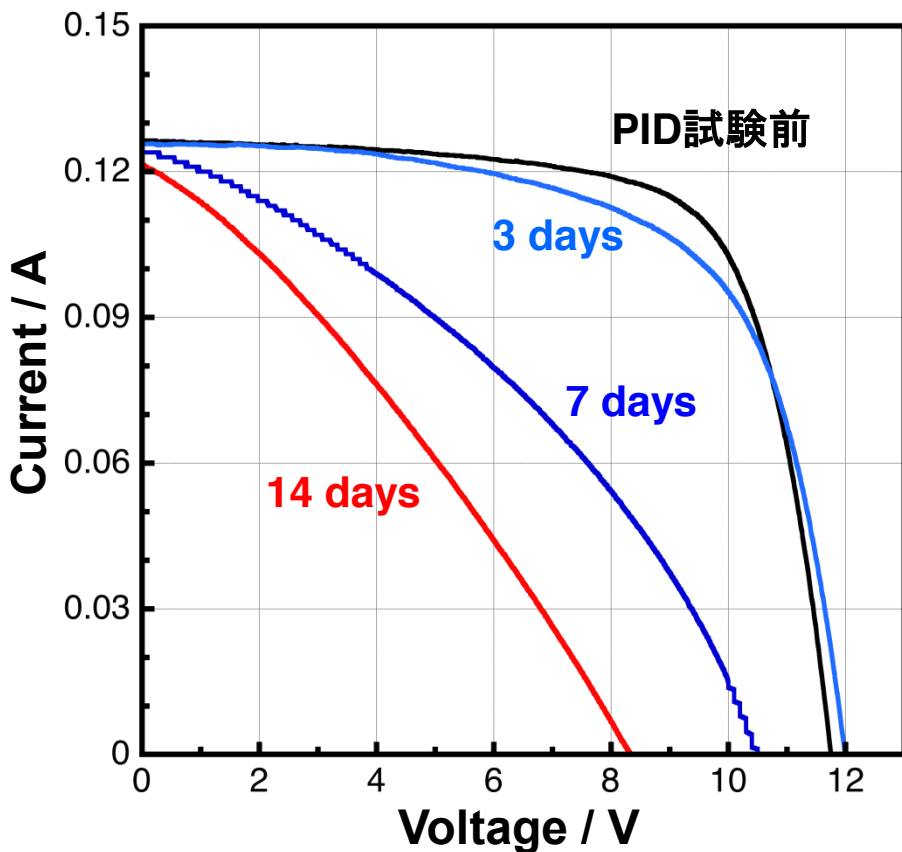


AIST法・PID試験で劣化を評価

PID試験・CIGS標準型モジュール

PID test : -1000V, 85°C

PID test : +1000V, 85°C



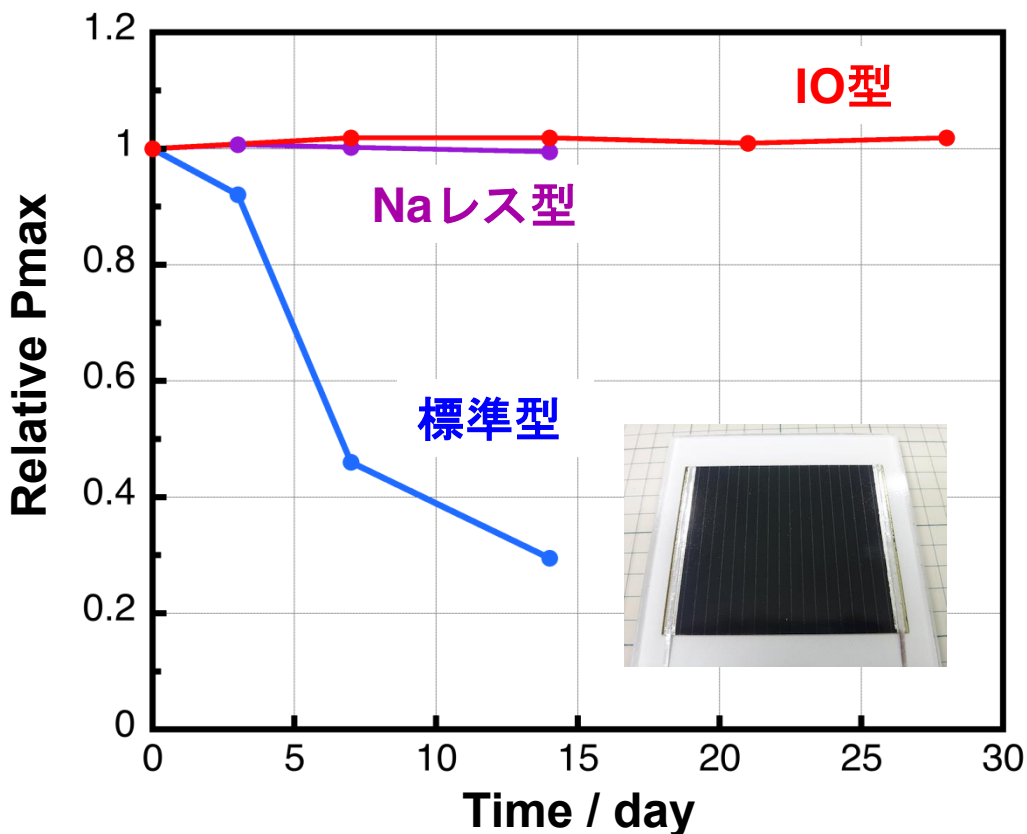
長期ではPID劣化を確認

逆電圧でも低下

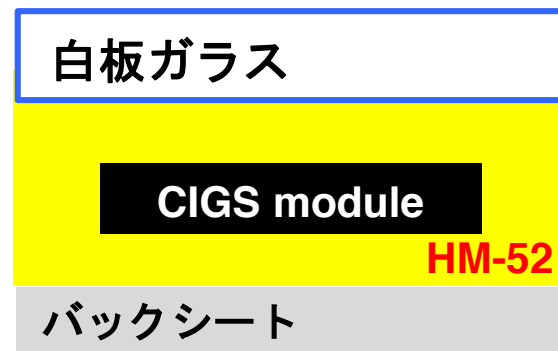
