

酸化物超伝導体における接触電気抵抗と臨界電流に関する研究

電子材料学講座 池部研究室 松枝 齊

◎序論

電力応用を目指した酸化物超伝導体の研究においては、臨界電流密度 (J_c) を向上させる必要がある。また、試料と金属との低抵抗接合は基礎的な実験においても実際のデバイス応用においても重要な技術である。外部導線から超伝導体に電流を流した場合、接合部においてジュール熱が発生し接触電気抵抗が大きい場合には発熱により接合部付近の超伝導性が壊れ、 J_c の測定において測定結果に影響を及ぼす可能性がある。よって接触電気抵抗の低減方法の検討と接触電気抵抗と J_c との関係について検討を行った。

◎試料

検討は、Y系とBi系について行った。Y系の試料は固相反応法で作製した。同和鉱業製の $YBa_2Cu_3O_x$ 粉を用い、酸素中で30時間960℃で焼結させた。また同和鉱業製の $YBa_2Cu_3O_{7-y}$ と Ag 10 wt % 含んだ試料についても評価した。

Bi系の試料は、同和鉱業作製の $(BiPb)_2Sr_2Ca_2Cu_3O_x$ の J_c 値の異なる3種類の試料 ($J_c = 2869, 2939, 3848 \text{ (A/cm}^2\text{) at } 77\text{K and } 0\text{T}$) を用意した。これらに超音波半田を用いて、Inで端子を付けたものとAgペーストを種々の温度で焼き付けて端子付けしたものをを用いた。

◎実験方法

・接触電気抵抗の測定

接触電気抵抗は、直流2端子法および3端子法により液体窒素 (77K) 中で測定した。また、冷凍機を用いて接触電気抵抗の温度依存性を測定した。試料に直流電流を流した時の電圧を測定し、その時の抵抗値を接触電気抵抗 (Ω) とし、これに電極面積を掛けたものを接触比抵抗 (Ωcm^2) とした。

・臨界電流密度 (J_c) の測定

臨界電流密度は、直流4端子法により液体窒素 (77K) 中で測定した。試料に電流を増加させながら通電し電圧端子間の電圧を測定し、そのI-V特性から電界基準により $1\mu\text{V/cm}$ となる電流値を臨界電流 I_c (A) とした。この値を試料の断面積で割ったものを臨界電流密度 J_c (A/cm^2) とした。パルス法による J_c 測定は同和、この測定は能登研究室の装置を借用して行った。

◎結果と考察

・YBCO系

図1にYBCOの場合のAgペーストの焼き付け温度の違いによる、I-V特性 (2端子法) を示す。また、これから接触比抵抗を換算した結果を表1に示す。In端子のものは $0.3 \text{ (}\Omega\text{cm}^2\text{)}$ 、Agペースト300℃で $2.5 \times 10^{-2} \text{ (}\Omega\text{cm}^2\text{)}$ 、Agペースト900℃で $9.1 \times 10^{-5} \text{ (}\Omega\text{cm}^2\text{)}$ となり、Agペーストを高温で焼き付けることで接触比抵抗が大きく低減している事が分かった。

図2に比抵抗の温度依存性を示す。Agペーストでは、温度の低下に伴い抵抗は直線的に減少し T_c 付近で不連続的に低下する。これは試料が超伝導転移し試料の抵抗がなくなるためであり、 T_c 温度以下の値が接触比抵抗の値である。接触比抵抗は、77K ~ T_c の間でほぼ一定である事が分かる。一方Inで端子付けしたものは T_c 付近で少し下がるが、それ以下の温度で半導体的温度依存性を示す。これは、InとYBCOの

間の接合がオーミック接触でなくなるためと考えられ、温度の低下とともに大きくなる。

・BSCCO系

表1にBSCCOの接触比抵抗を示す。YBCOと同様にInで端子付けした試料より、Agペーストを焼き付けた試料の方が 10^{-4} 程度接触比抵抗が小さくなっている。また温度依存性についても同様にAgペーストで端子付けした場合は、 T_c 以下でほぼ一定となるがInで端子付けした場合は、半導体的温度依存性を示す。

表2に、臨界電流密度(J_c)の測定結果を示す。In端子よりAgペースト端子で測定した方が、10倍程度大きい J_c 値を得る事が出来る。これはIn端子の場合、接触電気抵抗が大きいため接合部で熱が発生し、超伝導性が壊れてしまうためであると考えられる。

