

3点法による熱拡散率測定と接触熱抵抗に関する研究

池部研究室 三上 徹也

<序論>

これまで池部研究室では、試料の熱伝導率 κ の決定は定常法で、熱拡散率 α の決定は、熱パルスの印加による非定常法（任意加熱法）で行い、試料と熱浴の間に存在する接触熱抵抗 R_c を無視できるとしてきたが、特に低温領域で接触熱抵抗が無視できず、特に低温領域で $C = \kappa/\alpha$ という関係式を用いて算出した比熱 C に誤差が含まれる場合があった。そこで本研究では、より正確な α の決定と同時に接触熱抵抗 R_c の決定が可能な新たな熱拡散率測定法（3点法）を用いてY系酸化物超伝導体の測定を行った。

<実験>

熱伝導率 κ と熱拡散率 α の準同時測定装置をFig.1に示す。試料の一端は銅ブロックにインジウム半田もしくはワニスを用いて熱的に接触させ、他端には抵抗ヒーターを熱的に接触させた。ヒーターからの熱が試料からCold Head側に一方向に流れると仮定すると、次の一次元の熱拡散方程式が成り立つ。

$$dT/dt = \alpha (d^2T/dx^2)$$

T : 温度 α : 熱拡散率

t : 時間 x : 距離

この式をクラーク・ニコルソン法を用いて近似差分方程式にし、 P_1 での測定温度 $T_1(t)$ 及び今までは無視してきた接触熱抵抗 R_c を境界条件として代入し、 n 次元線形代数方程式に書き換えて、熱拡散率 α と接触熱抵抗 R_c の決定をFig.1のように行った。

