

## 超高温特異環境トランジスタの開発基礎研究

### Development of a transistor in the condition of high temperature

新宮博康\*<sup>1</sup>, 鷺見哲雄\*<sup>1</sup>, 秦野和郎\*<sup>2</sup>,  
内田悦行\*<sup>3</sup>, 梅野正義\*<sup>4</sup>, 安井利定\*<sup>5</sup>

Hiroyasu SHINGU, Tetsuo SUMI, Kazuo HATANO,  
Yoshiyuki UCHIDA, Masayoshi UMENO, Toshisada YASUI

Abstract: This paper reports on an application of the hot zone phenomenon caused by the electric connection of copper wire. The temperature of copper part of the electric connection rises higher and a cuprous oxide is formed in the connection part. When a cuprous oxide is formed, connected condition with copper and cuprous oxide is similar in electric character with a semiconductor. The resistivity of the cuprous oxide changes to  $10^{-2}(\Omega m)$  at  $700^{\circ}C$  from  $10^2(\Omega m)$  at room temperature. The electric character of boundary layer of the cuprous oxide is similar to that of a transistor. We can conclude that a new transistor are proposed one of the applications of hot zone phenomenon using the boundary layer of copper and cuprous oxide.

#### 1. はじめに

電子機器の基本素子である半導体には、ゲルマニウムから出発して現在ではシリコンが広く使われている。これらの半導体の動作環境はせいぜい  $180^{\circ}C$  が限界といわれている。

我々は、これまで導体接続部に電流を流すと発熱発光するホットゾーン現象と呼ぶ特異な現象を見出し、この解明に取り組んできている<sup>1,2)</sup>。この過程で、銅線は一部亜酸化銅に酸化変質し、その境界層に興味ある電気特性が得られた。特に、亜酸化銅の温度-抵抗率特性の温度係数が負であること、 $700^{\circ}C$ 近傍で急激に抵抗が減少することなどの実験結果が得られた。そこで、この温度以上の高温特異環境で動作するトランジスタの開発が可能であろうと考えた。

本研究では、この半導体の基礎特性を測定する実験装置を2種類試作し、さらに画像顕微鏡による観察結果をもとに詳細な検討を行った<sup>3-6)</sup>。本報告では、まずホットゾーンの基本特性として亜酸化銅の温度-抵抗率特性ならびに電流-電圧特性を示す。そして、基礎的実験として、ホットゾーンが作り出す銅-亜酸化銅の境界の整流特性と熱起電力特性について、試作装置による実験結果を報告する。

#### 2. 亜酸化銅の温度-抵抗率特性

導体接続部の試料形状を棒状とし、周囲温度と試料両端の抵抗を測定する。電源に負荷抵抗をつなぎ、この回路の途中で導線を突き合わせにし、開閉を繰り返すと赤熱した酸化物が生成される。この状態を繰り返すと赤熱部は成長する。この過程では、赤熱部は突き合わせ部を動き回り、その動きの跡に亜酸化銅が作り出される。回路を遮断すれば生成された大きさの亜酸化銅が得られる。

ホットゾーン現象により銅線から作り出される

\*<sup>1</sup> 愛知工業大学 電気工学科 (豊田市)

\*<sup>2</sup> 愛知工業大学 電子工学科 (豊田市)

\*<sup>3</sup> 愛知工業大学 情報通信工学科 (豊田市)

\*<sup>4</sup> 名古屋工業大学 (名古屋市)

\*<sup>5</sup> (株) ネオックスラボ (豊田市)

亜酸化銅は、脆く壊れやすい性質を示す。顕微鏡観察によればガラス状の規則性を持たない構造であり、黒色をした塊である。この黒色の塊が生成される過程において、亜酸化銅の溶融状態中に電流路が形成される。

得られた棒状の亜酸化銅をニクロム線でK熱電対と一緒に加熱した。温度-抵抗率特性の実験結果をFig. 1に示す。試料の径を変えて測定した。亜酸化銅の温度係数はサーミスタと同じ負の特性を示した。径の違いによる大きな特性変化は見られなかった。

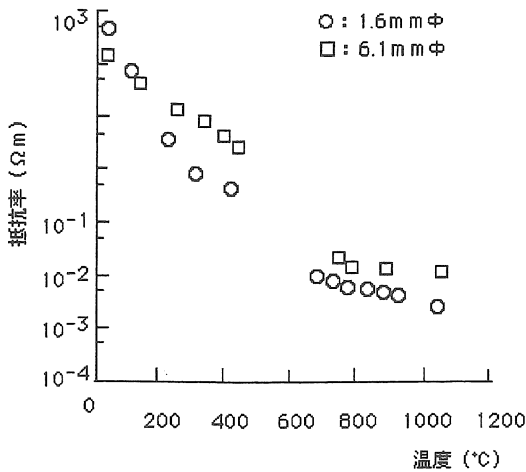


Fig. 1 亜酸化銅の温度-抵抗特性

3. ホットゾーンの非線形電流-電圧特性

ホットゾーン生成過程の電流-電圧波形に非線形特性が観察された。電源波形に三角波形を用いて詳細に測定した。実験結果から、電源の立ち上がり時に

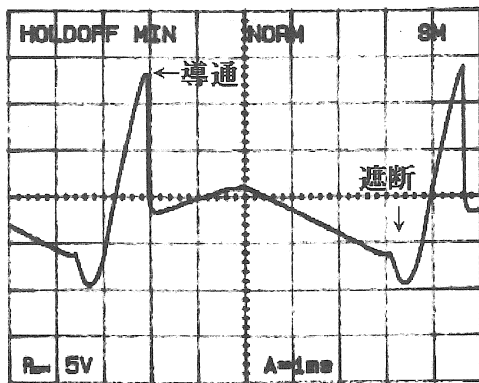


Fig. 2 三角波電源によるホットゾーン波形に一定の電圧で導通すること、そして、電源電圧の

降下時に一定の電圧で遮断することがわかった。このことから、ホットゾーンが生成され、銅から亜酸化銅に変質する際に、銅と亜酸化銅の境界領域で何らかのバリアが存在し、このバリアを導通するとき局部的高温になると考察した。このバリアは電子的にはダイオードのツェナー電圧に相当し、ダイオード構造になっていると考えられる。

