フイドギャップCIGS太陽電池の高効率化 に向けた界面制御技術

石塚尚吾 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

研究の目的 ワイドギャップCIGSで CuGaSe, (CGS)の研究意義 更なる高効率化を目指す 1. ワイドギャップ(~1.4 eV) CIGSの 出発材料 2. タンデム型太陽電池のトップセル

CuGaSe

1.5 Eg (eV)

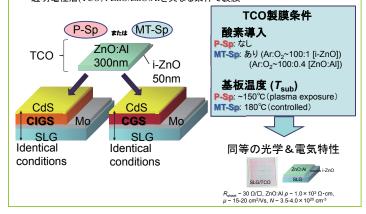
Fig. Theoretical efficiency vs $E_{\rm g}$ S. Siebentritt, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 95, 1471 (2011). 材料としての可能性 CuGaSe₂ E_q~1.7 eV Middle

3. 水素エネルギー分野への展開 (水分解による水素生成用材料)

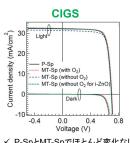
結果&考察 TCO特性比較 P-SpおよびMT-Spで製膜した MT-Spで製膜したTCO(O₂導入あり) TCOの透過・反射スペクトル の透過・反射スペクトル 80 80 MT-Sp ---- 280°C ---- 180°C ---- 80°C 60 60 P-Sp MT-Sp 180°C with O₂ MT-Sp 180°C without O₂ 40 40 SLG/i-ZnO/AZO SLG/i-ZnO/AZO 1 800 1000 400 800 1000 Wavelength (nm) Wavelength (nm) MT-Sp酸素導入無し では透過率低下 MT-Sp 180°C

二種類のTCO製膜装置(P-Sp、MT-Sp)を用いて、CGSと Cu(In.Ga)Se。デバイスのポストp-n接合形成プロセスの影響を評価 P-Sp MirrorTron Sputtering (MT-Sp) ミラートロン(対向ターゲット型)スパッタ装置 Planar Magnetron Sputtering (P-Sp) 平板型マグネトロンスパッタ装置 一般的なスパッタ装置 低温製膜、低ダメージ化が可能 Sputtering N S Sputtering

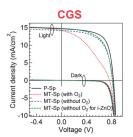
- ・ソーダライムガラス→CdSまでを同一条件で作製
- ・透明電極層(TCO)i-ZnO/ZnO:Alを異なる条件で製膜



P-SpとMT-Sp(O₂導入有無の影響)比較



P-SpとMT-Spでほとんど変化なし (MT-Sp (without O₂)において、 TCO透過率低下に伴うJscの減少 が見られるのみ)



✓ P-SpとMT-Spで大きな変化 ✓ MT-SpではO2を導入しないことで P-Spに近い性能得られるも同等 レベルまでには至らない

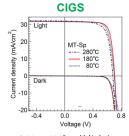
CGSの表面層 0.0 Depth (µm) Cu欠乏層 CGSはCIGSと比較して. 厚いCu欠乏層が形成される S. Ishizuka, et al., ACS Appl. Mater Interfaces 6 14123 (2014).

Low T_。製膜が有効 Low T_s ⇒Small error 0.72 range, good T reproducibility 0.68 8 cells 0.64 S O O substrate はCIGSと比べ酸素 Typical (not champion) cell parameters TCO 低温製膜 [CGS cell with TCO depo@100°C] Eff. (%) 8.9 ⇓ $V_{oc}(V)$ 0.837 $V_{oc}(M)$ 0.837 $V_{oc}(M)$ 14.53 FF 0.733 (total area 0.519 cm², 反射防止膜なし) しかしVocは減少~0.83-0.85 V →低温製膜TCOの特性?

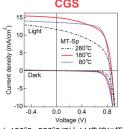
CGSのFF改善(界面再結合の抑制)にTCO低温

と熱に敏感

MT-SpによるTCO製膜温度の影響比較



80 → 180°Cで性能向上 180°C → 280°Cで性能低下



180℃、280℃では*J-V*曲線に極端 な変形が見られる

TCO低温製膜(100°C以下)ではO₂ 導入製膜でも高いFF値が得られた

- ✔ CGS太陽電池ではp-n接合形成後のデバイス作製工程(TCO製膜 条件)の影響を大きく受ける(CIGSは比較的鈍感)
- ✔ CGS太陽電池のFF値向上にはTCOの低温製膜が有効
- 高Ga組成ワイドギャップCIGS太陽電池においても同様の効果が 見込まれ、低温製膜TCOの高性能化は一つの課題
- ✔ もう一つの重要課題として、CGS光吸収層表面に形成されるCu欠 乏層の制御が挙げられる

本研究はH26年度産総研環境・エネルギー分野イノベーション課題及びH27年度産総研エネ ルギー・環境領域イノベーション課題の支援により実施された。