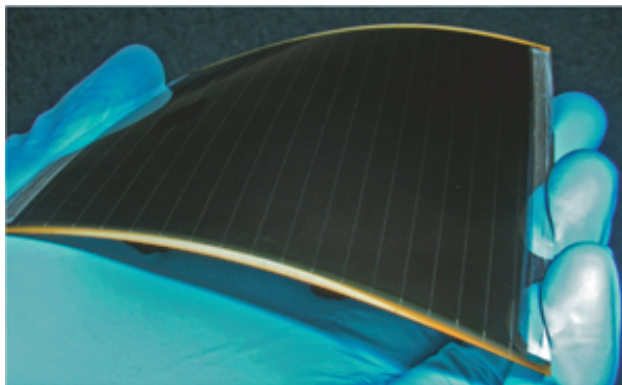


フレキシブルCIGS太陽電池の開発

産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター
先端産業プロセス・高効率化チーム

古江 重紀

目標:フレキシブルCIGS太陽電池の高性能化プロセスの開発



フレキシブルCIGSサブモジュールの
変換効率: 15.9% (2010年)



変換効率 >17% (数値目標)

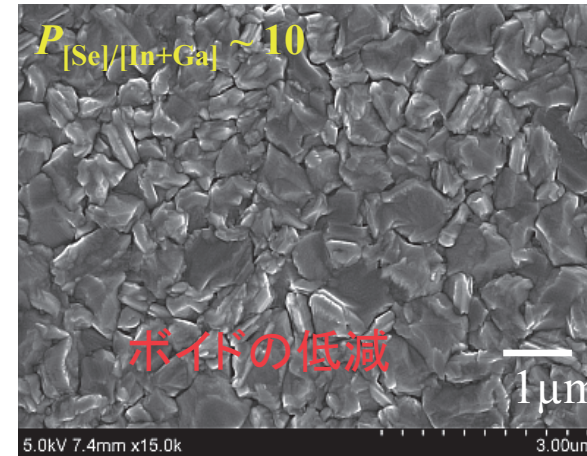
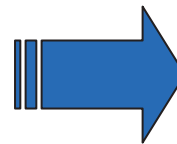
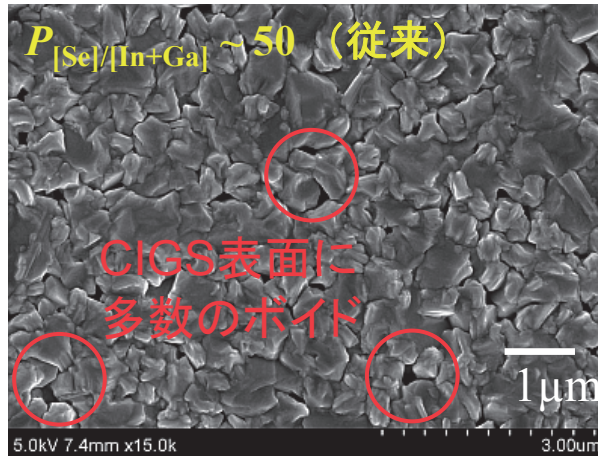
高効率化へのアプローチ...

- ・ 小面積セルの高効率化 (CIGS層の高品質化)
- ・ モジュール化工程の最適化 (TCOの高性能化、スクライブ技術の高度化等)
- ・ Na添加制御技術の開発 (無アルカリ基板への適用)

小面積セルの効率化

Se分圧($P_{[Se]/[In+Ga]}$)は薄膜特性・太陽電池特性を左右する重要なパラメーター

S. Ishizuka et al., PIP 2011



CIGS成膜条件(三段階法)

