

# 酸化物半導体を用いた薄膜温度センサの特性評価

Characterization of thin-film temperature sensors using oxide semiconductors

宮島 麗夏

指導教員 鷹野 一朗

工学院大学 先進工学部 応用物理学科 電気電子機能材料研究室

キーワード：温度センサ， 薄膜， 酸化チタン， 酸化銅， 反応性スパッタリング

## 1. 緒言

近年, IoT 関連の需要に伴い温度センサの応用が急激に拡大し, その大部分は民生機器の分野で使用されている。身近なものでは, 自動車や PC, 家電製品等が挙げられる。一般的に, 温度センサの中で最も多く使用されているのはチップ型の NTC サーミスタである<sup>1)</sup>。近年では, 温度変化に対する応答性を高めるため, なるべく微小体積にした薄膜サーミスタの需要が高まっている。

著者らは薄膜の材料として, n 型半導体で化学的に安定しており長寿命化に対応できる TiO<sub>2</sub> と p 型半導体で古くから研究がなされている Cu<sub>2</sub>O の酸化物半導体を採用した。先行研究では, TiO<sub>2</sub> と Cu<sub>2</sub>O それぞれの単層薄膜に比べて, TiO<sub>2</sub>/Cu<sub>2</sub>O 積層薄膜の方が高い感度を示すことが確認されている。加えて, 膜厚が薄いほど高感度であった。本研究では TiO<sub>2</sub>/Cu<sub>2</sub>O 積層薄膜の Cu<sub>2</sub>O の構造を変えて薄膜を製作し, 界面温度に対する影響を考察することで, TiO<sub>2</sub>/Cu<sub>2</sub>O 薄膜温度センサの高感度化を目的とする。

## 2. 実験方法

### 2.1 成膜方法

試料基板として, エタノール中で 5 分間超音波洗浄を行った 15×9 mm の無アルカリガラス (Eagle XG) を用いた。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。試料基板は準備室に導入し, 中間室に搬送後基板クリーニングのため逆スパッタを行い成膜室内に移動した。一般にスパッタプロセス圧力はおよそ 1.3 Pa 程度で使用されるが, マルチプロセスコーティング装置では 7×10<sup>-2</sup> 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

グネッ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。

表 1 成膜条件

薄膜	TiO <sub>2</sub>	Cu <sub>2</sub> O
基板	Glass (Eagle XG)	
到達圧力 [Pa]	8.0 × 10 <sup>-6</sup>	
試料膜厚 [nm]	100	100
O <sub>2</sub> 流量 [sccm]	1.5	10
Ar 流量 [sccm]	20	15
入力電力 [W]	100	15,20,25 30,40
基板加熱温度 [°C]	300	250

### 2.2 評価方法

温度特性は二端子法により, 卓上マッフル炉内で温度を 20~100°C に変化させて抵抗値を測定した。この測定結果より, センサ感度を表す B 定数を算出した。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。深さ方向組成はオージェ電子分光分析 (AES: JAMP-9500, 日本電子(株)) により, 薄膜内部の元素分布を測定した。

## 3. 実験結果

図 1 に Cu<sub>2</sub>O の入力電力を変えて作製した TiO<sub>2</sub>/Cu<sub>2</sub>O 薄膜の温度特性を示す。縦軸は抵抗値, 横軸は温度を表している。図 1 より求めた B 定数は表 2 のようになり, 入力電力 20 W の試料が最も高い値を示した。縦軸の抵抗値の違いは, 電極間の距離を 5 mm で統一したものの微妙な誤差も含まれるが, 入力電力を高くすると Cu<sub>2</sub>O の構造が支配的になり抵抗値が下がったと考えられる。また, 市

