

Ag+YBCO系のパーコレーション伝導とモデル解析

池部研究室 湊 洋一

1、はじめに

酸化物高温超伝導体に銀を添加すると、超伝導特性を壊すことなく超伝導体の機械的強度が増し、耐水性も良くなる。更に臨界電流密度 (J_c) やピン止め力を向上させる効果があると報告されている。今までに池部研究室では、YBCO酸化物超伝導体に銀を40wt%まで添加し、その輸送現象を研究してきた。今回、YBCO酸化物超伝導体に銀を50,60,70,80wt%添加して、この複合体の電気抵抗率を測定し、銀の添加量と電気抵抗率の温度依存性の関係を調べた。更に、銀のパーコレーション伝導をよりはっきり見るために、クエンチした試料の電気抵抗率の測定も行った。また、以前に池部研究室で測定したYBCOの試料とYBCO+Ag(10~40wt%)の試料とAg+0.085at.%AuとAg+0.22at%Au試料の測定値をもとに、銀の添加量と試料の銀の密度(RRR:residual resistance ratio)の関係を調べる目的で、熱伝導率のモデル解析を行った。

2、実験方法

i) 電気抵抗率の測定

今回測定した試料は、超伝導性YBCO合成粉に酸化銀を添加したものをを用いた。試料の作製方法は、YBCOの粉末に酸化銀を50~80wt%の間で添加して混合したものを圧縮し、これを550℃で15時間仮焼きし、更に粉砕、圧縮し、925℃で30時間本焼きした。YBCOの酸素量を減少させ銀との抵抗率差を大きくするためのクエンチは、900℃と800℃の電気炉の中に試料を1時間入れ、すばやく液体窒素中に入れて急冷しておこなった。電気抵抗率の測定は、四端子法でおこなった。

ii) 熱伝導率のモデル解析

まず、YBCO試料中のAgの分布状態については、次の2種類があると考えられる。

- ・ YBCO結晶粒内に「点在した形」で存在
- ・ YBCO結晶粒界に「連続的な形」で存在

以上2点に基づき今回のモデルは、図1のように一辺Lの立方体を用いた。

Agが結晶粒内に存在する部分を中央の立方体(一辺D)に集結させ、結晶粒界に存在するAgをx, y, z各三方向に伸びる柱(断面の一辺A)として配置したものである。

Agの柱と中央の立方体への振り分け割合を、

$$\begin{aligned} \text{柱} : \text{立方体} &= V : 1 \\ \alpha &= \frac{A}{L} \quad , \quad \beta = \frac{D}{L} \quad \text{とおく。} \end{aligned}$$

Agの総体積

$$12A^2L - 16A^3 + D^3 \quad \dots \dots \dots V_{Ag}$$

YBCOの総体積

$$L^3 - (12A^2L - 16A^3 + D^3) \quad \dots \dots \dots V_Y$$

Agの添加量をP(wt%)、Ag、YBCOの密度をそれぞれ σ_{Ag} 、 σ_Y とおく。

$$P(\text{wt}\%) = \frac{\varpi_{Ag}}{\varpi_{Ag} + \varpi_Y} * 100 = \frac{\sigma_{Ag} * V_{Ag}}{\sigma_{Ag} * V_{Ag} + \sigma_Y * V_Y} * 100$$

Ag、YBCOの熱伝導率をそれぞれ κ_{Ag} 、 κ_Y 、合成熱抵抗を W 、モデルの熱伝導率を κ 、各領域の熱抵抗及び寸法を図2のようにおく。

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{W_{Ag1} + W_{Y1}} + \frac{1}{W_{Ag2}} + \frac{1}{W_{Y3}} + \frac{1}{W_{Ag4} + W_{Y4}} = L * \kappa$$

以上の式を用いて、以前に測定した熱伝導率の80K,100K,150Kでのデータを使い、最小二乗法より最も誤差の小さい α 、 β 、 V を導き、その値を用いて熱伝導率を計算し、計算によって求めた熱伝導率のグラフと以前に測定した熱伝導率のグラフを比較し、銀の純度を推定した。