また J_c 測定時の電源について、直流電流とパルス電流の比較をすると、In端子で50%、Agペースト端子で10%程度、パルスで測定した場合の方が J_c 値が大きくなっている。

◎まとめ

YBCOにおいてもBSCCOでもIn端子よりAgペースト焼き付け端子の方が接触電気抵抗を低減する事が出来る。特にYBCOにおいては、焼き付け温度を上げる事でより低減させることが可能である。また試料にAgを混ぜる事でも接触抵抗を低減させる事が出来る。

BSCCOにおける J_c 測定ではIn端子よりAgペースト端子の方が大きい J_c を得られるが、In端子の場合抵抗が大きいため正しい J_c の評価が出来ないと言える。これより、接触電気抵抗と測定された J_c の間には大きな関係があると言える。

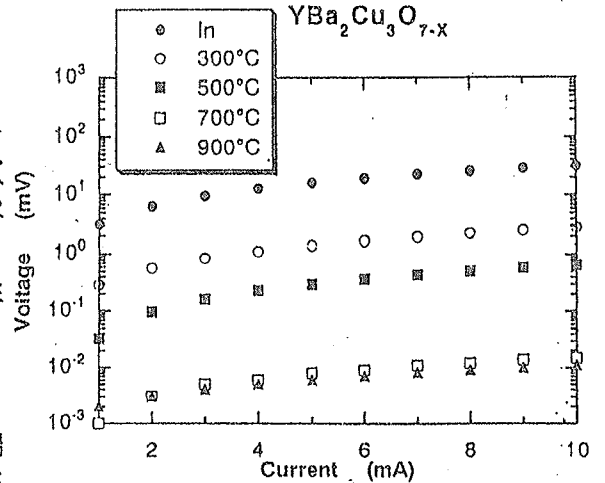


図1 YBCOの接触電気抵抗(77K)

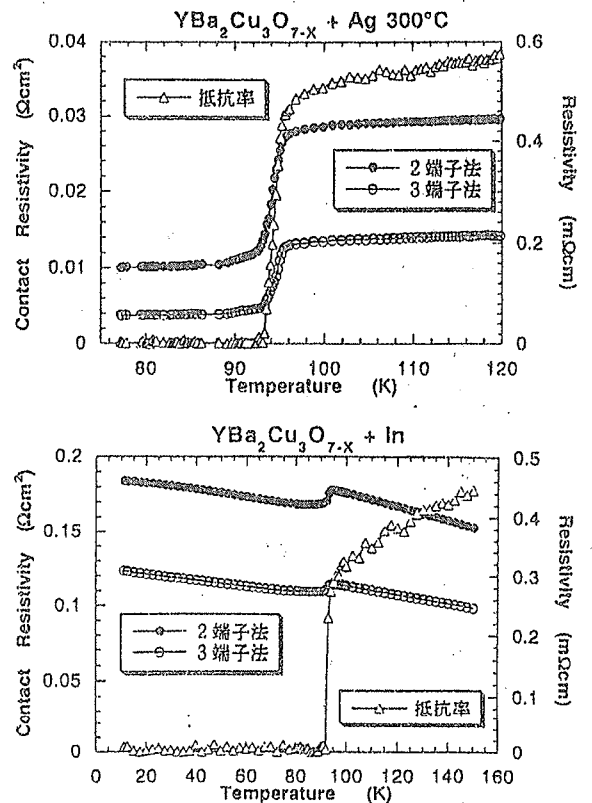


図2 接触比抵抗の温度依存性

試料	端子	接触比抵抗 (Ωcm^2)
YBCO	In	0.24
	Ag 300°C	2.5×10^{-2}
	Ag 500°C	5.3×10^{-3}
	Ag 700°C	1.4×10^{-4}
	Ag 900°C	9.1×10^{-5}
YBCO (Ag 10wt%)	In	7.4×10^{-3}
BSCCO (sample A)	In	3.4×10^{-2}
	Ag	9.1×10^{-6}
	In	7.8×10^{-2}
(sample B)	In	7.4×10^{-2}
	Ag	7.5×10^{-2}
	In	7.5×10^{-2}
(sample C)	In	7.5×10^{-2}
	Ag	6.9×10^{-6}

表1 接触比抵抗(77K)

	臨界電流密度 J_c (A/cm^2)	
	In端子	Agペースト端子
Sample A (直流)	351	2694
	(パルス)	2869
Sample B (直流)	394	2533
	(パルス)	2939
Sample C (直流)	435	3515
	(パルス)	3848

表2 BSCCOの臨界電流密度(77K)