

Cu₂O/TiO₂ 薄膜太陽電池の光起電力の改善

Improvement of photovoltaic power of Cu₂O/TiO₂ thin film solar cells

遠藤駿太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，酸化銅，反応性スパッタリング

1. 緒言

近年，地球環境の維持のために二酸化炭素の削減が叫ばれる中，再生可能エネルギーである太陽電池の利用拡大が盛んである．今日，市場に普及している太陽電池のほとんどは Si を主材料とする．この Si 系太陽電池は優れた特徴を持つが，半導体製品における Si への依存度が大きく，市場価格の影響を受けやすい．そのため Si を用いない新たな太陽電池の開発が求められている^[1]．

本研究室ではこれまでに安全性が高く材料コストが低い Cu₂O と TiO₂ の pn 接合をベースとした Cu₂O/TiO₂ 薄膜太陽電池の研究を行ってきた．太陽電池に用いる Cu₂O は p 型半導体であり，整流作用があるため古くからデバイスとして使われていた材料である．TiO₂ は光触媒効果で注目されている n 型半導体である．

本研究では，Cu₂O の異なる結晶性を得るために，Cu₂O 層成膜時の入力電力を変化させ，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．試料基板にはガラス基板 (Eagle XG: 15mm×7mm) と FTO 成膜ガラス (19mm×19mm) を用い，エタノールによる超音波洗浄を 10 分間行い準備室に導入し，中間室に搬送後クリーニングのため逆スパッタを行った．一般にスパッタプロセス圧力はおおよそ 1.3Pa 程度で使われるが，マルチプロセスコーティング装置では 7×10^{-2} Pa の低圧力まで放電を維持できる誘導結合 RF プラズ

マ支援マグネトロンスパッタ源を備えている．成膜はスパッタガスを Ar，ターゲットを Ti (99.98%)，Cu (99.99%) とし，酸素を基板周辺に導入する反応性スパッタリング法により行った．成膜条件を表 1 に示す．基板加熱温度は TiO₂ 層を 300 °C，Cu₂O 層を 250°C としたうえで，各金属ターゲットを用いて膜厚 300 nm の TiO₂ と Cu₂O を作製した．この際，Cu₂O の異なる結晶性を得るために入力電力を 25 W と 30 W とし，光起電力を測定した．

表 1 成膜条件

薄膜	TiO ₂	Cu ₂ O
試料基板	Eagle XG (15×7mm), FTO 成膜ガラス (19×19mm)	
到達圧力 [Pa]	$<1.0 \times 10^{-5}$	
基板加熱温度 [°C]	300	250
ターゲット	Ti (99.98%)	Cu (99.99%)
Ar ガス流量 [sccm]	20.0	15.0
O ₂ ガス流量 [sccm]	1.5	10.0
入力電力 [W]	100	25, 30
膜厚 [nm]	300	300

2.2 評価方法

結晶構造は薄膜 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．光学特性は紫外可視分光光度計 (UV-2550, 株式会社島津製作所) を用いて吸光度を測定した．J-V 特性は，ソーラーシミュレーター (HAL-320, 朝日分光社) により，強度 100 mW/cm² の人工太陽灯を光源として，電子負荷により電流値を 0.05 mA ずつ変化させ測定した．

3. 実験結果

ガラス基板上の $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ 薄膜の結晶構造を図 1 に示す。入力電力 25 W の試料は入力電力 30 W の試料より $\text{Cu}_2\text{O}(111)$ のピークが強く現れていることがわかる。また、25 W の試料は 30 W の試料に比べてスパッタ速度が小さいため、 CuO のピークが僅かに確認された。