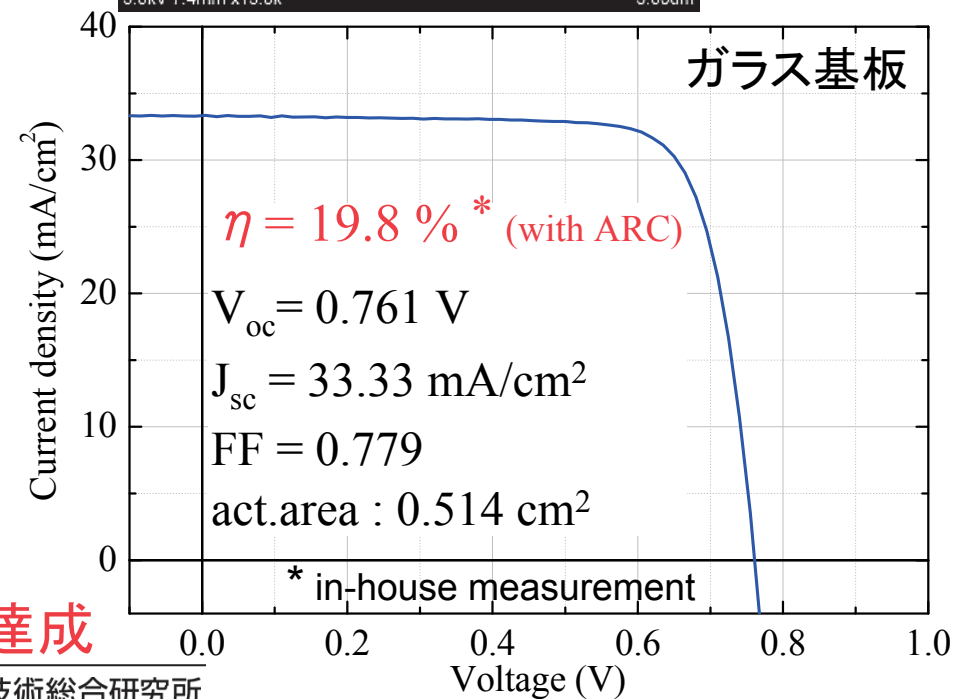
$P_{[Se]/[In+Ga]}$: ~ 10

Ga/(In+Ga): ~ 0.45

Cu/(In+Ga): ~ 0.9

基板温度 : 570°C (max)

CIGS膜厚 : 2.2μm

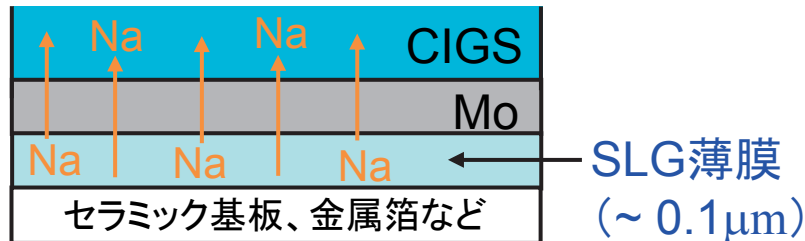


低Se分圧条件で変換効率19.8%を達成

Na添加制御技術

フレキシブルCIGS太陽電池にはNa添加技術の開発が不可欠

ASTL (Alkali-silicate glass thin layers) 法

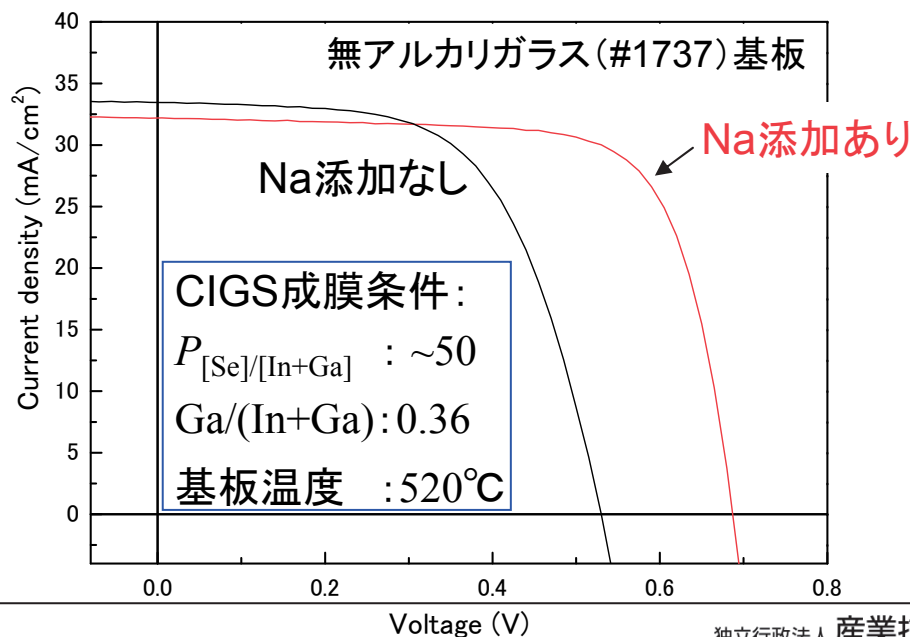


S. Ishizuka et al., APL 93 (2008) 124105

高効率フレキシブル太陽電池を実現
(セル:17.7%、サブモジュール:15.9%)

