

1 B - 1 3 酸化物超伝導体の熱拡散率と比熱に関する研究

池部研究室 中里 規実生

(序論)

物質の比熱Cは一般的には断熱法や熱緩和法などで求められている。小さい試料の比熱を測定するには熱緩和法が適している。この方法は、熱伝導率が既知の熱リークを用い、熱的な緩和時間から比熱を求めるという方法である。これまで池部研究室では、試料の熱伝導率κを定常法で、熱パルスの印加による非定常法で熱拡散率αを同時に測定し、C = κ / αという関係式を用いて比熱を求めてきた。本研究では、新たに、従来の熱緩和法で用いられる熱リークを試料自体として熱的な緩和現象から比熱を求め、従来行われてきた熱パルスによる非定常法と比較した。また試料と熱浴の間に生じる熱抵抗についても検討を行った。

(実験)

熱伝導率κと熱拡散率αの自動測定装置をFig. 1 に示す。試料の一端は銅ブロックにインジウム半田を用いて熱的に接触させ、銅ブロックとヘリウム冷凍機のCold Head の熱的コンタクトを良くするため、アピエゾンNグリースを接触面に薄く塗布してある。他端には抵抗ヒーターを熱的に接触させた。Au(Fe)-クロメル熱電対は、P₁、P₂、P₃の測定のために試料に熱的に接触させた。熱伝導率κは、

κ = LQ / (ΔT · S) (1)

Q : 熱流 L : 端子間距離
ΔT : 温度差 S : 試料の断面積

と定義される。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 = α (dT² / dx²) (2)

T : 温度 α : 熱拡散率
t : 時間 x : 距離

(2)式をクラック・ニコルソン法を用いて近似差分方程式にし、これに境界条件、初期条件を代入すると、(2)の微分方程式はn元の線形代数方程式に書き換えられる。この方程式をガウスの消去法を用いて解くことで任意のt、xにおける温度T(t, x) を様々な熱拡散率αに対して計算することができる。

Fig. 2 にκ、αの測定シーケンスを示す。熱パルス法では、3秒間、4 mAの電流パルスヒーターに印加した後の温度変化T₁(t)、Cold Head側の温度T_{cold}(≒ 0)を境界条件として、P₂点での温度変化の理論値T₂'(t)を計算し、T₂(t)とT₂'(t)の誤差の二乗和の最も小さい場合のαを熱拡散率として決定した。熱緩和法では、熱伝導率測定後(ヒーターはoff)T₁、T₂、T₃が設定温度に減衰するときのデータを使用し、T₁(t)とT_{cold}を境界条件とし、P₂点での温度変化の理論値T₂'(t)を計算し、T₂(t)とT₂'(t)の誤差の二乗和の最も小さい場合のαを熱拡散率として決定した。これらの方法で求めたκ、αより次式を用いて比熱Cを求めることができる。

κ = C · α (3)

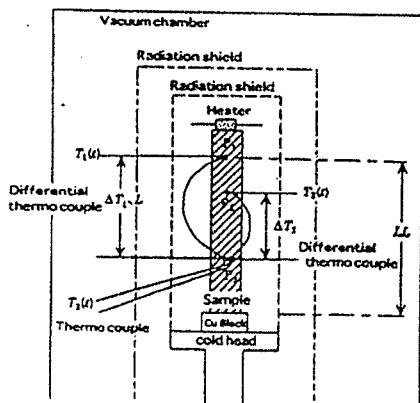


Fig. 1

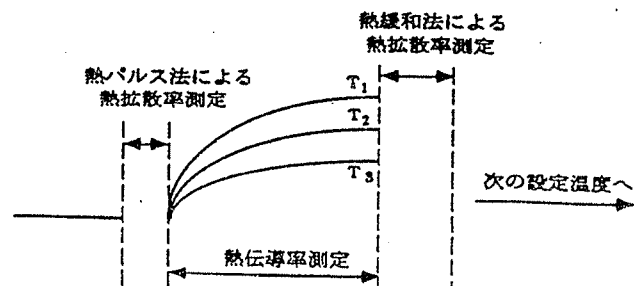


Fig. 2

(結果)

固体間(本研究では試料と熱浴[銅ブロック])の接触面を通じて熱が流れる場合、接触面があたかも温度の不連続面となり両者の接触面の表面温度に温度差つまり熱抵抗が生じることがある。この熱抵抗の影響を少なくするために P_1 、 P_2 、 P_3 をできるだけヒーター側に付け、 α を測定した。

