

3 B - 5 酸化物超伝導体の熱拡散率に関する研究

池部研究室 内藤智之

はじめに

超伝導体の熱伝導率、熱拡散率などの熱係数は物理学的、応用上両面で重要な量である。今回の測定に用いた試料は、酸化物超伝導体 $\text{Bi}_{1.05}\text{Pb}_{0.35}\text{Sr}_{1.90}\text{Ca}_{2.05}\text{Cu}_{3.05}\text{O}_x$ 焼結体 (超伝導転移温度 $T_c=110\text{K}$) である。測定は、能登研が中心となって開発した He 冷凍機を用いた熱伝導率自動測定装置に、自作した熱拡散率測定プログラムを加え、熱伝導率は定常熱流法で、熱拡散率は非定常熱流法で求めた。

理論

一般的に、熱が一方向に流れていると仮定した場合、熱拡散率は式(1)の一次元の拡散方程式を解くことにより求めることができる。

$$d T / d t = a (d^2 T / d x^2) \quad T : \text{温度} \quad \dots (1)$$

$a : \text{熱拡散率}$
 $t : \text{時間、} x : \text{距離}$

この研究では、計算機を用いて数値解析により熱拡散率 a を求める方法を開発した。

例えば、図1のように有限の長さ L の棒が $x=L$ でヒートシンクに接している。時刻 $t=0$ で $x=0$ に T_A (K) の定熱源を密着させた場合の棒の温度の過渡的振る舞いを解析する場合を考える。このとき、入力ステップ関数である。

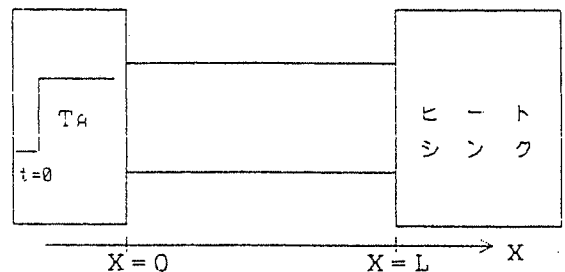


図 1

実行手順としては、温度分布の空間を時間刻み幅 Δt (刻み数 i)、空間刻み幅 Δx (刻み数 j) で刻み、格子点をつくる ($u [i, j]$ とおく)。これをクランク-ニコルソン法を用いて、式(2)のように陰的 (未知の格子点の値を、現在の既値の格子点の値と未知の格子点の値の両方で表す) な差分をとり、近似差分方程式をつくる。

$$(1+C) u [i, j+1] - (C/2) (u [i-1, j+1] + u [i+1, j+1]) = (1-C) u [i, j] + (C/2) (u [i-1, j] + u [i+1, j]) \quad \dots (2)$$

但し、 $C = a \Delta t / (\Delta x)^2$

これに境界条件 (この場合、 $u (0, t) = T_A$ である) を考慮すれば、 i 次の線形代数方程式となる。

この i 次の線形代数方程式をガウスの消去法により解くことで任意の入力温度 T_A 、及び熱拡散率 a に対する $T (x, t)$ を得る ($a=1$ の場合を図2に示す)。

これより、任意の場所 ($0 \leq x \leq L$) の $T-t$ 曲線が得られる。

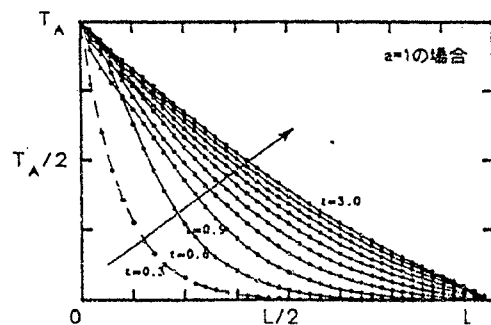


図 2 拡散方程式の数値解の一例

一方、ヒーターにパルス的にパワーを入れることにより、熱伝導率測定と同一の実験配置のもとでT-t曲線(この場合、Lは試料の全長、xは熱電対の場所)を測定する。これに先の理論値をフィッティングすることにより各温度における熱拡散率aを決定できる。