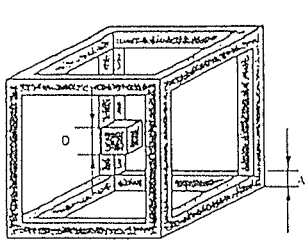


図1 モデル(一辺しの立方体)

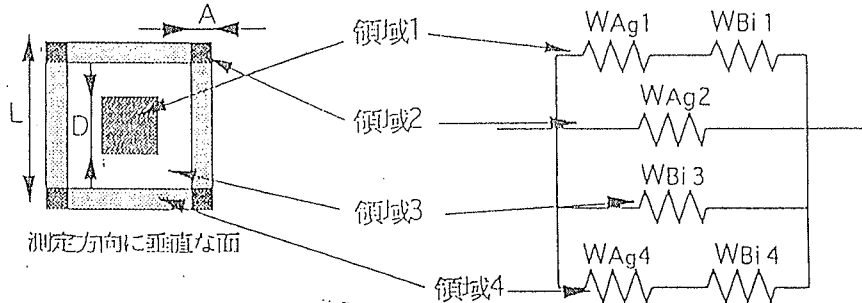


図2 モデルの各領域での熱抵抗

3. 実験結果と解析

i) 電気抵抗率の測定

今回の測定では、nonQ, 900°CQ, 800°CQの試料それぞれ、Agの添加量が増えるにつれ抵抗率の低下が見られた。しかし、クエンチしない試料と900又は800°Cでクエンチした試料の測定値にはほとんど違いが見られなかった。これは、以前に測定したAgを10~40wt%添加した試料の電気抵抗率のデータを参考に考えると、Agの添加量約15vol%(しきい値)ですでにパーコレーション転移が起きているためであると思われる。

ii) 熱伝導率のモデル解析

今回測定した計算データと以前に測定したデータを比較してみると、YBCO+Ag(10wt%)の測定値のグラフは、Ag+0.22at.%Au(RRR=15)とYBCOの測定値を用いた計算データのグラフにほぼフィットした。(図3)逆に、YBCO+Ag(35wt%)の測定値のグラフは、Ag+0.085at.%Au(RRR=37)とYBCOの測定値を用いた計算データのグラフに近くなり(図4)、YBCO+Ag(40wt%)の測定値のグラフはその計算データのグラフを上回った。

4. まとめ

AgのRRRとAgの濃度の関係を図5に示す。今回の熱伝導率のモデル解析より、YBCOへのAgの添加量が多くなるにつれ、Agの純度が高くなること分かった。

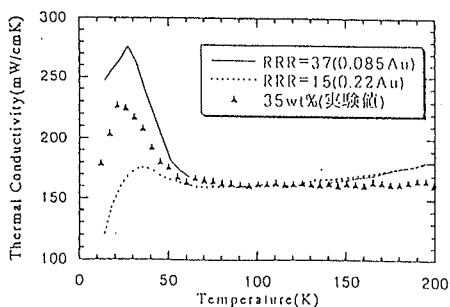


図4 理論値と実験値の比較(35wt%)

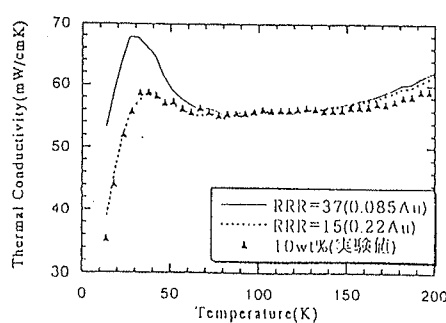


図3 理論値と実験値の比較(10wt%)

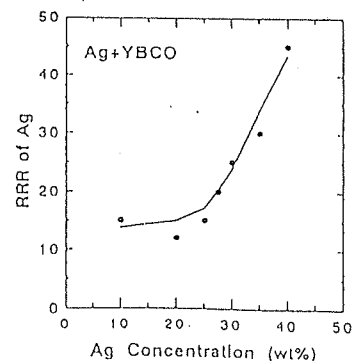


図5 銀のRRRと銀の濃度の関係