Y系酸化物超伝導体(T_1 からCold Headまでの距離 L :23.4mm)の熱伝導率、熱拡散率の温度依存性をFig.3に示す。この試料の超伝導転移温度 T_c は90K付近であり、熱伝導率において200Kから T_c までは温度減少とともにわずかに増加し、 T_c 以下で急増し、50K付近で極大値を取り、それ以下で減少している。熱パルス法で測定された熱拡散率においては、200Kから T_c までは温度減少とともにわずかに増加し、 T_c 以下で急増した。次に境界条件を変えて α を決定してみたが70K以上では α がほぼ一致し、それより低い温度では α に誤差が生じた(Fig.4)。このことから70Kより低い温度では熱抵抗が存在する可能性があり、その温度以上では熱抵抗の影響をほとんど受けずに熱拡散率を測定できたと思う。また(3式)を用いて比熱を求めた(Fig.5)。

この試料の T_c 付近における熱パルス法と熱緩和法で測定された熱拡散率の温度依存性をFig.6に示す。どちらとも温度減少とともに α がわずかに増加し、その値もほぼ一致している。熱パルス法では熱抵抗の影響が比較的少ないと考えられ、熱緩和法は減衰カーブを用いフィッティングを行うので、熱パルス法より熱抵抗の影響が比較的大きいと考えられるが、結果がほぼ一致するという事は測定点をヒーター側に付けることによって熱抵抗の影響をほとんど受けずに熱拡散率を測定できたと考えられるし、またこのY系酸化物超伝導体と熱浴との間に生じる熱抵抗は極めて小さいとも考えられる。今回開発された熱的な緩和時間から熱拡散率を求める熱緩和法でも熱拡散率を求め得ることが分かった。

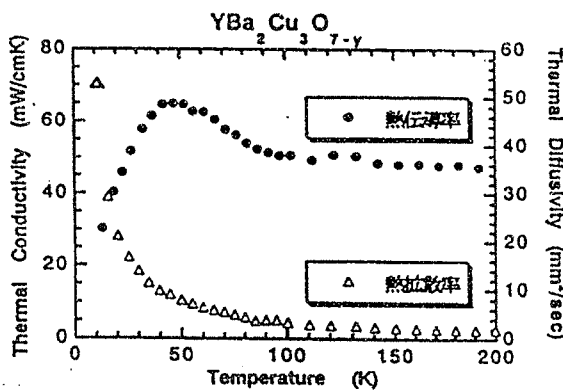


Fig. 3

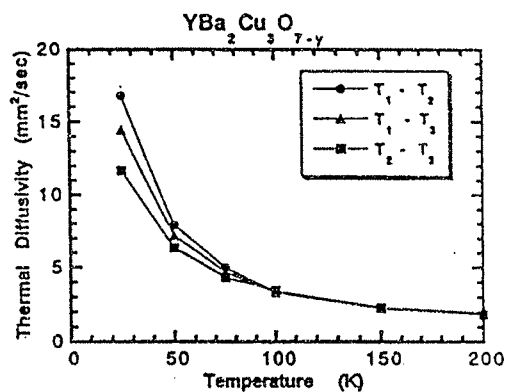


Fig. 4

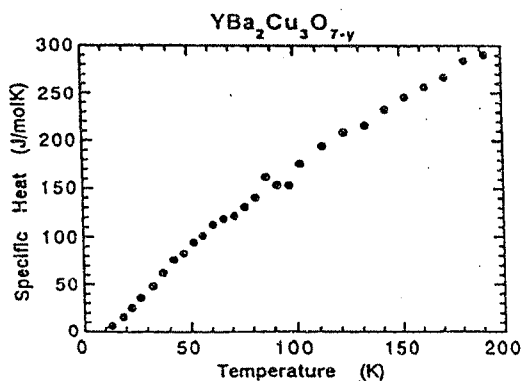


Fig. 5

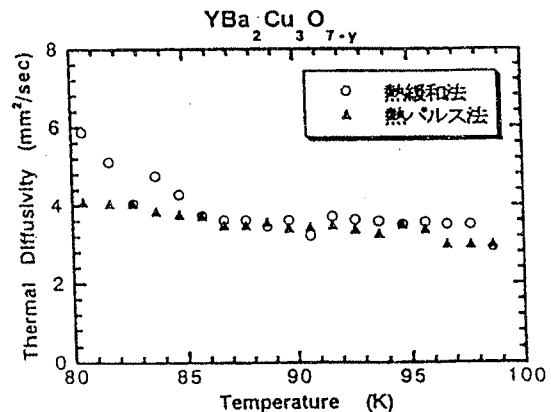


Fig. 6