

MEASUREMENT OF RF SURFACE RESISTANCE OF A HIGH- T_c SUPERCONDUCTOR

T.Shishido, K.Asano, E.Ezura, H.Hayano, K.Hosoyama, S.Inagaki,
S.Isagawa, M.Kabasawa, Y.Kojima, S.Mitsunobu, T.Momose,
K.Nakada, H.Nakanishi, Y.Shinbo, T.Takahashi

National Laboratory for High Energy Physics,
Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan
Steel Research Center, NKK Corporation,
Kawasaki-ku, Kawasaki-shi, 210, Japan

Abstract

The rf surface resistance of YBaCuO thick film is measured using a demountable cylindrical cavity operating in TE_{011} mode at 3GHz. YBaCuO film is made by the low-pressure plasma spray method and the melt-reaction method. The film has a thickness of 50 μm . Cavity end plate with an area of 177 cm^2 is used as a sample surface. Measured resistance of YBaCuO is 0.9 $\text{m}\Omega$ at 4.2K and 4.2 $\text{m}\Omega$ at 77.3K, while that of Cu is 5.5 $\text{m}\Omega$ at 4.2K and is 7.3 $\text{m}\Omega$ at 77.3K.

高温超伝導体の高周波表面抵抗の測定

1. はじめに

YBaCuO高温超伝導体は、Nbより高い臨界温度、臨界磁場をもち、加速空洞へ応用した場合、冷却設備の簡素化ばかりでなく、より高電場での運転が期待される¹⁾。しかし、セラミックであるために脆く、高い寸法精度を要求する複雑な形状の空洞を製作することが難しい。これまでのNb製超伝導空洞の経験から、より高い電場まで超伝導状態を保つには素材の熱伝導率が高いことが重要であるが、YBaCuOはNbより一桁熱伝導率が低い。このため、熱伝導率の高いCu基板（あるいはAg基板）上に低圧プラズマプレー法と熔融反応法を併用しYBaCuO膜を作製した。

高温超伝導加速空洞実現のためには、いかにして大面積に表面抵抗の小さい均質な高温超伝導体膜を作製するかが大きな鍵となる。C.L.Bohn²⁾らは、182 cm^2 のAg基板上にBi系の膜を作製し、2.65GHz 4.2Kで6.7 $\text{m}\Omega$ の表面抵抗を得ている。

我々はこれに匹敵する177 cm^2 の面積を持つ膜を作製し、空洞共振器を用いてその表面抵抗を求めたのでここに報告する。

2. 実験方法

2.1 空洞

実験に用いる空洞は、銅製のデマウントブル円筒空洞で内径150 $\text{mm}\phi$ 、高さ84 mm 、 TE_{011} の周波数は3.03GHzである。下側端板の中心には15 $\text{mm}\phi$ の真空排気用ポートが設置され、中心に関し対称で中心からの距離50 mm の位置に9 $\text{mm}\phi$ の入出力カップラーポートがそれぞれ設置されてある。カップラーの可動距離は25 mm 、入力カップラーのループ面積は約20 mm^2 、出力カップラーの面積は約5 mm^2 である。

純粋な円筒空洞では TE_{011} と TM_{111} は縮退しているが、中心の排気用ポートがTMモードの周波数を下げ、縮退を解いている。

2.2 測定試料

YBaCuO膜は、空洞の上側端板に低圧プラズマプレー法³⁾と熔融反応法⁴⁾を併用して作製する。低圧

プラズマプレー法は、通常の大気圧プラズマプレー法よりも緻密で良質の膜を作ることができ、これに溶融反応法を併用するとさらに膜質を良くすることができる。膜厚は約50 μm である。基板にYBaCuOを溶射した後に、900~970 $^{\circ}\text{C}$ の酸素雰囲気中でアニールを行なうが、この時に基板のCuが膜中に拡散するのを防ぐため、中間層としてNiメッキを行なう。基板がAgの場合にはその必要はない。

2.3 測定

図1に測定システムを示す。測定にはネットワークアナライザーを用いた。共振周波数と3dB落ちのバンド幅より負荷Q値(Q_L)を求め、Sパラメーターより入出力カプラーの結合定数(β_1, β_2)を求める。これらの値から無負荷Q値(Q_0)を

$$Q_0 = (1 + \beta_1 + \beta_2) Q_L$$

により求める。 Q_0 と高周波表面抵抗 R_s との間には

$$Q_0 = \Gamma / R_s$$

の関係がある。ここで Γ は空洞の形状によって決まる、抵抗の次元をもつ定数であり、我々の空洞の場合702 Ω である。YBaCuOの R_s は、全銅製空洞の Q_0 と空洞の一部をYBaCuOに置き換えた場合の Q_0 の変化から求めることができる。上側端板のみYBaCuOの場合の R_s は

$$R_s = \Gamma e (1/Q_0 - 1/Q_{0(\text{copper})}) * \Gamma / \Gamma$$

である。ここで Γe はYBaCuO膜をつけた端板、 Γ はCu端板+円筒部の形状係数で、それぞれ2872 Ω 、929 Ω である。 Q_0 はYBaCuO+Cu空洞の、 $Q_{0(\text{copper})}$ は全面銅空洞のQ値である。