PID試験・構成部材の影響

PID test : -1000V, 85°C

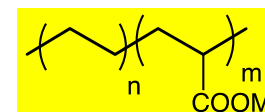
Naレス型



IO型



HM-52



白板ガラス基板から拡散する
Naイオン等が劣化の原因

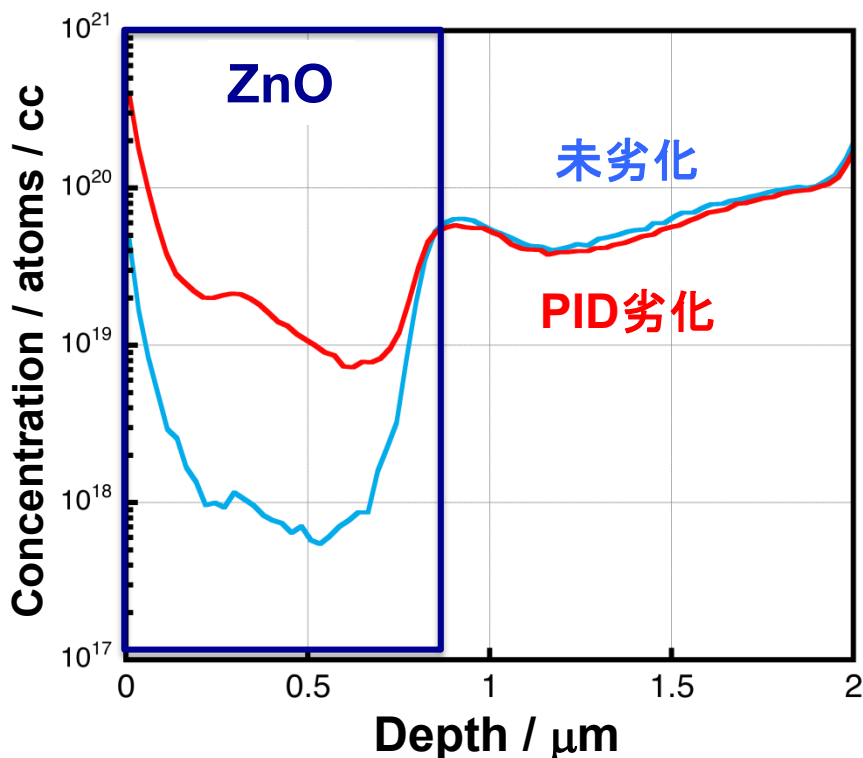
PID劣化せず

劣化メカニズムの分析 (SIMSとSCM)

Naの深さ方向分布 (D-SIMS)

