

ZTO バッファ層を活用した ワイドギャップ CIGS 太陽電池の構造最適化

SATテクノロジー・ショーケース2025

■ はじめに

現在、従来CdSバッファ層を用いたCIGS太陽電池の最高効率、バンドギャップエネルギー $E_g = 1.15$ eVで得られているが^[1]、理論的には $E_g = 1.4\text{--}1.5$ eVで最高の性能が期待される。しかし、CdS/CIGS界面にはcliff型の伝導帯オフセットを形成するため、キャリアの再結合が著しく、 $E_g \geq 1.3$ eVで開放電圧の歩留まりが生じる。先行研究より、伝導帯オフセットはspike型(< 0.4 eV)が望ましいとされている^[2]。そこで本研究では、 $\text{Zn}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}$ (ZTO)をワイドギャップバッファ層($E_g > 3.2$ eV)として代替した。本研究では、ZTO/CIGS界面にspike型の伝導帯オフセットを形成し、ワイドギャップCIGS ($\text{Ga}/(\text{Ga}+\text{In})=0.8$, $E_g=1.5$ eV)薄膜太陽電池の開放電圧および変換効の向上を検討した。

■ 活動内容

1. 実験方法

試料の作製方法をFig. 1に示す。ガラス基板上に下部Mo電極をスパッタ堆積した後、三段階成長法^[3]を用いてCIGS吸収層($\text{Ga}/(\text{Ga}+\text{In})$ 比0.8)を形成した。次に、原子層堆積(ALD)装置を用いてZTOバッファ層($x = 0.5$)を基板温度120 °Cで加熱堆積した。最後に、透明導電膜としてi-ZnOおよびZnO:Alをスパッタ堆積し、Ni/Al電極を蒸着した。また比較のため、従来CdSバッファ層(50 nm厚)を用いた試料(CdS ref.)を形成した。

2. 結果・考察

断面TEM観察を行ったところ、目的の積層構造を得られていることが判る(Figs. 2(a),(b))。また、ZTOは概ね14 nm程度であり、表面ラフネスに依らず均一に形成されている(Fig. 2(c))。AM1.5照射下で太陽電池特性を評価した結果をFig. 3およびTable 1に示す。短絡電流密度 J_{SC} はCdS ref.と概ね同程度(23.8 mA cm^{-2})である一方、開放電圧 V_{OC} は0.80 Vを示し、CdS ref.の値(0.74 V)を大きく上回った(Fig. 3(a))。これは、ZTO/CIGS界面のspike型伝導帯オフセットの形成が示唆される。その結果、変換効率 η は12.9%を示し、CdS ref.の値(11.0%)を凌駕した。外部量子効率EQEは、ZTOバッファ層により短波長域の改善が確認された。これはCdS($E_g \sim 2.4$ eV)に比べてZTOの方が E_g が大きいことに起因する。一方で、長波長域の寄与が減少しており、ZTO/CIGS界面の伝導帯オフセットの増大に起因していると考えている。

当日はZTO/CIGS界面の諸特性(禁制帯幅、バンドアライメント)について報告する。

■ 参考文献

- 1) J. Keller *et al.*, Nat. Energy **9**, 467 (2024).
- 2) T. Minemoto *et al.*, Sol. Energy Mater. Sol. Cells **67**, 83 (2001).
- 3) A. M. Gabor *et al.*, Appl. Phys. Lett. **65**, 198 (1994).

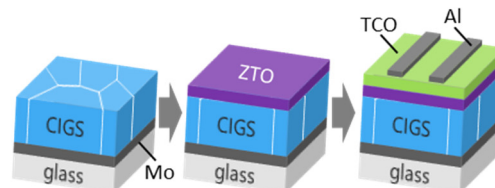


Fig. 1. Experimental procedure of the CIGS samples on glass with ZTO buffer layer using ALD process.

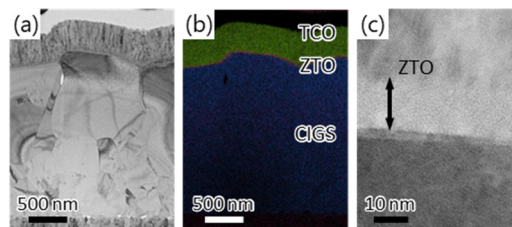


Fig. 2. (a) Low-magnification bright-field TEM image, (b) EDX elemental mapping, and (c) High-magnification bright-field TEM image of the CIGS sample on glass with ZTO buffer layer.

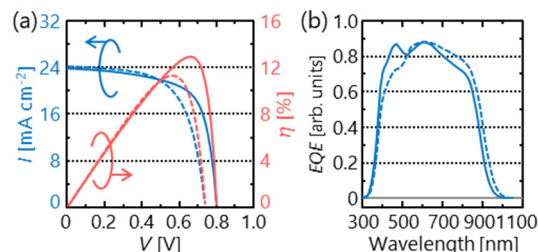


Fig. 3. (a) I - V curve and (b) EQE spectrum of the CIGS sample on glass with ZTO buffer layer. Dotted line shows data for the CIGS sample on glass with CdS buffer layer for comparison.

Table 1. PV parameters.

Sample	V_{OC} [V]	J_{SC} [mA cm^{-2}]	FF [a.u.]	η [%]
ZTO	0.80	23.8	0.68	12.9
CdS ref.	0.74	23.8	0.63	11.0

代表発表者 西田 竹志(にしだ たけし)
所 属 国立研究開発法人産業技術総合研究所
ゼロエミッション国際共同研究センター
問合せ先 〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1
TEL: 080-2216-8828
takeshi.nishida@aist.go.jp

■キーワード: (1) 太陽電池
(2) カルコゲナイド
(3) CIGS

■共同研究者: 西永 慈郎 (産総研)
上川 由紀子 (産総研)
石塚 尚吾 (産総研)