販品(チップ型)のB定数は3500~4500 Kである。

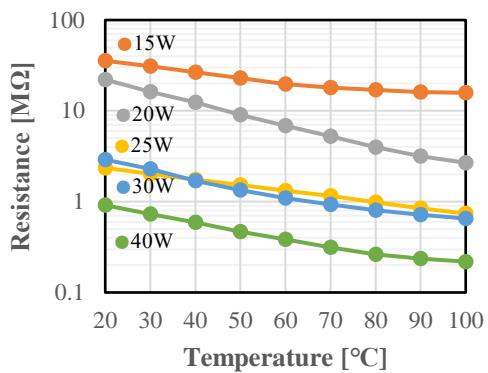


図1 TiO<sub>2</sub>/Cu<sub>2</sub>O 薄膜の温度特性

表2 温度特性より求めたB定数

入力電力 [W]	B定数 [1/K]
15	1105
20	2882
25	1579
30	1899
40	2126

図2にXRD測定による結晶構造を示す。縦軸は強度、横軸は回折角を示している。全ての入力電力でTiO<sub>2</sub>層はアナターゼとルチルの混晶であることがわかる。Cu<sub>2</sub>O層では15 Wの試料でCuOが確認でき、20 Wでも若干のCuOが現れている。40 Wの試料では金属Cuが現れることから、入力電力を増加するとCuの酸化が進まなくなることがわかる。当然のことではあるが、Cu<sub>2</sub>O層の入力電力を変えててもTiO<sub>2</sub>層はほぼ同一であることから、TiO<sub>2</sub>/Cu<sub>2</sub>O薄膜自体の抵抗値はCu<sub>2</sub>O層の変化によるものと考えられる。一方、B定数については、Cu<sub>2</sub>O層の結晶構造との関係が明確にはならなかった。

図3にAESによる深さ方向組成分布を示す。縦軸は元素濃度、横軸はスパッタリングサイクル数で表面からの深さに相当する。元素濃度についてはXPSの測定値でキャリブレーションした。低サイクルでのTiO<sub>2</sub>層は厚さに大きな違いはないが、Cu<sub>2</sub>O層については、入力電力が増すと薄くなる傾向にある。成膜時のCuスパッタレートを少なく見積もったためと考えられB定数にも影響している。

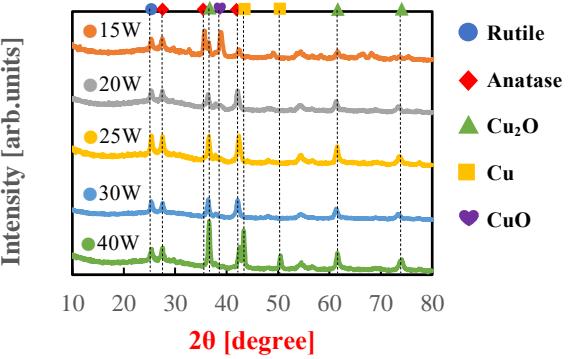


図2 XRD測定による各試料の結晶構造

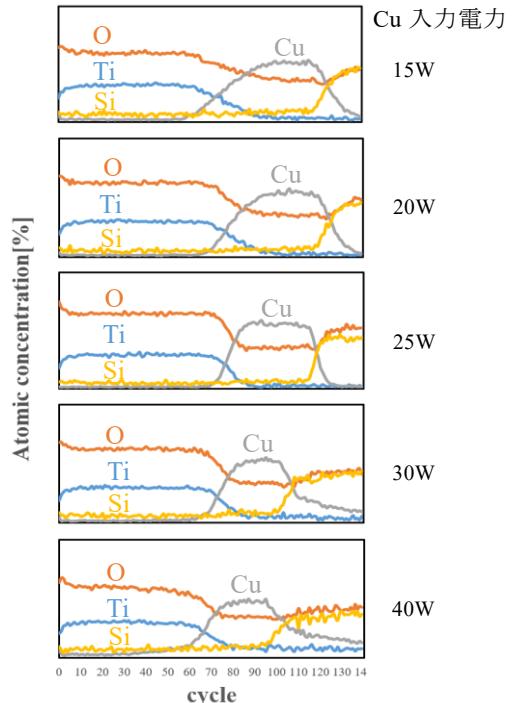


図3 AESによる深さ方向元素分布

#### 4.まとめ

本研究では、TiO<sub>2</sub>/Cu<sub>2</sub>O積層薄膜の界面を調査するため、異なる電力でCu<sub>2</sub>O層を作製し、温度特性、結晶構造、深さ方向分析について評価を行った。実験結果より、NTCサーミスタ特有の温度特性は確認できた。しかし、AES測定からCu<sub>2</sub>O層が予想より薄くなることが明らかになったものの、構造に対するB定数の依存性は確認できなかった。今後は膜厚の精度を上げ、界面の影響を明確にしたい。

#### 参考文献

- 1) 山本一志、高田学、長井彪：セラミック機能性膜とその応用、学文献社（1998）、pp143-149