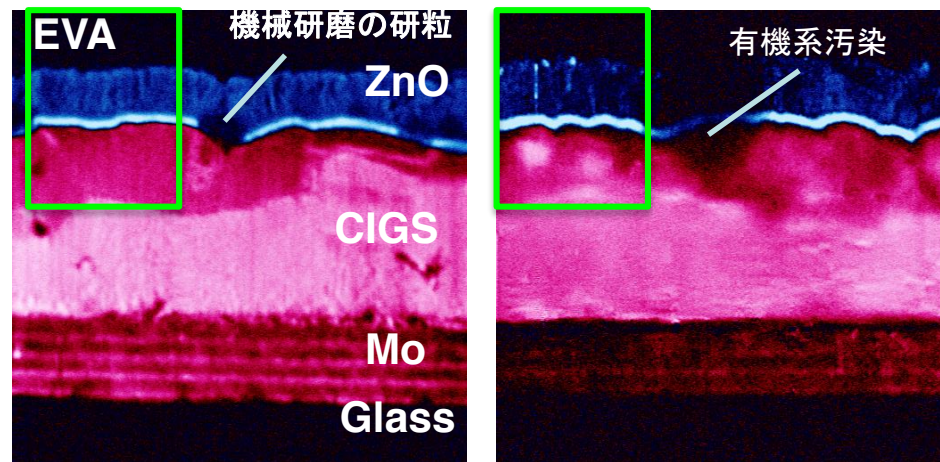
走査型キャパシタンス顕微鏡

Scanning Capacitance Microscope (SCM)



未劣化

PID劣化



+dC/dV (p-type) 0 -dC/dV (n-type)

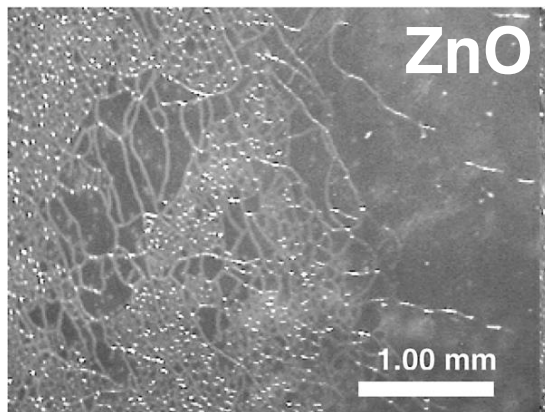
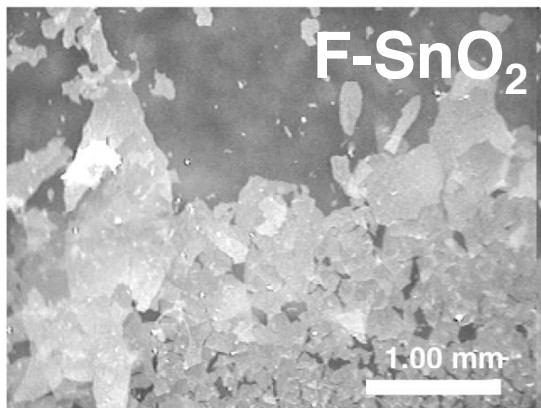
NaがZnO層中で増加

