

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、さらに適量の臨界電流密度(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。今回、YBa₂Cu₃O₇酸化物超伝導体に銀を50wt%まで添加して、この複合体の電気抵抗率と J_c を測定した。さら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。この結果をパーコレーション理論を用いて解析した。

2. パーコレーションとは

例として正方格子を考える。格子点に石をランダムに置き、上下または左右で隣り合った石同志がつながるものとする。(図1)この石のことをクラスターと呼ぶ。さらにランダムに石を添加していくと、ある割合に達すると上下または左右の端から端がつながる。

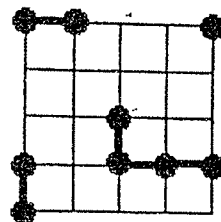


図 1

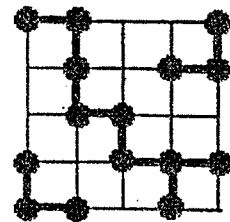


図 2

(図2)このことをパーコレーション転移といい、この臨界濃度をしきい値(f_c)と呼ぶ。パーコレーション転移は相転移の一種と考えられている。

3. 実験方法

今回測定した試料は、YBa₂Cu₃O₇酸化物超伝導体に銀を添加したものをを用いた。試料の作成方法は、YBCOの粉末に銀を0~50wt%の間で添加して混合したものを圧縮し、これを935℃で24時間焼結した。さらに粉碎、圧縮し、935℃で30時間焼結し炉冷して作成した。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℃の電気炉の中に試料を1時間入れ、すばやく液体窒素で急冷して行った。クエンチされた試料は超伝導性を示さない。

電気抵抗率の測定は四端子法で行った。各端子にはIn半田で銅線のリード線を取り付けた。試料サイズは約2mm×3mm×10mm くらいの大きさの試料で測定した。

4. 実験結果と解析

図3に電気抵抗率の温度依存性を示した。YBCOの臨界温度(T_c)は約90Kで、銀含有量が増加しても T_c はどの試料も変化しないことがわかる。また、銀の添加によって常伝導状態の電気抵抗率が減少していることがわかる。

100Kにおける電気伝導率の銀含有量依存性では、約15vol%付近でなだらかではあるが電気伝導率に変化が存在する。図4にクエンチした試料の100Kでの電気伝導率の銀含有量を示す。これをみると約15vol%付近で大きく変化していることがわかる。このように電気伝導率が変化する原因は、銀含有量がしきい値を越えて、無限大の銀クラスターを形成して電気伝導に寄与しているためと思われる。図5に77Kでの J_c を示した。銀の添加に伴い J_c は高くなっているが、

約10vol%を越えると落ち込むことがわかる。

一般に3次元のパーコレーション理論によると、金属-絶縁体混合物の電気伝導率はつぎのようなべき乗則で表される。

$$f > f_c \text{ のとき } \sigma \propto (f - f_c)^t \quad f_c : \text{しきい値}$$

$$f < f_c \text{ のとき } \sigma \propto (f_c - f)^{-s} \quad f : \text{銀の体積分率}$$

今回の試料を金属-絶縁体構造と仮定して、実験結果からクエンチなし、クエンチした試料の100Kのときの電気伝導率の f_c を15vol%と推測し、 $|f-f_c|$ を関数とした電気伝導率のプロットを実験値と比較した。(図6) 実験結果は理論曲線にほぼ重なっていることがわかる。この傾きから臨界指数 s, t を求めると、クエンチなしの試料で0.57、1.03でクエンチした試料で1.17、1.75となる。 s と t の3次元における一般的な値はそれぞれ0.7、2といわれている。クエンチなしの s はそれにちかい値を示すが t は大きくずれている。クエンチした試料の s は大きくなっているがこれはデータ数が少なく、またクエンチの際のクエンチ条件の誤差でずれたと考えられる。 t はより一般的な値に近づいていることがわかる。

つぎにパーコレーションモデルを考え、 f_c と t を用いて電気伝導率の理論値を求めた。ただし、銀の抵抗率は $1.014 \times 10^{-3} \text{ m}\Omega \text{ cm}$ とする。(図7) これを見ると、理論値と実験値はほぼ重なっている。このことから t の値は妥当であるといえる。したがって超伝導体の t は一般的な値より小さくなるといえる。

5. まとめ

Ag添加YBCO酸化物超伝導体の抵抗率を測定しパーコレーション理論を用いて解析をしたが、しきい値は15vol%と概算される。したがってこの系は、3次元パーコレーション理論でよく説明できる。

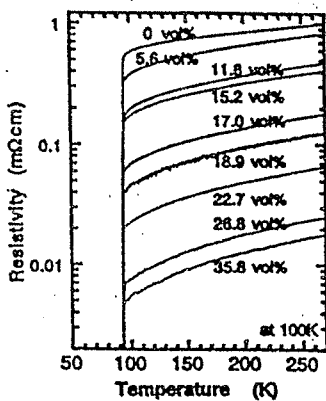


図3 抵抗率の温度依存性

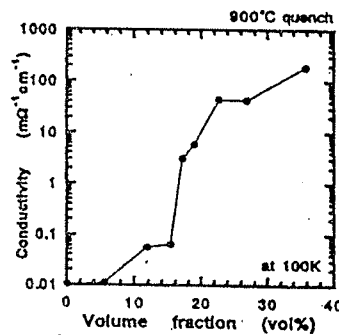


図4 900°Cクエンチの電気伝導率の銀含有量依存性

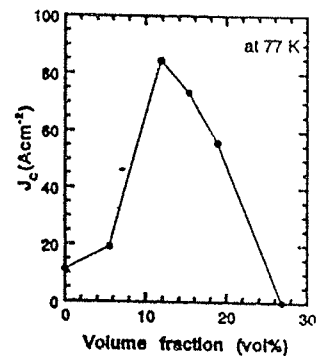


図5 77Kにおける J_c

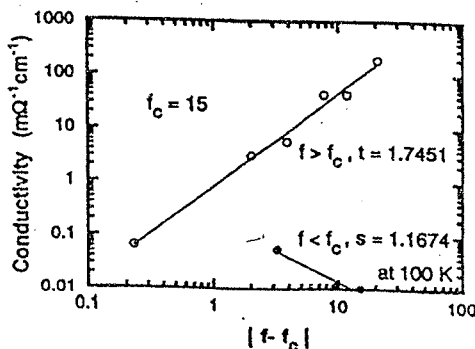


図6 $|f-f_c|$ を関数とした電気伝導率のプロット

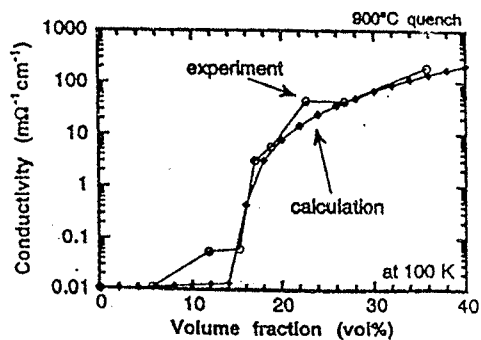


図7 電気伝導率の実測値と理論値