

Electrical Resistivity of Cu-Ni Multilayer Materials

Shiomi Kikuchi, Yasunori Sakagami and Keishi Nakamura

1 緒 言

電流の検出用抵抗として、バルク金属を抵抗体を使用した抵抗器の需要が大きくなってきている。一般の抵抗器に比べ電流検出用の抵抗器は、電力ロスを少しでも抑える目的で、低い抵抗値の抵抗器が使用される。そのため、抵抗器としての高精度化が要求され、特に抵抗温度係数 (Temperature Coefficient Resistance : TCR) が 0 に近いことが重要視される。

TCR が低い抵抗用合金として、銅ニッケル合金が良く使用されている。銅ニッケル系合金の特徴としては、Ni 及び Cu の配合比によって TCR が正にも負にもなることが知られている。¹⁻³⁾ 成分を変化させることで TCR を制御できるがそれにともなって電気抵抗率は一義的に決まり、TCR と電気抵抗率を個別に制御することは困難である。

そこで、本研究では Cu-Ni 合金と Cu の積層材料を拡散接合と圧延のプロセスで作製し、熱処理を施すことにより Cu-Ni 合金と Cu の界面における拡散層における合金化率の制御を行い、抵抗特性を制御することを検討した。

2 実験方法

2.1 Cu-Ni/Cu/Cu-Ni 積層材料の作製 厚さ 0.4mm の市販の Cu-Ni 合金板 (CN49 : Cu-43.5Ni) と同じ厚さ 0.4mm の純銅板をアセトンで表面を洗浄し、20mm×30mm の大きさに切断後、Cu-Ni/Cu/Cu-Ni の順に積層し、これをステンレス製の治具で挟み、ボルトで締め付けた後、石英管に入れ、真空中度 10^{-5} Pa のもと 1073K で 2h の熱処理により拡散接合させた。このサンドイッチ構造を持つ積層材料を圧延機で約 $30\mu\text{m}$ まで圧延し、5mm×50mm の大きさに切断し、Cu-Ni/Cu/Cu-Ni 積層材料の試料を作製した。

2.2 熱処理 作製した試料を石英管に入れ、真空中度 10^{-5} Pa 中で、673K~1023K の種々の温度でそれぞれ 1h~3h アニールし、電気抵抗測定用と組織観察用の試料を作製した。

2.3 電気抵抗測定 電気抵抗の測定は四端子法を用いて行った。試料を試料ホルダーにはさみ、直流電圧/電流発生器で 160mA の電流を流し、デジタルマルチメータで端子間距離 32mm で電圧を測定し、電気抵抗率を求めた。なお、電圧測定は電流方向を反転させ、その平均値を電圧値とした。また電気抵抗の温度依存性を調べるため、オイルバス中で 323K および 373K において測定を行った。

2.4 積層材料の界面組織観察 厚さ $30\mu\text{m}$ の試料を樹脂の板で挟んで固定し、積層断面をエミリー紙で研磨後、パフ研磨した。研磨後 SEM (日立 S3200) で積層界面の組織観察を行うとともに EDX (堀場 S798) による元素分析を行った。

3 実験結果および考察

3.1 積層組織 拡散接合と圧延によって作製した試

料の熱処理前の積層断面の SEM 写真を Fig.1 に示す。

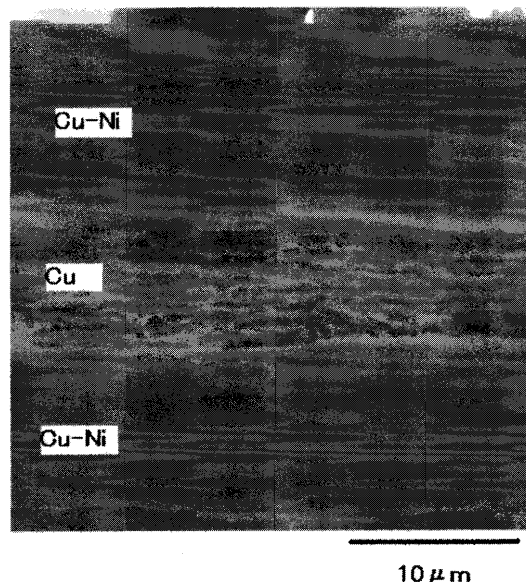


Fig.1 SEM micrograph of an as-rolled Cu-Ni/Cu/Cu-Ni multilayer material.

Cu-Ni 層に比較して Cu 層が柔らかいため、圧延による塑性加工において両層の変形量に差異ができ、Cu 層が Cu-Ni 層より厚みがわずかに薄くなっていることが写真より分かる。

この試料を熱処理すると Cu-Ni 層と Cu 層の界面において相互拡散が生じ、Cu 層中に Ni が拡散し、また Cu-Ni 層中に Cu が拡散する。この結果、Cu-Ni 層と Cu 層の界面に濃度変化を持つ拡散層が形成される。この拡散層が 573K において熱処理中に成長する様子を EDX による元素分析によって解析した結果を Fig.2 に示す。

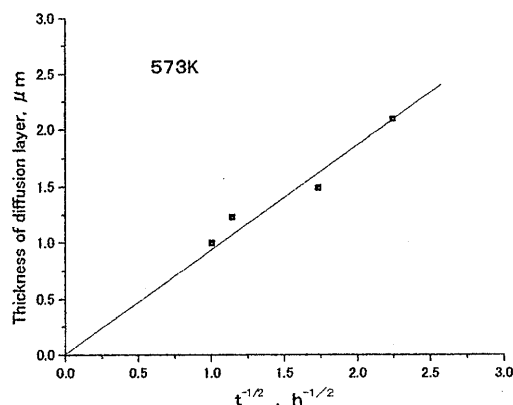


Fig.2 Growth of diffusion layers at 573K.

