

石塚尚吾

産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター

研究の目的

CIGS太陽電池の変換効率

小面積セル20.9%^[1]、ミニモジュール18.7%^[2]、
モジュール15.7%^[3]

モジュールの高効率化

小面積セル高効率化

課題

- ・ワイドギャップ材料による高効率化
- ・アルカリ効果の再検討と最適利用
- ・バッファ層
- ・透明導電膜

ワイドギャップCuGaSe₂太陽電池の 高効率化に取り組む意義

1. 高Ga組成CIGS太陽電池などのワイドギャップカルコゲナイド太陽電池の高効率化技術開発の指針設計
2. CuGaSe₂ (CGS) のバンドギャップ1.68eV ⇒ 多接合型太陽電池の上部セル材料としても有望

[1] ソーラーフロンティアプレスリリース (2014年4月2日)
[2] Solibro (2013年9月)
[3] Samsung SDI (2013年11月), 他2社

研究成果

CuGaSe₂太陽電池の世界最高効率を達成

今回の成果

三元CuGaSe₂太陽電池で10%
以上の効率の報告は初めて

η (%)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF
10.98	0.901	17.09	0.713

[1] S. Ishizuka, et al., *Appl. Phys. Lett.* **103**, 143902 (2013).

従来への報告

これまでのCuGaSe₂太陽電池最高効率

η (%)	Note	Ref.
9.5	多結晶薄膜	NREL [2]
9.7	単結晶CGS	Univ. Konstanz [3]
10.2	表面In添加 (CIGS化)	NREL [4]

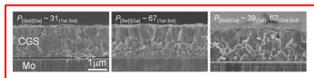
[2] D. Young, et al., *Prog. Photovoltaics* **11** (2003) 535.
[3] M. Saad, et al., *Appl. Phys. A* **62**, (1996) 181.
[4] J. AbuShama, et al., *Conf. record of the 31st IEEE-PVSC* (2005) pp.299.

実験結果

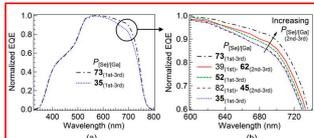
製膜時のSe分圧でCuGaSe₂薄膜物性を制御

製膜時のSe供給量

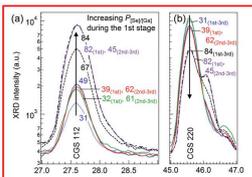
⇒ 薄膜とデバイスの特性に強く影響



モホロジの変化



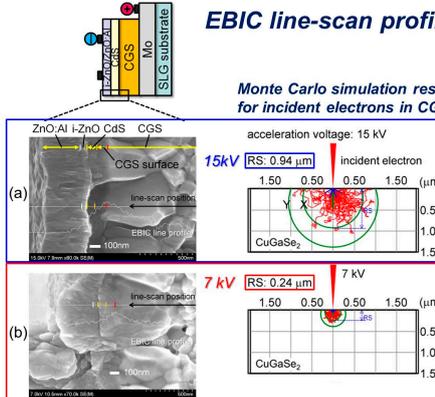
光吸収の変化



配向性の変化

S. Ishizuka, et al., *Appl. Phys. Lett.* **103**, 143902 (2013).

EBIC line-scan profiles^[1]

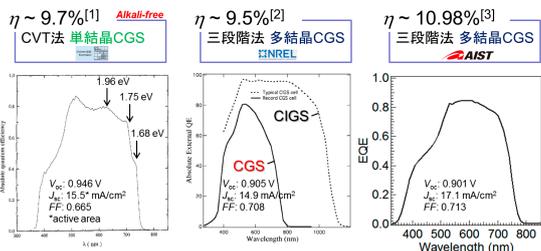


RS: effective depth
X: effective diffusion region
Y: maximum diffusion region

[1] S. Ishizuka, et al., *Appl. Phys. Lett.* **104**, 031606 (2014).
[2] S. Ishizuka, et al., *Prog. Photovolt.* DOI: 10.1002/pp.2464.

考察

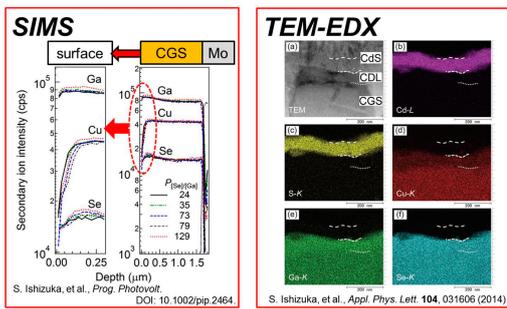
分光感度特性



CGSの価電子帯: Cu3d+Se4p
⇒ 3つのサブレベル

[1] M. Saad, et al., *Appl. Phys. A* **62**, 181 (1996).
[2] D. L. Young, et al., *Prog. Photovolt.* **11**, 535 (2003).
[3] S. Ishizuka, et al., *Appl. Phys. Lett.* **103**, 143902 (2013).

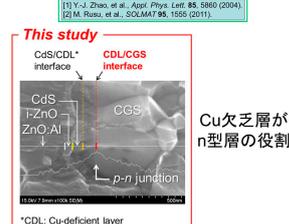
CuGaSe₂薄膜表面



表面に銅欠乏層 (Cu-deficient layer: CDL) が存在

CuGaSe₂太陽電池のp-n接合

CuInSe₂と異なり、CuGaSe₂のn型化は困難^[1,2]



CDL中のアルカリ金属の影響 ⇒ 新たな研究課題

結論

三元CuGaSe₂太陽電池の高効率化

- CuGaSe₂太陽電池で高 V_{oc} (>0.9V) & 高FF (>0.7)を両立
- 変換効率約11%を達成 (CuGaSe₂太陽電池の最高効率)
- Cu欠乏異相層がn型層として働いていることを確認
- ワイドギャップCIGS太陽電池の高効率化にも期待

謝辞

本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)、富士フイルム株式会社の協力・支援を得て実施された。

本研究は、下記の先端産業プロセス・高効率化チームスタッフの協力を得て実施された (敬称略)。

山田昭政、飯岡正行、樋口博文、高野美和子、小原明、木村真次