

酸化物超伝導体-銅ブロック間の接触熱抵抗

電子材料学講座 池部研究室 入江剛

1、 序論

池部研究室では、今まで任意加熱法を用いて二点法により低温における試料の熱拡散率 α を測定してきた。だが、試料と熱浴との間に生じる接触熱抵抗 R_c の影響によって 50K 以下の低温領域で α を小さく見積もってしまうため、 R_c を考慮した三点法を提案し、 R_c の定量化とより正確な α 及び比熱 $C = \kappa / \alpha$ (κ :熱伝導率)の算出を行ってきた。この R_c について簡単に述べる。相接する2つの固体の接触面に直角な方向の1次元(x方向)熱伝導を考える。このときの熱流量を Q とする。この固体接触面における熱移動現象を巨視的に見れば有限な大きさの温度の飛躍 ΔT が存在する。このとき、接触面に有限の大きさの熱抵抗 R_c が存在すると見なし、x方向の1次元熱伝導を考えると、 $Q = \Delta T / R_c$ となる。この R_c [K/W] を接触熱抵抗と定義している。本研究の目的は、酸化物超伝導体 (YBCO) と銅ブロック間の接続方法をインジウム半田、銀ペースト、ワニスの3種類について R_c を上記の定義に従って求め、三点法で求めた R_c と比較することである。

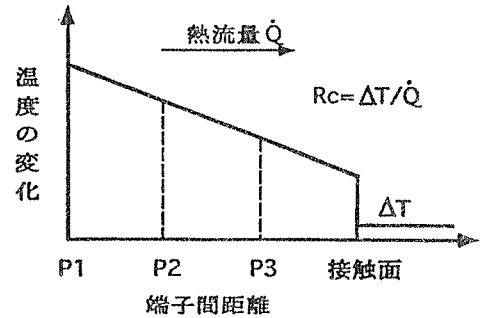
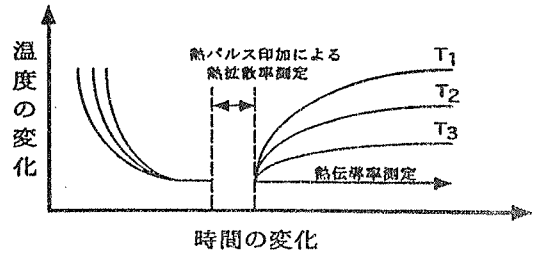


図1 定常法の測定

2、 実験方法

定常法での R_c は次のようにして求めた。温度を定常状態にして温度差用ヒーターに一定の熱量 Q を印加し、試料の温度が定常状態になったら温度勾配を測定する。なお温度差 ΔT は、 $0.9K < \Delta T < 1.2K$ の範囲になるようにヒーター電流を調節した。この温度勾配が縦軸で横軸を T_1, T_2, T_3 の端子間距離とした関数(図1)から ΔT を求めた。そこで $R_c = \Delta T / Q$ [K/W] の式から接触熱抵抗を求める。

3、 実験結果

図2に介在物がそれぞれ、インジウム半田、銀ペースト、ワニスでYBCOをコールドヘッドに接着した場合の κ の温度依存性を示す。この図から接続方法が異なっても κ は一致し、 R_c の影響を受けないことがわかった。図3に介在物がインジウム半田で、定常法で求めた R_c の温度依存性を示す。50K以上の温度範囲では、ばらつきはあるが R_c は、ほぼ一定で、それ以下の温度範囲では温度の低下

