

# CIGS太陽電池のルビジウム添加効果

石塚尚吾<sup>1</sup>・田口昇<sup>2</sup>・田中真悟<sup>2</sup>・西永慈郎<sup>1</sup>・上川由紀子<sup>1</sup>・柴田肇<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 化合物薄膜チーム  
<sup>2</sup>産業技術総合研究所 電池技術研究部門 ナノ材料科学研究グループ

## 研究背景

### アルカリ金属効果発見と効率向上の歴史

- 1993年 発見(主にNaの効果) J. Hedström et al., Proc. 23rd IEEE PVSC, 364 (1993).
- 1997年 KやCsでも効果確認 M. A. Contreras et al., Proc. 26th IEEE PVSC, 359 (1997).
- ...
- 2013年 KF-PDTで効率20.4%達成 A. Chirilă et al., Nat. Mater. 12, 1107 (2013).
- 2016年 RbF-PDTで効率22.6%達成 P. Jackson et al., PSS-RRL 10, 583 (2016).

### 【アルカリ金属】

- ✓CIGS太陽電池の高効率化に欠かせないドーパント
- ✓メカニズムは未だに不明な部分が多い

## 研究動機

### アルカリ金属種類ごとの働きを明確化することが重要

- NaやKなど元素種類ごとに効果が異なる  
M. A. Contreras et al., Proc. 26th IEEE PVSC, 359 (1997), P. Reinhard et al., Chem. Mater. 27, 5755 (2015).
- 現在最高効率が得られているRbの効果は？

### CIGS薄膜中の存在状態に関する情報・報告例(2017年5月時点)

- Na⇒少ない、K⇒かなり少ない、Rb⇒ほとんどない

アルカリ金属効果を制御することでCIGS太陽電池の更なる高効率化を目指すとともに、各アルカリ金属元素種類ごとのメカニズムを明らかにする(長年の課題)

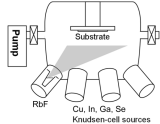
## 実験・結果・考察

### 研究内容

- ✓RbF-PDTによるルビジウム添加CIGS薄膜の作製
- ✓薄膜およびデバイスの特性評価によりRb効果を検証

#### 試料作製

- ✓三段階蒸着法により製膜したCIGSにRbFを照射




Substrate, RbF, Cu, In, Ga, Se Knudsen-cell sources

#### 評価・分析

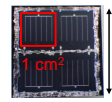
- ✓デバイス  
太陽電池特性の他、C-V法による空間電荷密度など
- ✓薄膜  
SEMIによる表面観察  
TEM-EDX、TEM-EELS分析による薄膜中のアルカリ金属存在箇所特定評価など

#### 評価に用いたCIGS薄膜とデバイス構造



## RbF-PDT CIGS太陽電池セル性能

### ● 1.0 cm<sup>2</sup>セル



NEDOプロの要求  
に応えセル面積を  
1 cm<sup>2</sup>化  
(高効率化には不利)

Eff.: **20.9%**  
 $V_{oc}$ : 0.729 V  
 $J_{sc}$ : 36.1 mA/cm<sup>2</sup>  
 FF: 79.3%

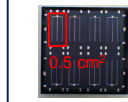


Area (da): **1.03 cm<sup>2</sup>**  
 Measured by **JET**

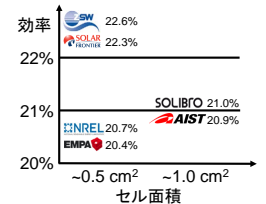
Independently certified efficiency

まずは世界の>20%コミュニティーに

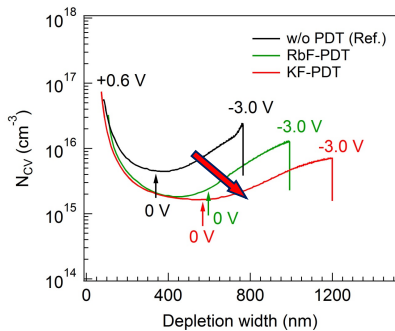
### 参考: 従来の0.5 cm<sup>2</sup>セル



第三者機関測定CIGS太陽電池セル効率の報告例 (as of 4/30/2017)



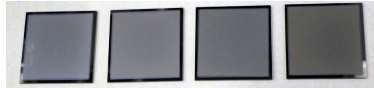
## C-V測定による空間電荷密度比較



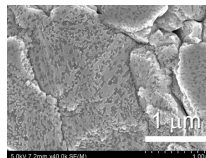
RbF-PDTで低キャリア密度化・広空乏層幅化 (KF-PDTと同様の現象)

## RbF-PDTによるCIGS薄膜の表面状態変化

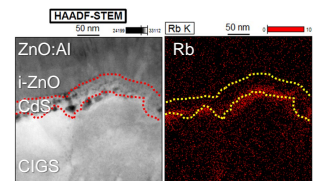
### 製膜直後のCIGS薄膜外観



### RbF-PDT CIGS薄膜表面SEM像(洗浄後)



## RbF-PDT CIGS試料のTEM-EDX観察



- ✓RbはCIGS表面・粒界に存在することを確認
- ✓CIGS表面のCu欠乏層粒内では検出限界以下だが粒界には存在

## 結論

- ✓ 1 cm<sup>2</sup>サイズのセルで効率**20.9%**を達成
- ✓ RbF-PDTとKF-PDTの効果の類似性を確認(NaF-PDTとは異なる)
- ✓ KやRbなどのアルカリ金属がCIGSの結晶粒界に存在することを初めて直接観察
- ✓ RbはCIGSの結晶粒内にも存在することを確認

## 謝辞

本研究は、JSPS科研費16K04969および産総研太陽光発電研究センターステップアップ予算による助成、また一部はNEDOの委託を受け実施された。  
 本研究実施にあたり、産総研太陽光発電研究センター化合物薄膜チームスタッフに多大なるご協力を頂いたので感謝する。

【補足情報】本研究成果の詳細は、2017年7月20-21日に名古屋で開催される日本学術振興会第175委員会第14回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム、および2017年11月12-17日に大津で開催される国際会議PVSEC-27において発表される予定である。