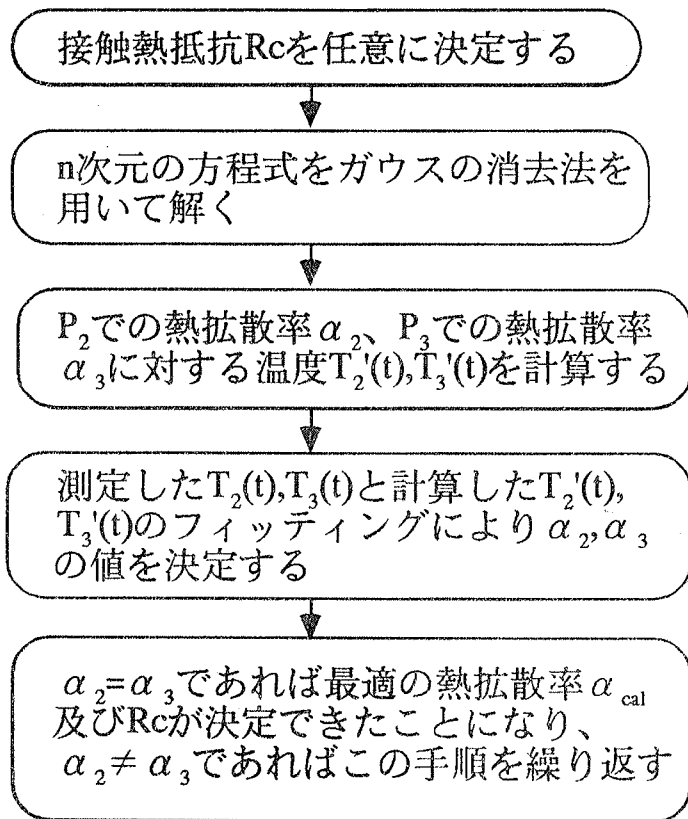


Fig.1 R_c と補正された α_{cal} の決定方法

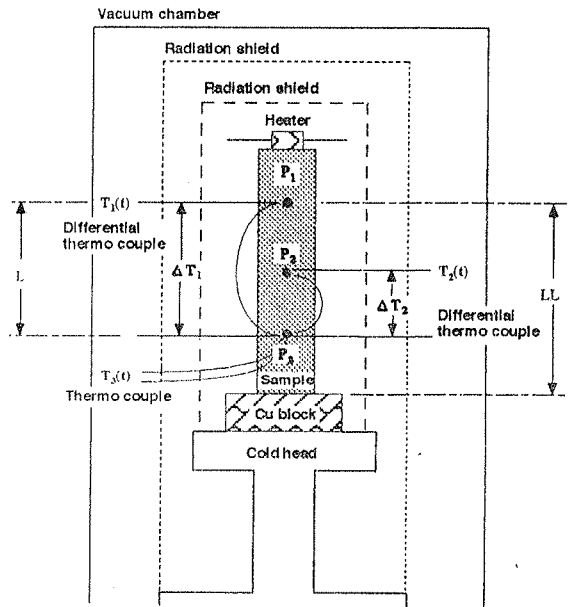


Fig.2測定装置（3点法）

<結果>

Fig.3に $\text{YBa}_2(\text{Cu}_{1-x}\text{Fe}_x)_3\text{O}_{7-\delta}$ ($x=0.02$ $\delta=0.3$) 試料の P_2, P_3 での熱拡散率 α_2, α_3 の温度依存性を示す。 α_2, α_3 は接触熱抵抗を無視した場合($R_c=0$)のもので、高温領域では α_2, α_3 とも一致しているが、温度を下げていくと α_2 は α_3 より大きくなっていく。これはCold Headに近い α_3 のほうが接触熱抵抗の影響が大きいことを示している。ここで実験で述べた手順を行い、最適の α_{cal} と R_c を求めた。補正された α_{cal} をFig.3に、 R_c をFig.4に示す。 R_c は T の3乗に逆比例していると仮定して計算した。この過程はカピッツァ抵抗の温度依存性も T の3乗に逆比例していることから妥当だと思われる。Fig.5に比熱 $C_2(\kappa/\alpha_2), C_3(\kappa/\alpha_3)$ と、前述で得た α_{cal} より修正した $C_{\text{cal}}(\kappa/\alpha_{\text{cal}})$ 、及びデバイの比熱式も示した。 C_2, C_3 はデバイ温度(400K)の場合に低温領域では一致しないのに対して、 C_{cal} は低温領域でも良くフィットしている。これらの結果から、熱拡散率を精度良く求めるには、接触熱抵抗は無視する事は出来ず、3点法を用いることにより熱拡散率を精度良く決定することが可能であることが分かった。

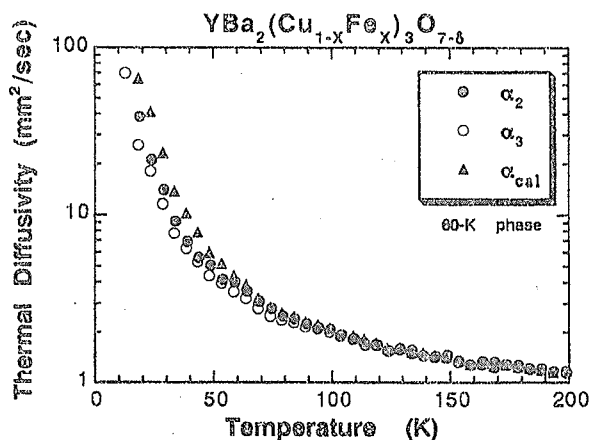


Fig.3 高温領域で値は一致しているが低温領域では誤差が生じている

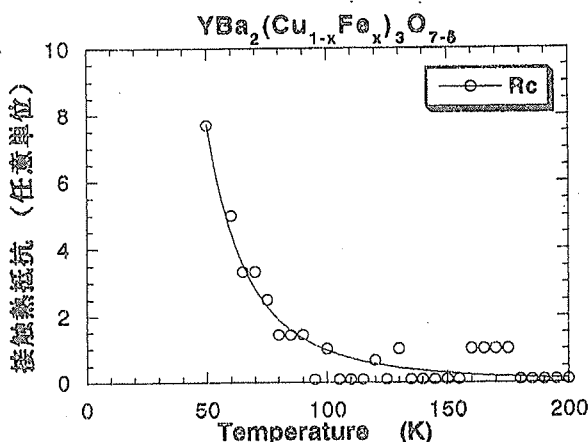


Fig.4 $\alpha_2 = \alpha_3$ になるときの R_c の値を接触熱抵抗とした

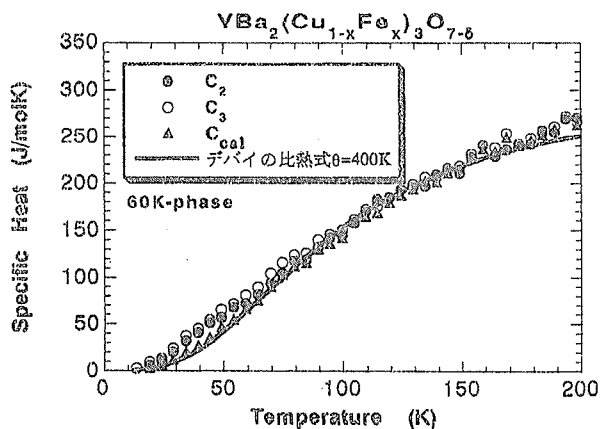


Fig.5 C_2, C_3 はデバイの比熱式に高温領域では一致しているが低温領域だと一致しない。対して C_{cal} は低温になっても一致している