

デバイス・シミュレーショングループ

The group for designing and analyzing solar cell devices



1 研究背景

▶ バンドプロファイル設計によるCuIn_{1-x}Ga_xSe₂太陽電池の高効率化

薄膜系太陽電池としては最高のエネルギー変換効率20.3%を達成[1]
一方で、理論的な変換効率は30%を超える[2]
より適した太陽電池構造の解析・設計により効率向上を図る

▶ レアメタルフリー系太陽電池構造の設計 ...Cu₂ZnSnS₄, Cu₂SnS₃, SnSなどの光吸収層

希少元素を使わない太陽電池として現在注目されているが、未解明な部分が多い
高効率化のため、動作解析ならびにレアメタルフリー太陽電池専用の構造設計を行う

デバイスシミュレーションを応用した高効率太陽電池の設計へ

2 デバイスシミュレータとは?

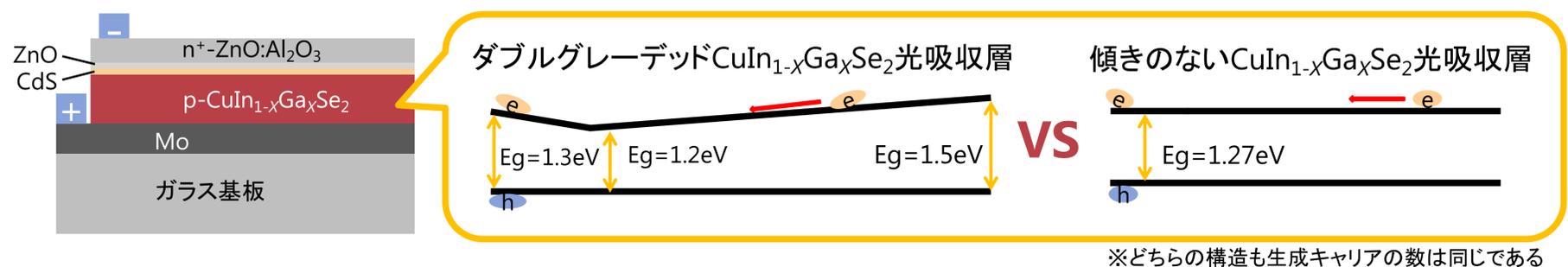
半導体の物性値など、様々な入力条件から太陽電池の動作をシミュレーションするソフト

- SCAPS-1D
- wxAMPS
- ASA
- AFORS-HET などが代表的

材料の性質の影響は?
厚みの影響は?
バンドギャップの傾きの影響は?
外部の条件の影響は?
...等、様々な条件下で計算

3 SCAPS-1Dによるデバイス・シミュレーション例: グレーディングの影響観察

▶ シミュレーション概要



※どちらの構造も生成キャリアの数は同じである

▶ シミュレーション結果

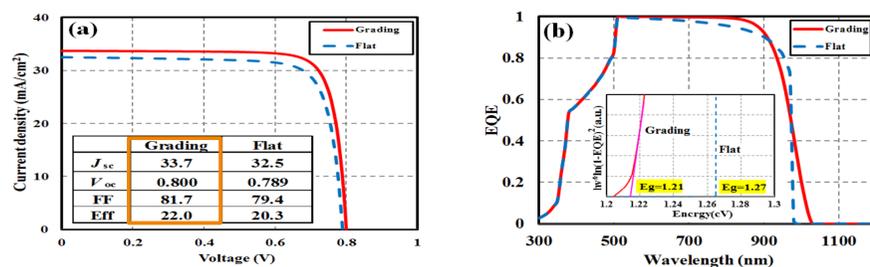


図.グレーディング有無の(a)I-V特性と(b)外部量子効率特性

ダブルグレーデッド構造の導入により...

- 裏面側で生成した電子が効率的に取り出し可能となり出力される電流が増えた
- 表面側のバンドギャップが1.3eVとフラット状態より高く多く再結合が抑制されたため電圧の出力が向上した

1.3%の効率改善をグレーディング構造にて達成しバンドプロファイル制御の重要性を明らかに

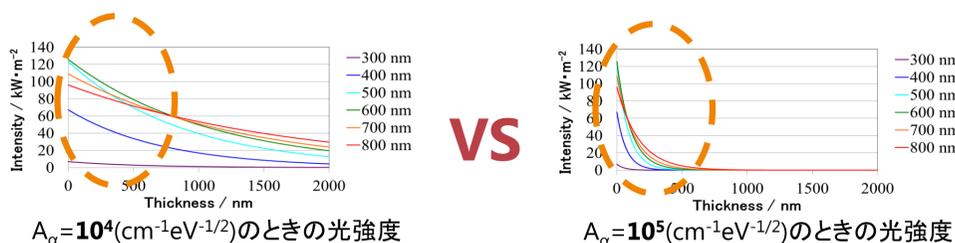
4 SCAPS-1Dによるデバイス・モデリング例: 実効的な光吸収係数の導出

▶ モデリング概要

入射光の波長・光吸収材料の物性は太陽電池の光吸収に影響する

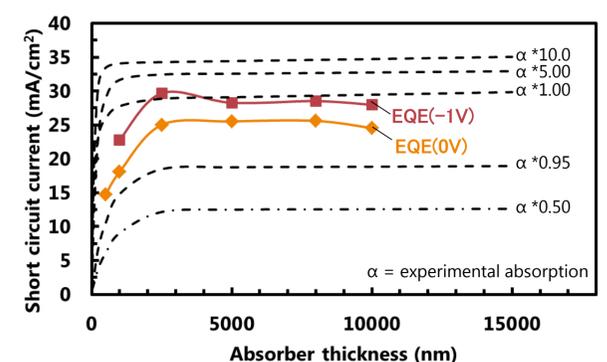
光吸収能力:大 → 生成電流:大 必要な厚み:小
光吸収能力:小 → 生成電流:小 必要な厚み:大

光吸収材料の物性値より、太陽電池の出力電流を特定することが困難なため、SCAPS-1Dによるモデリング結果と実物の太陽電池特性を比較
→ 実物により近いモデリング結果より光吸収材料の物性値(光吸収係数)をフィッティング



※光の浸透深さ: $I = I_0 \exp(-\alpha x)$, 光吸収係数: $\alpha = A_\alpha (h\nu - E_g)$

▶ モデリング結果



モデリングによる光吸収係数のフィッティングを行ったところ、実測値とよく一致
ただし、逆バイアス時との一致であり、実物の太陽電池の少数キャリア拡散長が足りない可能性あり

モデリングによる実効的な光吸収係数の導出

5 今後の展望

- CuIn_{1-x}Ga_xSe₂太陽電池のバンドプロファイリング改善し、実際のデバイス設計にフィッティング
- 新材料太陽電池の電気特性、物性に合うデバイス構造の構築