

Cu₂O/ZnO/TiO₂ 薄膜太陽電池の光電変換効率の改善Improvement of photoelectric conversion efficiency
of Cu₂O/ZnO/TiO₂ thin film solar cells藤井凜¹⁾指導教員 鷹野一朗¹⁾¹⁾工学院大学 工学部 電気電子工学科 電気電子機能材料研究室

キーワード：太陽電池，酸化チタン，酸化亜鉛，酸化銅，反応性スパッタリング

1. 緒言

地球温暖化対策として、再生可能エネルギーの太陽電池が注目されて久しい。市場の太陽電池のほとんどはシリコン系である。このシリコン系太陽電池は光電変換効率が高く、高い信頼性があるが、原料となるシリコンの資源確保や製造コスト低減、さらには耐用年数後の処分方法への対応から新たな太陽電池が求められている。¹⁾

その一つとして本研究室では低コストで環境負荷が少ないという観点から、Cu₂O と TiO₂ の pn 接合をベースとした Cu₂O/TiO₂ 薄膜太陽電池を反応性スパッタリング法によって作製してきた。²⁾ Cu₂O/TiO₂ 薄膜太陽電池はシリコン系太陽電池より安価であり、大電力を必要としない IoT 分野の個別電源として期待ができる。

本研究では光電変換効率を改善するために n 型の ZnO 層を Cu₂O/TiO₂ との中間に挿入し、ZnO と TiO₂ の膜厚比を変化させ、光電変換効率への影響を調査した。

2. 実験方法

2.1 成膜方法

成膜にはマルチプロセスコーティング装置 (BC5146, ULVAC) を用いた。試料基板には FTO 成膜ガラス (17×17 mm) を使用し、アルコールによる超音波洗浄を 10 分間行った後にマルチプロセスコーティング装置の準備室に挿入し、中間室に搬

送後、基板表面のクリーニングのため逆スパッタを行った。その後、成膜はスパッタガスを Ar, ターゲットを Ti(99.9%), Zn(99.9%), Cu(99.9%) とし、O₂ を雰囲気ガスとして導入し反応性スパッタリング法により行った。成膜条件を表 1 に示した。積層薄膜は FTO 成膜ガラス上に TiO₂, ZnO, Cu₂O の順に作製した。p 型の Cu₂O の膜厚を 300 nm で固定し、TiO₂ と ZnO の膜厚比を変化させ、光電変換効率を測定した。

表 1 成膜条件

試料基板	FTO 成膜ガラス (17mm×17mm)		
	TiO ₂	ZnO	Cu ₂ O
薄膜			
到達圧力 [Pa]	<1.0×10 ⁻⁵		
ターゲット	Ti	ZnO	Cu
O ₂ 流量 [sccm]	1.5	10.0	10.0
Ar 流量 [sccm]	20	20	15
入力電力 [W]	100	20	45
膜厚 [nm]	150,250	150,50	300

2.2 評価方法

J-V 特性はソーラーシミュレーター (HAL-250, 朝日分光社(株)) により、強度 100 mW/cm² の人工太陽灯を光源として、電子負荷により電圧と電流を測定した。光学的特性は紫外可視分光光度計 (UV-2550, (株)島津製作所) を用いて測定した。

結晶構造はX線回折法(XRD: Rigaku Co, Ltd, Smart Lab.) により, 入射角 0.4° として分析した。

3. 実験方法

図 1 に $\text{Cu}_2\text{O}/\text{ZnO}/\text{TiO}_2$ 薄膜太陽電池の J-V 特性を, 表 2 に $\text{Cu}_2\text{O}/\text{ZnO}/\text{TiO}_2$ 薄膜太陽電池の諸値を示した。 $\text{ZnO}(150)/\text{TiO}_2(150)$ は $\text{ZnO}(50)/\text{TiO}_2(250)$ よりも短絡電流密度が $2.32 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 高くなり, 開放電圧は 17.0 mV 高くなること確認された。また, J-V 特性が直線的になっていることから, 十分な pn 接合が構成されていないことがわかる。これにより, フィルファクタ(FF)も小さくなり, 変換効率も低下した。

