

## 正・逆光電子分光法を用いた CZTGSe 表面・界面の電子状態評価

Characterization of the CZTGSe surface and heterointerface by UPS and IPES spectroscopy

産総研<sup>1</sup>, 鹿児島大理工<sup>2</sup> ○永井 武彦<sup>1</sup>, 高木 佑誠<sup>2</sup>, 平山 和拓<sup>2</sup>, 反保 衆志<sup>1</sup>, 柴田 肇<sup>1</sup>, 仁木 栄<sup>1</sup>, 寺田 教男<sup>2</sup>

AIST<sup>1</sup>, Kagoshima Univ.<sup>2</sup>, °Takehiko Nagai<sup>1</sup>, Yusei Takagi<sup>2</sup>, Kazuhiro Hirayama<sup>2</sup>, Hitoshi Tampo<sup>1</sup>, Hajime Shibata<sup>1</sup>, Shigeru Niki<sup>1</sup>, and Norio Terada<sup>2</sup>

E-mail: nagai-takehi@aist.go.jp

低炭素化社会実現のためには、現在の数十倍にもものぼるテラワット(TW)級の太陽光発電が不可欠となる。このような TW 太陽電池導入時代においては、安価・高信頼性に加え、資源制約性を考慮した太陽電池の開発が不可欠となる。そこで注目を集めたのが、Cu, Zn, Sn, S といった資源制約性が低い元素からなるケステライト系太陽電池である。しかし、ケステライト系太陽電池では、Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> (CIGSe)や CdTe のような化合物半導体太陽電池と比較し、開放電圧(V<sub>OC</sub>)ロス (バンドギャップエネルギーと開放電圧の差が大きく) が大きく変換効率改善の妨げになっており、その起源については種々学説が提唱されているものの特定には至っていない。

本研究では、特に表面及び界面の電子構造が太陽電池に与える影響について着目し、正・逆光電子分光法(UPS・IPES)ならびに X 線光電子分光法 (XPS) を用い、これら電子構造と V<sub>OC</sub> の関係に関する知見の収集を行ってきた。その結果、CdS/CZTGSe ヘテロ界面においては、V<sub>OC</sub> の向上の観点で適正なオフセット値を有する良好な接続をしており、開放電圧ロスとヘテロ接合界面の電子状態には相関がない事が明らかとなった。[1, 2]さらに、IPES と UPS スペクトルの解析の結果、CZTGSe 表面の伝導帯下端にテール状態があり、このテールは Ge 組成の増大(x ≥ 0.2)に伴い大きくなる事が明らかとなった。また、この伝導帯下端に現れるテール強度の Ge 濃度に対する傾向は、電流-電圧特性(I-V)測定の結果から得られる V<sub>OC</sub> の飽和傾向とも一致する事が明らかとなった。さらに、その外部量子効率(EQE)スペクトルの Ge 組成依存性の測定から、CZTGSe 表面近傍に再結合中心の生成が増大するが、裏面近傍のキャリアの収集効率は高まり再結合中心が減少していくと考えられる結果を得た。これらの事から、我々は、この CZTGSe 表面に伝導帯下端にテールとして現れる欠陥が、CZTGSe 太陽電池の変換効率、特に V<sub>OC</sub> を律速する要因ではないかと考えている。[3] 当日、電子親和力やイオン化ポテンシャルの観点から、取り得る表面欠陥・異相の種類について議論を行う。

[1] T. Nagai et al., Jap. J. Appl. Phys, **56** (2017) 065701-1.

[2] T. Nagai et al., ACS Appl. Mater & Interfaces, **11** (2019) 4637.

[3] T. Nagai et al., Phys.Stat.Solidi-RRL, **14** (2020) 1900708.