実験方法

温度を安定させた後、ヒーターにパルス状の電流を印加し、任意の2点で熱電対により温度変化を測定した。熱電対1の温度変化(T1とする)を入力として、熱電対2のプロファイル(T2とする)について検討を行った。

手順としては、先ず、実測値を温度の最大値と最小値の差で規格化する。次に、T1を入力として様々な熱拡散率aに対して理論値を求める。この理論値を用いてT2に対してフィッティングを行い、熱拡散率aを決定した。

結果

熱拡散率aと温度Tの関係を図3に示す。Tcでaの値に異常が認められた。図からTc以下でaの値の変化の割合が変わっているのがわかる。又、得られたaの絶対値は、他の報告例とほぼ一致している。

一方、定常法で測定された熱伝導率κと温度Tの関係を図4に示す。熱伝導率κと熱拡散率aから、比熱Cの値が次式

$$\kappa = C a$$

κ : 熱伝導率

C : 比熱

a : 熱拡散率

から得られる。このCの値を温度の関数として図5に示す。他の報告例と比較すると、絶対値は、ほぼ一致する。しかし、比熱CのTc付近での不連続は、現在までの検討では確認できなかった。

又、式(3)と次式

$$\kappa = (C v l) / 3$$

v : 音速 (既値)

l : 平均自由行程

から平均自由行程lも直接求められる。

従って、同時測定によりκとaを測定することで、比熱C及び平均自由行程lの値を直接評価できることがわかった。

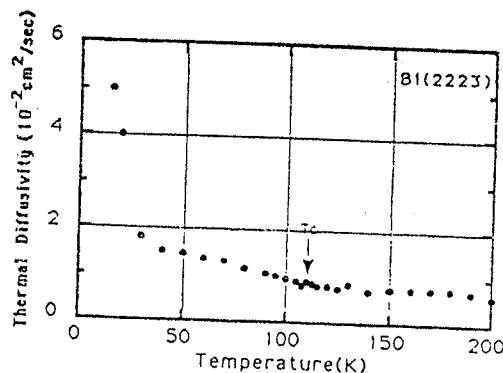


図3 a-T Curve

$$\dots (3)$$

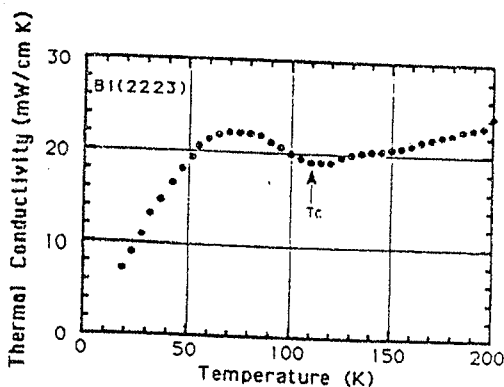


図4 κ-T Curve

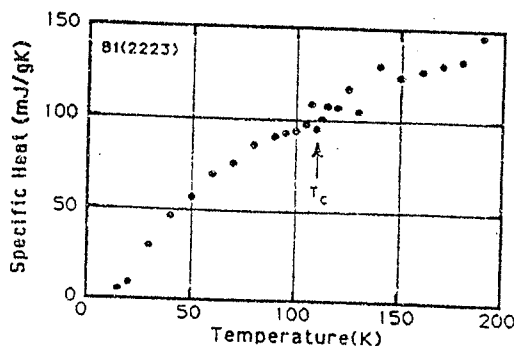


図5 C-T Curve

3 F

1. いるするゲ-装置 8 C

2.

温用使いが-製のを使い-料に変化圧計で、密なの平るた張り石英は定温た。