Fig. 2に三角波電源によるホットゾーン電圧波形を示す。

4. 整流特性

亜酸化銅が生成されている途中の段階で、中間電極となる引き出し線を溶融部に差し込む機構をもった保持装置を作製した。AC電源を用いこの保持装置を動作させれば、中間電極の両側に銅と亜酸化銅の境界ができる。Fig. 3に保持装置の写真を示す。

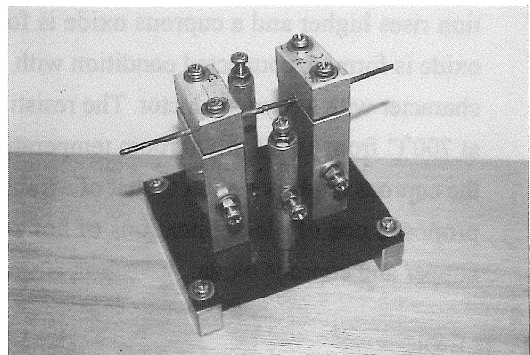


Fig. 3 整流特性測定用保持装置

バリアから亜酸化銅方向を順方向として、直流電圧を印加したときの順電流と逆電流を測定する。室温条件で測定した。電源電圧±60Vのとき順方向電流20mA、逆方向電流10mAであった。

5. 熱起電力特性

熱起電力実験では、電極の加熱と冷却を必要とするためリング形状の保持機構を試作した。Fig. 4に試作装置部品を示す。三つの部品が並列に接続され、電極に安定して接触するように作製されている。試料部では熱結合のため、アルミ削り出しのリング上に銅リングを結合させている。結合部品は銅電極と資料部を結合させるためのものである。

両電極を加熱と冷却に切り替えて、それぞれについて負荷電流を流した時と無負荷時の起電力を測定

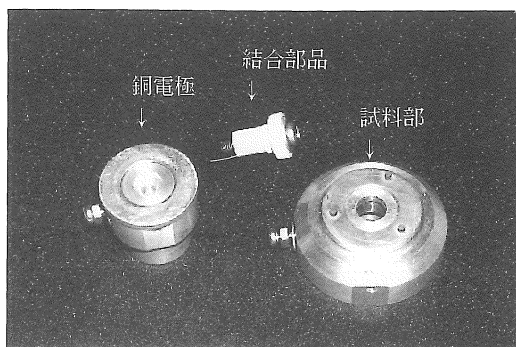


Fig. 4 熱起電力実験装置

した。バリア側を加熱，亜酸化銅側を冷却する場合を順方向加熱として取り扱った。温度範囲は室温から300℃とした。低温側は水道水による水冷とした。

無負荷起電力は温度に対して順方向，逆方向どちらも大きな差が現れなかった。平均1mV/℃である。室温25℃から300℃の間の内部インピーダンスは約2kΩから300Ωである。温度差150℃のとき負荷抵抗を変化して得られる最大電力は順方向加熱で2.5mW，逆方向加熱で5.0mWであった。

## 6. おわりに

高温条件を満たすところまで実験は進んでいないが現段階で得られた結果をまとめる。温度差約300℃における熱起電力測定結果から，ホットゾーン接合においてダイオードとしての基本特性を備えている。室温においてはダイオードの基本特性は示していない。亜酸化銅の抵抗率は700℃近傍では $10^2 \Omega \text{ m}$ に達する有用な実験結果を得ている。室温におい

ては $10^2 - 10^3 \Omega \text{ m}$ と実用化の範囲にはない。バリアのインピーダンスなどが解明されれば，内部インピーダンスの低い素子の実現が期待される。残された課題として，電極構造の最適化，銅と亜酸化銅との境界の解明，製造技術や利用技術などがある。

本研究は，本学総合技術研究所平成10年度-12年度プロジェクト研究の助成を受けた研究である。関係各位に感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 新宮，鷲見，高橋，「導体接続部におけるホットゾーン成長現象」，電気学会論文誌，Vol.106A, No.61-A63., pp.519-524, 1986.
- 2) 新宮，鷲見，内田，梅野，「直流12V回路における導体接続部のホットゾーン」，電気学会論文誌，Vol.117A, No.2, pp.186-192, 1997.
- 3) 上田，新宮，取替，内田，鷲見，「亜酸化銅-銅境界層の熱起電力」，平成10年電気学会産業応用部門全国大会講演論文集，No.1, pp.417-418, 1998.
- 4) 新宮，内田，鷲見，梅野，「導体接続部における発熱現象(三角波電源のホットゾーン波形)」，平成10年電気学会産業応用部門全国大会講演論文集，No.1, pp.443-444, 1998.
- 5) 新宮，鷲見，内田，梅野，「ホットゾーン境界層の熱影響」，平成11年電気学会産業応用部門大会講演論文集，Vol.3, pp.607-610, 1999.
- 6) 新宮，鷲見，内田，梅野，「電気回路接続部に発生するホットゾーン現象」，溶接学会溶接構造シンポジウム'99講演論文集，pp.571-576, 1999.

(受理 平成12年3月18日)