しかし、
量産化インラインプロセスには不利

Na化合物の同時蒸着法(本研究)



Na添加法を適用した小面積セルの現状特性

	Na添加なし	Na添加あり
Eff (%)	11.1	16.1
V_{oc} (V)	0.532	0.687
J_{sc} (mA/cm ²)	33.59	32.19
FF	0.624	0.729

三段階法に適したNa添加法を検討し、
フレキシブルCIGS太陽電池に適用する。

まとめ

高効率フレキシブルCIGSサブモジュール(変換効率 >17%)の実現を目標に要素技術の開発を行なった。

ガラス基板小面積セルの高効率化(CIGS層の高品質化)

- CIGS成膜中のSe分圧、Ga/(In+Ga)比、基板温度等の成膜条件を再検討し、小面積セルで変換効率 **19.8%**(反射防止膜あり)を達成した。
- CIGS膜厚と成膜条件の最適化によってさらなる効率向上が可能

Na添加制御技術の開発

- Na化合物の同時蒸着法によって、無アルカリガラス基板を用いたセルで**変換効率 16.1%**(従来SLG基板セルと同等)が得られた。
- 三段階法に適したNa添加制御法を検討中

謝辞:

本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から委託したプロジェクト「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」に関するものである。

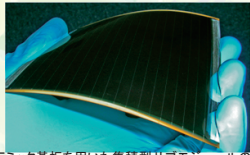
フレキシブルCIGS太陽電池の開発

古江重紀

産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター
先端産業プロセス・高効率化チーム

研究の目的

フレキシブルCIGS太陽電池の高性能化プロセスの開発



フレキシブルCIGSサブモジュールの
変換効率: 15.9% (2010年)

変換効率 > 17% (数値目標)

セラミック基板を用いた集積型サブモジュールの外観

サブモジュール・セル特性の比較

	SLG(モジュール) ^[1]	フレキシブル(モジュール)	フレキシブル(セル) ^[2]
Eff. (%)	16.6	15.9	17.7
V _{oc} (V)	0.673	0.682	0.660
J _{sc} (mA/cm ²)	33.8	33.4	35.4
FF (%)	72.9	69.9	75.7
ap. area (cm ²)	67.2	75.7	0.477 (active area)

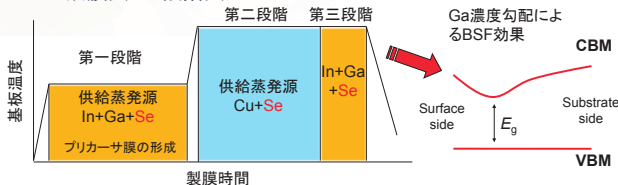
研究内容

高効率化へのアプローチ (要素技術の開発)

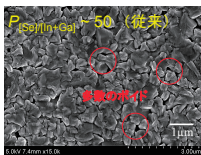
- ・小面積セルの高効率化 (> 19%)
 - Se分圧 ($P_{[Se]/[In+Ga]}$)^[3], Ga/(In+Ga)比など成膜条件の検討
 - セル特性の基板温度およびCIGS膜厚依存性
- ・Na添加制御技術の開発
 - Na化合物の同時蒸着法
 - 三段階法に適した添加制御法の検討
- ・モジュール化工程の最適化
 - 透明導電膜の高性能化、スクライブ技術の高度化
 - 基板ハンドリング技術(フレキシブル基板)