ZnO層の信号強度が低下
 → 結晶性の低下、組成変化による
 キャリア濃度の低下
 (pn接合やCIGS層にも影響)

東レリサーチセンターによる分析

薄膜系太陽電池におけるPID報告例

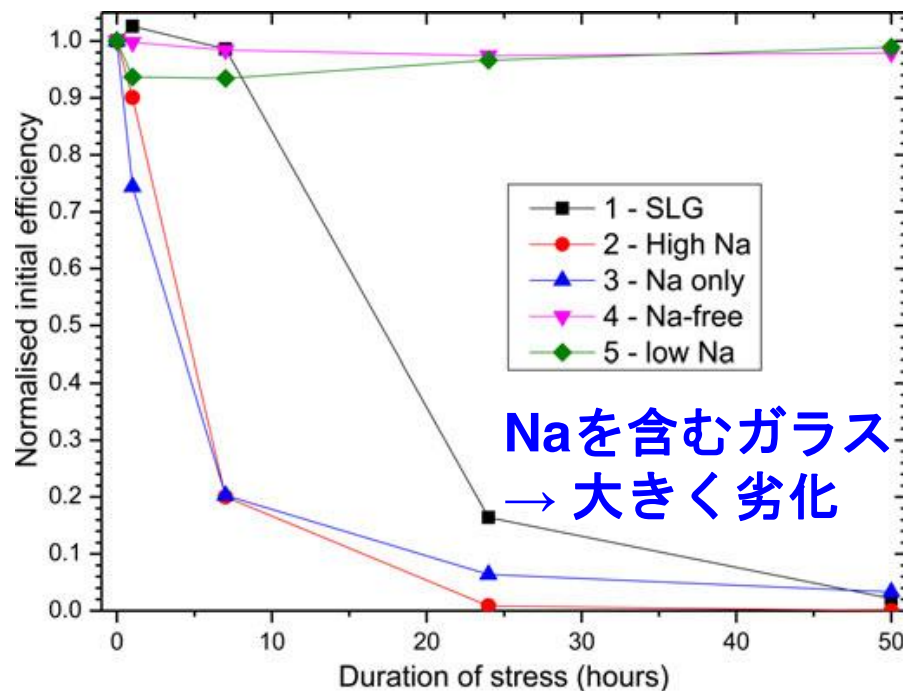
Delamination of TCO by PID



ガラス基板からのTCOの剥離
による劣化 → ZnOとNaとが反応

Jansen et al., Thin Solid Films 423 (2003) 153.

