

# CdS/CZTGeSeへテロ接合型太陽電池の高性能化に向けた電子状態評価に関する研究

永井 武彦<sup>1</sup>・反保 衆志<sup>1</sup>・Kim Shinho<sup>1</sup>・柴田 肇<sup>1</sup>・仁木 栄<sup>2</sup>・寺田 教男<sup>3</sup>

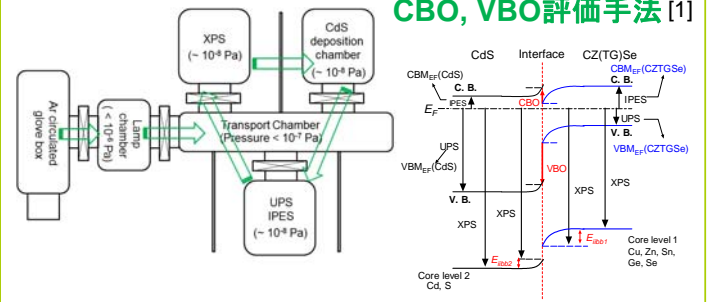
- <sup>1</sup> 産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 化合物薄膜チーム
- <sup>2</sup> 産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター
- <sup>3</sup> 鹿児島大学 大学院理工学研究科

## 研究の目的

内閣府より2050年における温室効果ガス排出を2013年度比で80%削減するNESTI2050が策定された。この実現のためには、再生可能エネルギーの大量導入が不可欠であり、太陽電池はその主要電源として期待されている。今後到来するであろう太陽電池の大量導入時代においては、長期信頼性に優れ、高効率で安価であるといった条件のみならず、低環境負荷の条件も望まれる事となる。

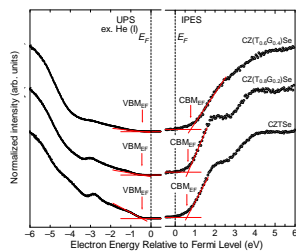
本研究は、これら全ての条件を満たす材料からなるケステライト結晶構造を有するCu<sub>2</sub>Zn(Sn<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>)Se<sub>4</sub> (以下CZTGeSeという)を光吸収層とした太陽電池におけるCdS/CZTGeSeへテロ界面の電子状態を評価し、更なるケステライト系太陽電池の高効率化に資する基礎的知見の収集を行う事を目的とする。

## 実験



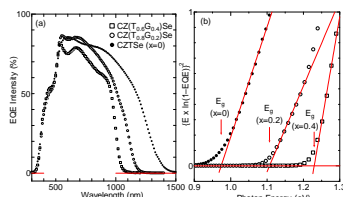
## 結果

### UPS/IPESの測定結果



UPS/IPESから求めた $E_g$

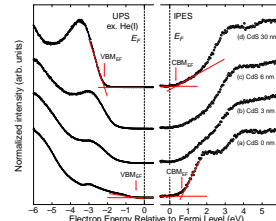
### EQEスペクトル測定結果



EQEから求めた $E_g$  [1]

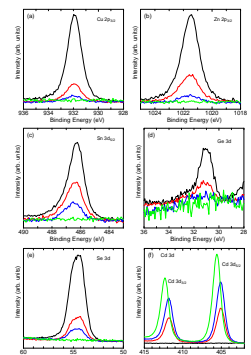
良い一致を示す

### UPS/IPESのCdS膜厚依存性



CZ(T,G)Se上にCdSを30 nm堆積させた試料のVBM, CBM  $\Rightarrow E_g$ を考慮すると妥当

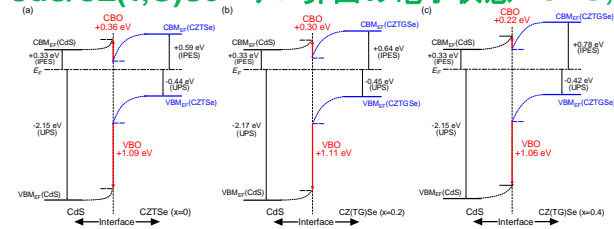
### XPS測定結果



UPS/IPESで求めた価電子帯頂上(VBM),と伝導帯底(CBM)は妥当

## 考察

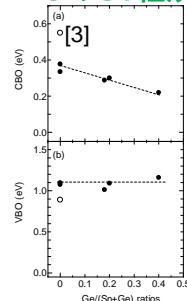
### CdS/CZ(T,G)Seへテロ界面の電子状態



$$CBO = CBM_{EF}(CdS) - CBM_{EF}(CZTGeSe) + E_{iibb} \quad (1)$$

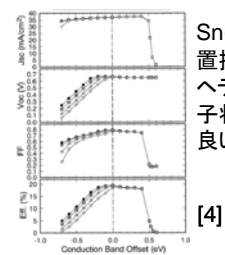
$$VBO = VBM_{EF}(CZTGeSe) - VBM_{EF}(CdS) - E_{iibb} \quad (2) \quad [2]$$

### CBO, VBOのGe組成比依存性



CBOはGe組成に対し減少  
VBOはGe組成に依存せず一定  
CBM, VBMを構成する元素の軌道を考慮すると説明が付く

### CBO, VBOとPVパラメータのシミュレーション



Snの一部をGeに置換する事により、ヘテロ接合の電子状態としては、良い方向へ

## 結論

CZTSeにおけるSnの一部をGeに置換したCZ(T,G)SeとCdSからなるヘテロ接合型太陽電池の接合界面の電子状態を明らかにした。Ge組成の増大に伴い、CBOは減少するが、VBOは一定の値を取る事が明らかになった。

Ge組成40%以下の結果から、いずれも接合界面の伝導帯はスパイク構造を有する接合状態である事が明らかになった。

バルク内部およびCZTGeSe裏面での再結合中心生成を抑制する事ができれば、更なる変換効率向上が見込まれる事が明らかとなった。

## 参考文献

- [1] T. Nagai *et al.*, ACS Appl. Mater. & Interfaces, **11** (2019) 4637.
- [2] M. Bär *et al.*, Appl. Phys. Lett., **99** (2011) 222105.
- [3] T. Nagai *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., **56** (2017) 065701.
- [4] T. Minemoto *et al.*, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, **67** (2001) 83.

## 謝辞

本研究においてKCN処理を担当して頂いた樋口博文様、ガラス上へのMoの蒸着を担当して頂いた飯岡正行様、Se化を担当して頂いた高江洲績本様に感謝いたします。