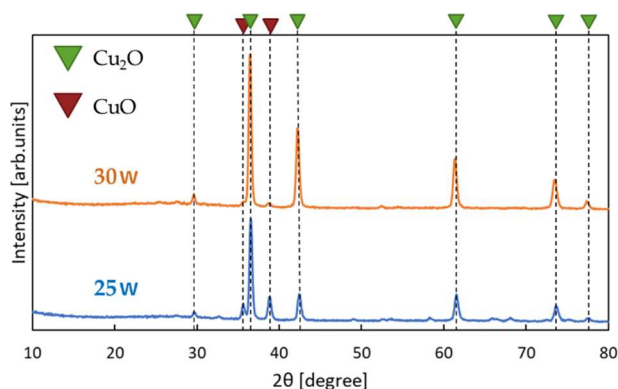


図1 XRD測定による $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ 積層薄膜の結晶構造

図 2 に光学特性として吸光度を示す。紫外光を吸収する TiO_2 薄膜は 350 nm 付近に吸光端を持ち、可視の吸光域を持つ Cu_2O 薄膜は 500 nm 付近に吸光端が現れた。また、入力電力 25 W の試料は Cu_2O 層に CuO が混在しているため、間接遷移の特徴を持つ CuO を起因として、長波長側に緩やかな吸光域を示した。

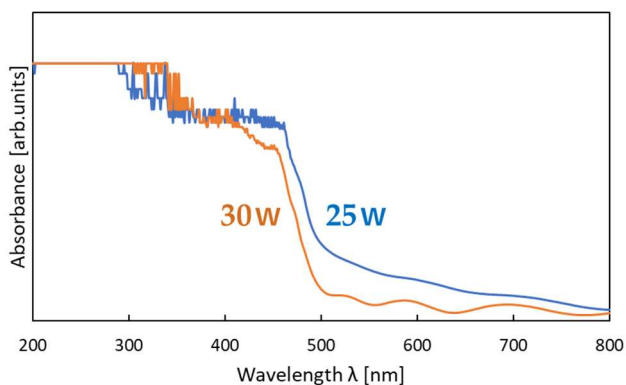


図2 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ 積層薄膜の吸光度特性

図 3 に $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ 薄膜の J-V 特性を、表 2 に $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ 薄膜太陽電池としての諸値を示す。入力電力 30 W の試料は入力電力 25 W の試料よりも開放電圧が 96.5 mV 高くなり、短絡電流密度は 0.58

$\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 低くなることが確認された。短絡電流密度の変化量よりも開放電圧の変化量の方が大きく、Fill factor (FF) と変換効率の値は短絡電流密度と開放電圧の積に大きく依存するため、30 W の試料は 25 W の試料に比べて FF は 1.212 倍、変換効率は 1.788 倍大きくなることが確認された。

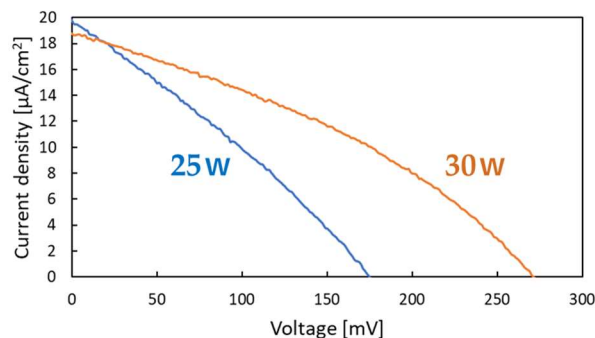


図3 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ 積層薄膜のJ-V特性

表 2 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ 積層薄膜の諸値

入力電力[W]	30	25
短絡電流密度 $J_{sc} [\mu\text{A}/\text{cm}^2]$	18.76	19.34
開放電圧 $V_{oc} [\text{mV}]$	271.2	174.7
Fill factor (FF)	0.3490	0.2880
変換効率 $\eta \times 10^{-3} [\%]$	1.776	0.9934

4. まとめ

本研究では、反応性スパッタリング法により、異なる入力電力で $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$ 薄膜を作製し、結晶構造、光学特性、J-V 特性について調査した。J-V 特性の測定より、入力電力 30 W の試料の方が太陽電池として優れており、25 W の試料は Cu_2O 層に CuO が混在したため変換効率が低下したと考えられた。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、工学院大学電気電子工学科 2020 年度卒業の柳澤将希氏の卒業論文とご助言を頂き感謝致します。

参考文献

[1]市村 正也, 太陽電池入門, 株式会社オーム社, 2012, 88p