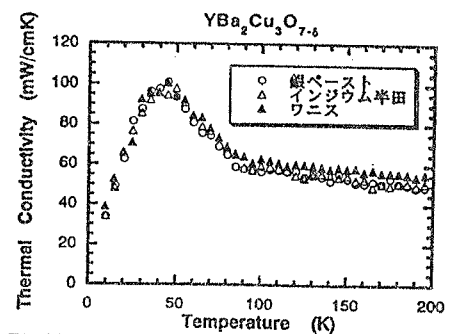


図2 介在物がインジウム及び銀ペースト、ワニスの熱伝導率の温度依存性

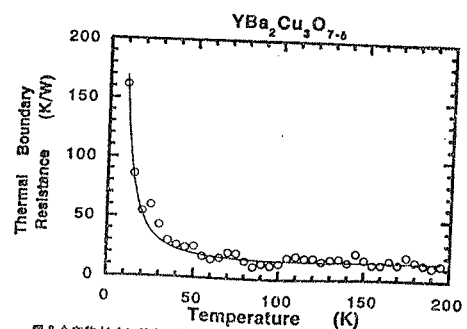


図3 介在物がインジウム半田で定常法で求めた熱抵抗の温度依存性

とともに R_c が急激に増加している。介在物が銀ペーストの場合はインジウム半田の場合と同じような増加をしている。図4に介在物がワニスで、定常法で求めた R_c の温度依存性を示す。50K 以上の温度範囲では、 R_c は温度の低下とともにゆるやかに増加し、それ以下の温度範囲では温度の低下とともに R_c が急激に増加している。 R_c の大きさを比較すると、インジウム半田は銀ペーストよりもやや大きい、ワニスはインジウム半田よりも約20倍大きい。またどの場合も50K 以下の温度範囲では温度の低下とともに R_c が急激に増加している。図5に介在物がインジウム半田で、三点法で求めた R_c の温度依存性を示す。この図より、110K 以上の温度範囲では R_c がとても小さく、それ以下の温度範囲では温度の低下とともに R_c が急激に増加している。介在物が銀ペーストの場合は90K 以上の温度範囲では100K を除いてインジウム半田の場合と同じ値で、90K 以下の温度範囲でもほぼ同じような値になる。それに対してワニスの場合は、110K 以上の温度範囲では100~250 ぐらいで、それ以下の温度範囲では温度の低下とともに急激に上昇する。 R_c の大きさを比較するとインジウム半田と銀ペーストはほぼ同じ大きさで、ワニスは100倍くらい大きい。また銀ペーストを除いて110K 以下の温度範囲で R_c が急激に増加している。そして3点法で R_c を測定すると、定常法の場合より高い温度から R_c が急激に増加するといえる。

図6に介在物がそれぞれ銀ペースト、インジウム半田、ワニスの α の温度依存性を示す。この図より R_c が一番大きいワニスはインジウム半田や銀ペーストより α が小さく、特に50K 以下の温度範囲で小さく見積られる。

4、 結論

R_c は温度が低下するとともに急激に増加する。三点法で R_c を測定すると定常法の場合より高い温度から R_c が急激に増加する。介在物がワニスでの R_c は、インジウム半田や銀ペーストと比較して非常に大きい。 α は R_c の影響を受けてしまうが、 κ は R_c の影響を受けない。

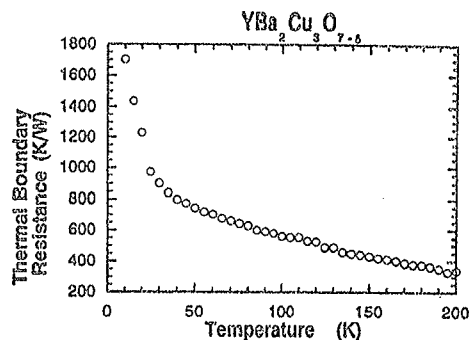


図4 介在物がワニスで定常法で求めた接触熱抵抗の温度依存性

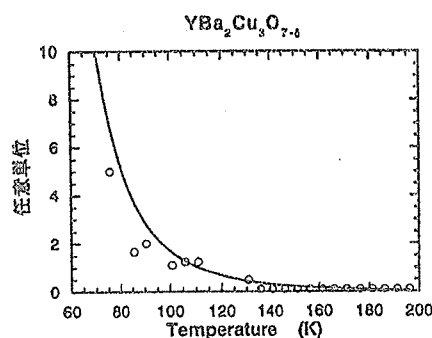


図5 介在物がインジウム半田で3点法で求めた接触熱抵抗の温度依存性

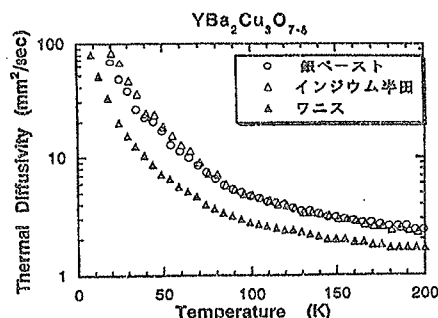


図6 介在物がそれぞれ銀ペースト、インジウム半田、ワニスの熱拡散率の温度依存性