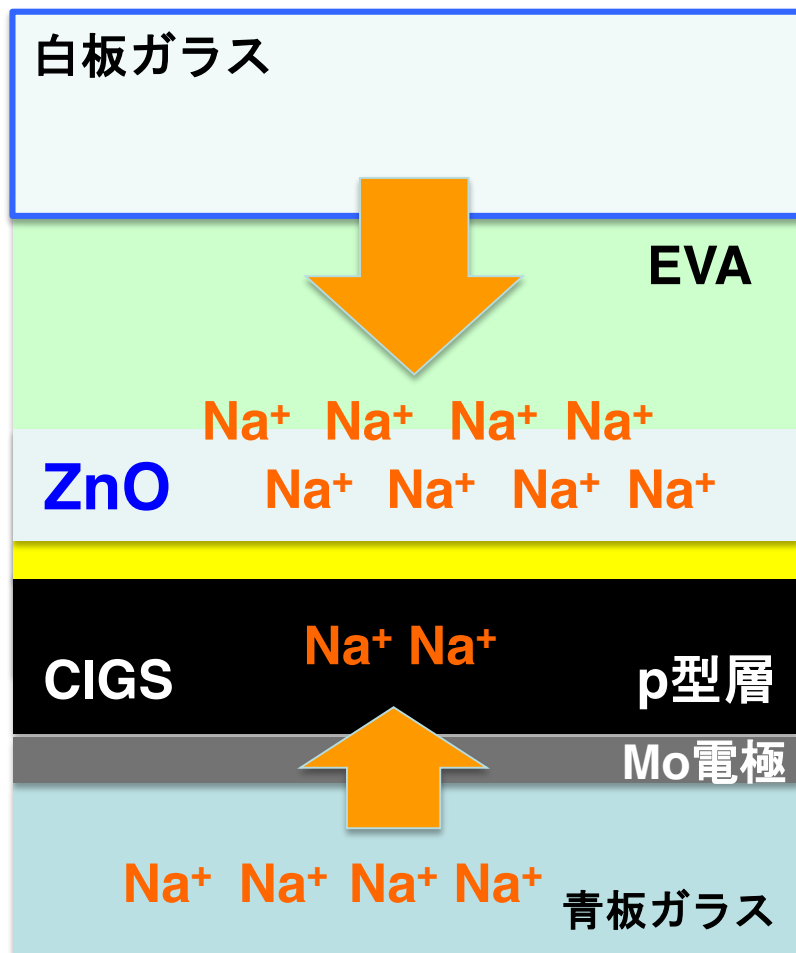
CIGSセルの青板ガラスから電圧印加



青板ガラス基板からのNaイオン
により低下

Fjallstrom et al. IEEE J.
Photovoltaics. 3, 1090 (2013).

CIGS系・劣化メカニズムの考察



○ マイナス高電圧 (白板側)

白板ガラスからのNa⁺
→ ZnOやp-i-n層に影響か？

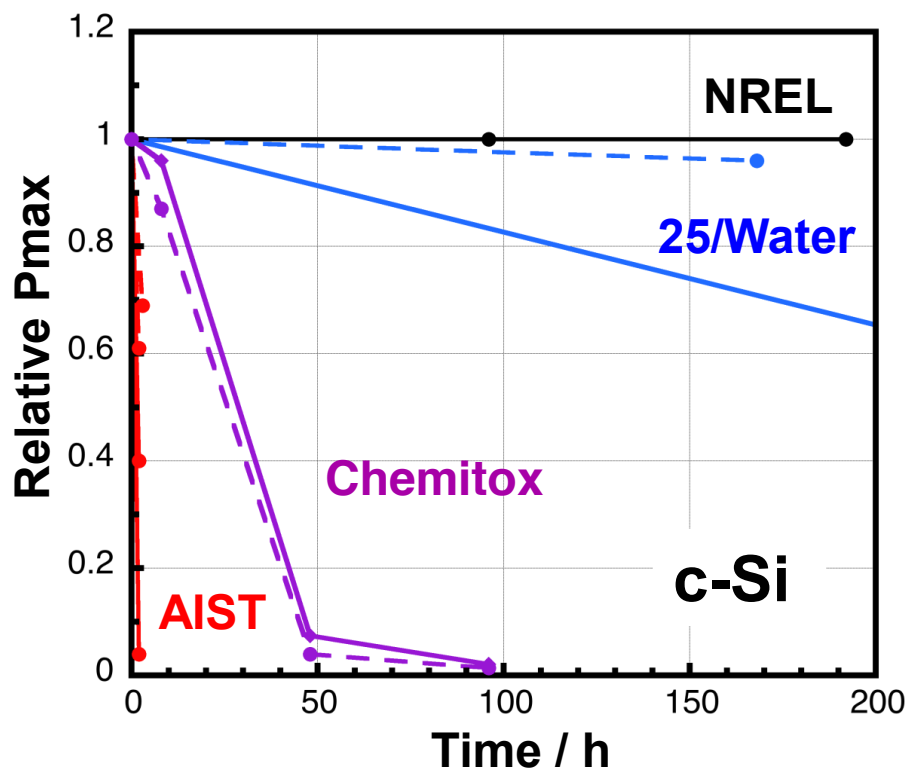
CdS層
(p-i-n界面)