小面積セルの高効率化

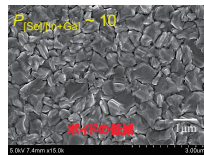
CIGS成膜法: 三段階法



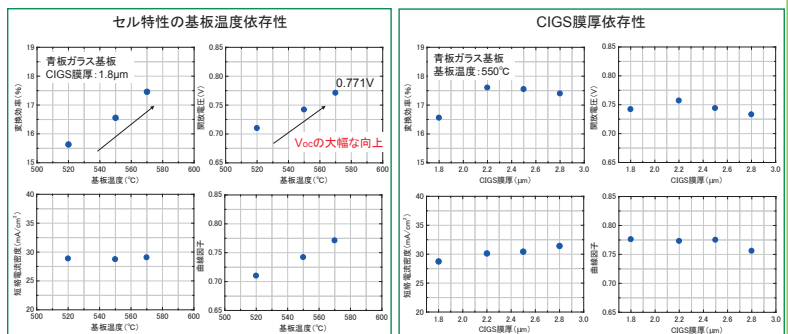
Se分圧は薄膜特性・太陽電池特性を左右する重要なパラメーター



低Se flux



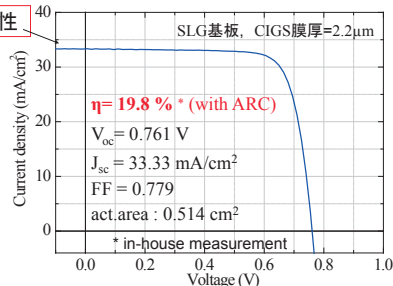
CIGS成膜条件の検討 ($P_{[Se]/[In+Ga]}$: ~10, Ga/(In+Ga): 0.45)



高Ga組成条件によりVocの大幅な向上 厚膜化(~3μm程度)は高効率化に有効

ベストセルの太陽電池特性

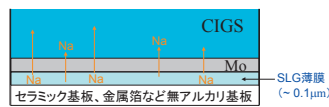
成膜条件
 $P_{[Se]/[In+Ga]}$: ~10
 Ga/(In+Ga): ~0.45
 Cu/(In+Ga): ~0.9
 基板温度: 570°C



Na添加制御技術

フレキシブルCIGS太陽電池にはNa添加技術の開発が不可欠

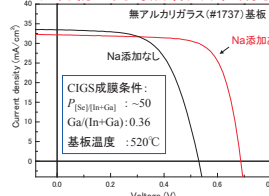
ASTL (Alkali-silicate glass thin layers) 法^[6]



- ・添加量制御が容易。均一添加が可能。
- ・高効率フレキシブル太陽電池を実現 (セル: 17.7%, サブモジュール: 15.9%)

しかし、量産化インラインプロセスには不利

Na化合物の同時蒸着法(本研究)



Na添加法を適用した小面積セルの現状特性

	Na添加なし	Na添加あり
Eff. (%)	11.1	16.1
V _{oc} (V)	0.532	0.687
J _{sc} (mA/cm ²)	33.59	32.19
FF	0.624	0.729

三段階法に適したNa添加法を検討し、フレキシブルCIGS太陽電池に適用する。

まとめ

高効率フレキシブルCIGSサブモジュール(変換効率 > 17%)の実現に向けた要素技術の開発を行った。

ガラス基板小面積セルの高効率化(CIGS層の高品質化)

- CIGS成膜中のSe分圧、Ga/(In+Ga)比、基板温度等の成膜条件を再検討し、小面積セルで変換効率 19.8% (反射防止膜あり) を達成した。
- CIGS膜厚と成膜条件の最適化によってさらなる効率向上が可能

Na添加制御技術の開発

- Na化合物の同時蒸着法によって、無アルカリガラス基板を用いたセルで変換効率 16.1% (従来SLG基板セルと同等) が得られた。
- 三段階法に適したNa添加制御法を検討中 → フレキシブル太陽電池に適用

参考文献

- [1] H. Komaki *et al.*, Progress in Photovoltaics: Research and Applications (2012) doi: 10.1002/pip.2172
- [2] S. Ishizuka *et al.*, Applied Physics Letters **93** (2008) 124105
- [3] S. Ishizuka *et al.*, Progress in Photovoltaics: Research and Applications (2011) doi: 10.1002/pip.1227
- [4] P. Jackson *et al.*, Progress in Photovoltaics: Research and Applications **19** (2011) 894
- [5] I. Repins *et al.*, Progress in Photovoltaics: Research and Applications **16** (2008) 235
- [6] S. Ishizuka *et al.*, Journal of Renewable and Sustainable Energy **1** (2009) 013102

謝辞

本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) から受託したプロジェクト「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」に関するものである。