

金属酸化物を使った薄膜温度センサの特性評価

Characteristic evaluation of the film temperature sensor using the metal oxide

学生氏名：高橋侑哉

指導教員：鷹野一朗

工学院大学 工学部 電気システム工学科
電気電子機能材料研究室

キーワード：電気電子・電子材料

1. 研究背景

温度センサは様々な機器に組み込まれており、IoT (Internet of Things) の進化とともに特殊化し、その需要はさらに広範囲になることが考えられる。一般に熱に対して抵抗値が変化するサーミスタを大別すると PTC (Positive-Temperature-Coefficient) と NTC (Negative-Temperature-Coefficient) サーミスタに分けられる。抵抗温度係数などの特性から、温度センサの多くには、マンガン、コバルト、ニッケル、銅、チタンなどを成分とする酸化物焼結体の NTC サーミスタが用いられている。近年では、温度変化に対する応答性を高めるため、なるべく微小体積とした薄膜化したサーミスタの需要が高まっており、スマートフォンやパソコンに組み込むことが考えられている。

2. 研究目的

本研究では、n型半導体である酸化チタン (TiO_2) 薄膜と p型半導体である酸化銅 (I) (Cu_2O) を積層した温度センサの開発を目指している。 TiO_2 と Cu_2O は半導体であるため NTC サーミスタとしての特性を示すが、特に TiO_2 の抵抗値は比較的高い。そこで、 TiO_2 と Cu_2O を積層し、両方の半導体特性を加味したセンサの作製を試みた。これらの酸化物薄膜を用いることで、応答感度が高く化学的に安定で、長寿命なセンサの開発につなげる。

3. 実験方法

3.1 成膜方法

TiO_2 と Cu_2O の各薄膜を作製するために、図 1 に示すようなマルチプロセスコーティング装置を用いた。本装置は圧力が 10^{-6} Pa となる高真空を達成でき、RF (Radio Frequency) と DC (Direct Current) のスパッタカソード源を装備しており、Ti は RF カソード、Cu は DC カソードを使って、雰囲気内を酸素で満たした反応性スパッタリング法により数百 nm の厚さをもつ薄膜をガラス基板上に作製した。

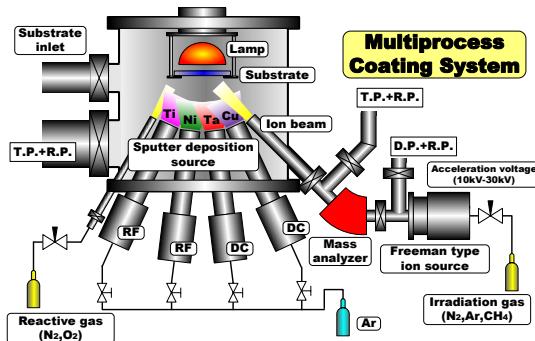


図 1 マルチプロセスコーティング装置

成膜にあたっての条件は、表 1 に示す。 TiO_2 、 Cu_2O とも、成膜室内に O_2 ガスを導入し、スパッタガスを Ar、ターゲットをそれぞれ Ti、Cu とした。 TiO_2 と Cu_2O 薄膜作製において条件が異なるのは、先行研究における構造測定などにおいて最適条件を導き出した値を採用しているためである。

表 1 成膜条件

試料	TiO ₂	Cu ₂ O
試料基板	Glass (Eagle XG)	
到達圧力 [Pa]	<8.0×10 ⁻⁶	
O ₂ 流量 [sccm]	1.5	10
Ar 流量 [sccm]	20	15
入力電力 [W]	100	30
成膜温度 [°C]	300	

3.2 評価方法

評価方法の一覧を表 2 に示す。光学特性は、紫外可視分光光度計を用いてガラス基板上の薄膜の吸光度を測定した。結晶構造はX線回折装置により、入射角 0.3として分析を行った。抵抗温度特性はサーモティックインキュベータを用いて、温度を25°Cから60°Cまで5°Cずつ変化させ、電気抵抗を二端子法により測定した。

表 2 評価方法

測定項目	測定装置
結晶構造	X線回折装置
光学特性	紫外可視分光光度計
温度特性	サーモティックインキュベーター

4. 実験結果及び結論

ここでは TiO₂/Cu₂O/TiO₂/Cu₂O で構成された 4 層からなる多層薄膜の温度に対する抵抗値の変化を図 2 に示す。先行研究では、総膜厚 200nm(各膜厚 50nm) の抵抗変化を表示した。この場合、室温 25°Cでは 39MΩ を示し、60°Cでは 14MΩ まで低下した。今回作製した総膜厚 300nm(各膜厚 75nm) は、25~60°C では、抵抗値の変化は 23MΩ ~10MΩ に減少し、抵抗温度計数は小さな値 ($-17145 \times 10^{-6}/\text{K}$) となっている。同じく今回作製した総膜厚 100nm(各膜厚 25nm) は、抵抗値の変化は 63MΩ ~28MΩ に減少し、抵抗温度計数は大きな値 ($-15908 \times 10^{-6}/\text{K}$) となっている。本試料の場合は、界面が pn 接合となって

おり、温度に対しての感度が単層膜より高くなっていると予想できる。さらに、単層の膜厚が薄くなると電子の流れは制限されるものの、接合面の効果がより顕著に現れたものと考えられる。

今後は温度検知感度の指標とされるサーミスタ定数を算出し、温度変化に対する応答性を評価する。また、さらに計測する温度の幅を広げることでより正確なサーミスタ定数を算出し評価する。

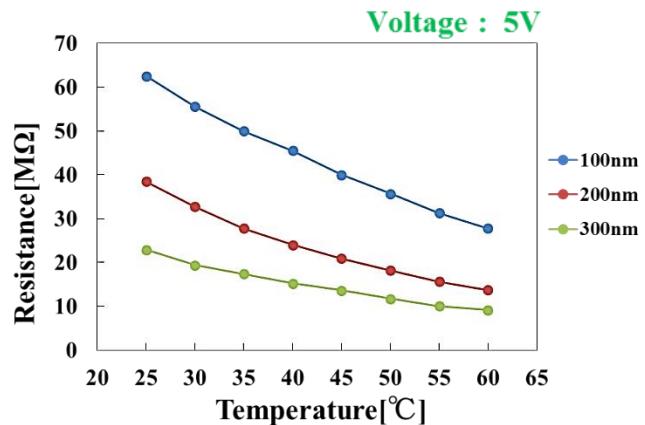


図 2 総膜厚 100nm と 200nm の 300nm の TiO₂/Cu₂O/TiO₂/Cu₂O 多層膜の温度－抵抗特性

5. 参考文献

川口天文、TiO₂ および Cu₂O で構成されたスペッタ薄膜の温湿度特性
(2017 年度 工学院大学卒業論文)