この結果より熱処理による拡散層の厚さ X は熱処理時間 t の平方根に比例する、いわゆる拡散による層の成長則である次式の関係を満たしている。⁴⁾

$$X = A (Dt)^{-1/2}$$

ここで D は原子の拡散係数、 A は定数である。

したがって、熱処理時間が長いほど、熱処理温度が高いほど拡散層は厚くなる。この拡散層の厚みを制御することによって電気抵抗値と TCR 値を制御する。

3.2 電気抵抗の測定 積層材料に使用した純銅と Cu-Ni 合金単体の電気抵抗率の温度依存性を Fig.3 に示す。

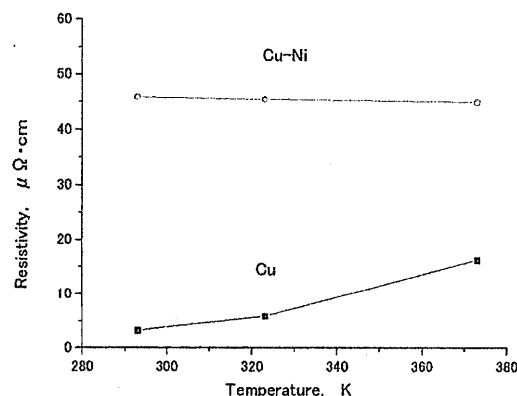


Fig.3 Temperature dependence of resistivity in Cu and Cu-Ni alloy.

純銅は温度上昇にともない電気抵抗値は増加し、Cu-Ni 合金は逆に電気抵抗値は温度上昇にともない低下することが分かる。

Cu-Ni/Cu/Cu-Ni 積層材料を種々の温度と時間で熱処理した試料の電気抵抗を測定した結果を Fig. 4 に示す。積層材料の電気抵抗値はいずれの熱処理条件においても温度依存性がかなり小さく、TCR 値は低く抑えることができています。また、電気抵抗値は熱処理条件によって変化し、熱処理温度が高いほど、また熱処理時間が長くなるほど大きくなる。このことは高温または長時間の熱処理によって Cu-Ni 層と Cu 層の界面における拡散が

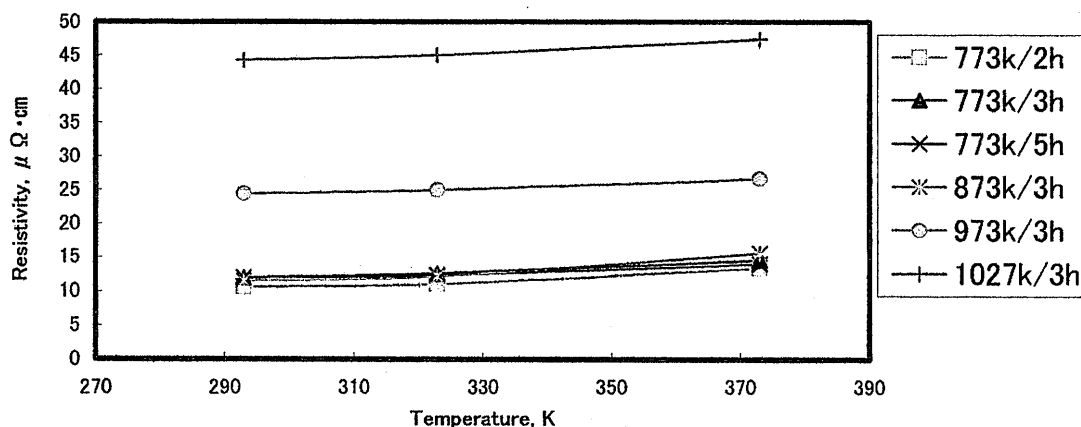


Fig.4 Temperature dependence of resistivity of Cu-Ni/Cu/Cu-Ni multilayer materials

進行し、拡散層の厚みが増したことが電気抵抗値の上昇の理由である。これらの結果より、Cu-Ni 合金と Cu を積層させ、適当な条件で熱処理を行い、Cu と Ni の拡散層を界面に生じさせ、その拡散層の厚みを制御することによって、電気抵抗値が低くて、TCR 値も小さな抵抗材料を開発することが可能であると考えられる。

4 まとめ

低電気抵抗値を持ち、かつ電気抵抗の温度依存性を示す TCR 値が小さい電気抵抗材料の開発を目指して、電気抵抗の温度依存性が正の純銅と負の Cu-Ni 合金を積層させ、Cu-Ni/Cu/Cu-Ni のサンドイッチ構造を持つ積層材料を作製した。この積層材料を 673~1073K の種々の温度と時間で熱処理を行い Cu-Ni 層と Cu 層の界面に拡散層を形成させた。これらの積層材料について電気抵抗測定を行った結果、熱処理条件によって、電気抵抗の温度依存性を示す TCR 値と電気抵抗値は変化し、適当な熱処理条件を選択すれば、TCR 値が低く、かつ電気抵抗値の低い抵抗材料を開発できることを示した。

謝辞

本研究の遂行にあたってご支援をいただいた KOA(株)の山岡悦二氏並びに吉岡忠彦氏に感謝します。

参考文献

- 1) R.W.Houghton, M.P.Sarachik, J.S.Kouvel, J.S.: Phys.Rev.Lett. 25, 238(1970).
- 2) R.W.Houghton, M.P.Sarachik, J.S.Kouvel, J.S.: Solid St. Comm. 8, 943(1970)
- 3) K.Nakamura and S.Kikuchi: J. Japan Inst. Metals, Vol. 70, 250(2006),
- 4) D.A.Porter and K.E.Easterling, Phase Transformations in Metals and Alloys, CRC Press, 74(2001).