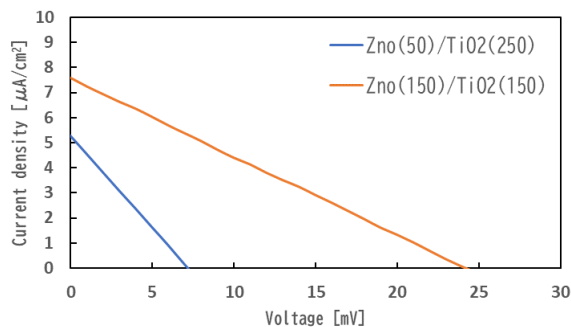


図 1 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{ZnO}/\text{TiO}_2$ 薄膜太陽電池の J-V 特性

表 2 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{ZnO}/\text{TiO}_2$ 薄膜太陽電池の諸値

	ZnO(50)/ TiO ₂ (250)	ZnO(150)/ TiO ₂ (150)
短絡電流密度 Jsc [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	7.60	5.28
開放電圧 Voc [mV]	24.2	7.20
Fill factor (FF)	0.248	0.252
変換効率 $\eta \times 10^{-6}$ [%]	45.7	9.56

図 2 に光学的特性として吸光度特性を示した。2つの試料は, 紫外光を吸収する ZnO/TiO_2 層を持つため 350 nm 付近で吸光していることは推測できる。一方, スペクトルには可視領域に吸光を持つ Cu_2O 層の吸光端が, 500 nm 付近に現れている。光学的には, 両試料に違いはないため, 光電変換効率の違いは, 接合面での影響が強いものと考えられる。

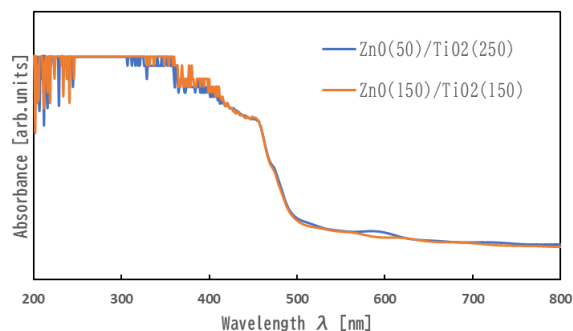


図 2 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{ZnO}/\text{TiO}_2$ 薄膜太陽電池の吸光度特性

図 3 に FTO 成膜ガラス基板上的 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{ZnO}/\text{TiO}_2$ 薄膜の結晶構造を示した。 $\text{ZnO}(50)/\text{TiO}_2(250)$ と $\text{ZnO}(150)/\text{TiO}_2(150)$ を比較して結晶構造に大きな違いはなかった。また, 共通して $\text{ZnO}(002)$, (101) , $\text{TiO}_2(101)$ に高いピークが確認された。

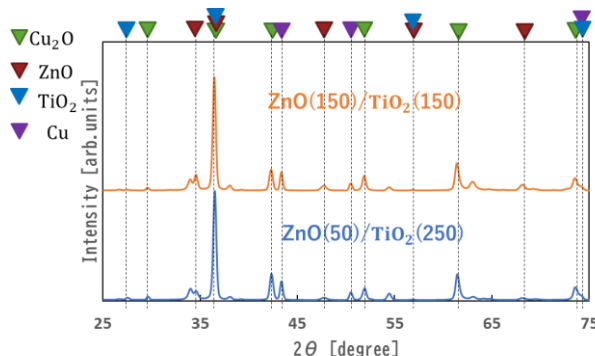


図 3 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{ZnO}/\text{TiO}_2$ 積層薄膜の結晶構造

4. まとめ

本研究では, 反応性スパッタリング法により, n 型の ZnO/TiO_2 積層薄膜の膜厚比を変化させ成膜を行い, J-V 特性, 光学的特性, 結晶構造について調査した。J-V 特性より, $\text{ZnO}(50)/\text{TiO}_2(250)$ と $\text{ZnO}(150)/\text{TiO}_2(150)$ とともに, 発電は確認されたが pn 接合が十分ではなく, FF の値が小さかった。今後は, ZnO の構造を検討し FF を改善する。

参考文献

- 1) 市村正也, 太陽電池入門, 株式会社オーム社, 2012, p88.
- 2) 石坂啓介, Anmar.Shunkor, 鷹野一朗, 表面と真空, 2020, p348-351