○ プラス高電圧、青板から印加

青板ガラスからのNa⁺
→ p-i-n層に影響か？

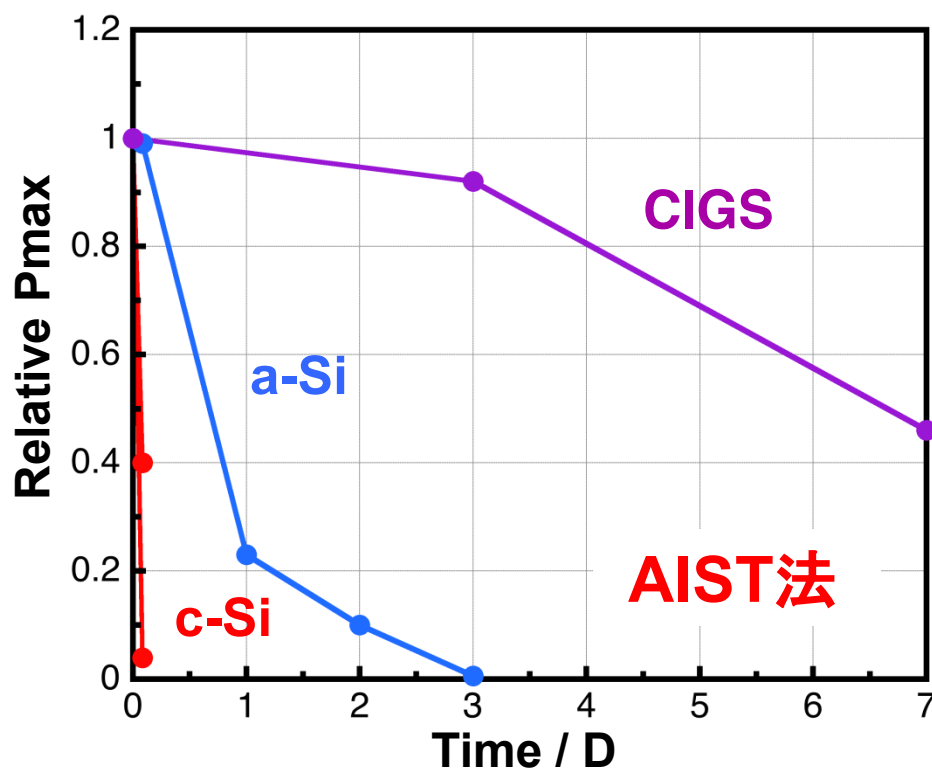
各種PVモジュールのPID劣化度の比較

各種PID試験方法の比較
(c-Si太陽電池モジュール)



AIST法 (AI板): -1000V, 85°C

各種太陽電池モジュールの比較



薄膜系、とくにCIGS系はPIDが起こりにくい (AIST法)

まとめ

- ・結晶Si系におけるPID(p型セル)
ガラス基板から拡散するNaイオン等が主原因
劣化はPID試験方法に大きく依存
- ・PID対策モジュール(結晶Si系)
EVAの完全代替 → AIST法・1000時間でも劣化なし
- ・CIGS太陽電池モジュール
ガラス基板からのNaイオン等が主原因で劣化
結晶Si系よりもPID耐性が高い
封止材の代替により対策が可能

謝辞

- 太陽光研セ 連携研究体
増田 淳 氏、城内 紗千子 氏、井上 昌尚 氏
- 太陽光研セ 高効率化チーム
柴田 肇 氏、小牧 弘典 氏、上川 由紀子 氏、
山田 昭政 氏、高橋 秀樹 氏、高野 美和子 氏、
飯岡 正行 氏、樋口 博文 氏
- 久留米高専
川上 雄士 先生、山口 世力 氏
- 再生可能エネルギー研セ
白澤 勝彦 氏