3. 実験結果

Cu基板3枚とAg基板1枚の実験を行なった。図2は基板にAgを用いた場合と、Cuを用いた場合の R_s の温度変化である。常伝導状態では、Ag基板の膜の R_s はCu基板の膜の R_s よりも小さいが、超伝導状態では逆になる。また、臨界温度に1度程度の差が見られる。

図3は全面Cu空洞 および上側端板にのみCu基板上にYBaCuO膜を作製した空洞の Q_0 の温度変化である。図4は図3より求めた R_s の温度変化である。YBaCuOの R_s は4.2Kで0.9m Ω 、77.3Kで4.2m Ω 、一方Cuは、4.2Kで5.5m Ω 、77.3Kで7.3m Ω である。

4. 考察

Ag基板は同一サンプルを3回、77.3Kまでの冷却実験を行なったが、 Q_0 の値はほとんど変化がない。Cu基板は3つのサンプルを用いたが、基板Cu 1は77.3Kまで Q_0 に著しい経時変化、冷却履歴による変化はなかった。一方、基板Cu 2,3は冷却ごとに Q_0 が下がる他、60K付近で Q_0 に段差ができるなど再現性がなかった。

液体He、 N_2 温度のいずれにおいてもCuより小さい表面抵抗が得られたが、まだCuの数分の一程度であり、加速空洞に用いるには充分ではない。表面抵抗改善のために、高周波損失機構の究明、成膜法の改善等を、理論、技術両面から追及していく必要がある。

参考文献) ¹⁾K.Asano and K.Yoshihara, Proc.of the 4th Workshop on RF Superconductivity, Tsukuba, Japan, Aug. 1989, pp.723-743.

浅野清光, "高温超伝導体薄膜の高周波応用", 第10回表面科学セミナー(1990), 総評会館, 6月27日~6月29日(1990), pp.139-154.

²⁾C.L.Bohn, J.R.Delayen, U.Balachandran and M.T.Lanagan, Appl. Phys. Lett. 55, 304 (1989).

³⁾K.Tachikawa, I.Watanabe, S.Kosuge, M.Kabasawa, T.Suzuki, Y.Matsuda and Y.Shinbo, Appl. Phys. Lett. 52, 1011 (1988).

⁴⁾K.Tachikawa, Y.Shinbo, M.Ono, M.Kabasawa and S.Kosuge, Advances in Cryogenic Engineering (Materials), Vol.36, Plenum Press, New York, pp.473-478.

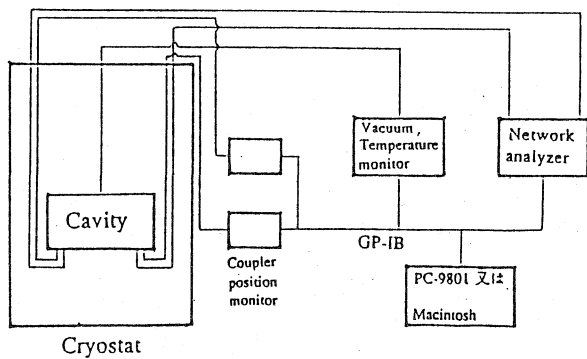


図1) 測定システム

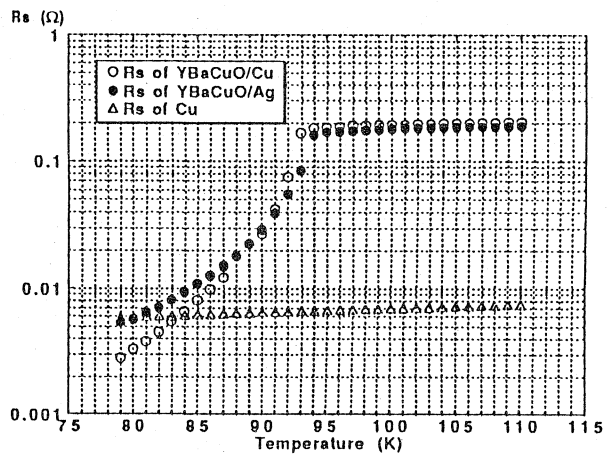


図2) YBaCuO/CuとYBaCuO/Agの R_s の温度依存性

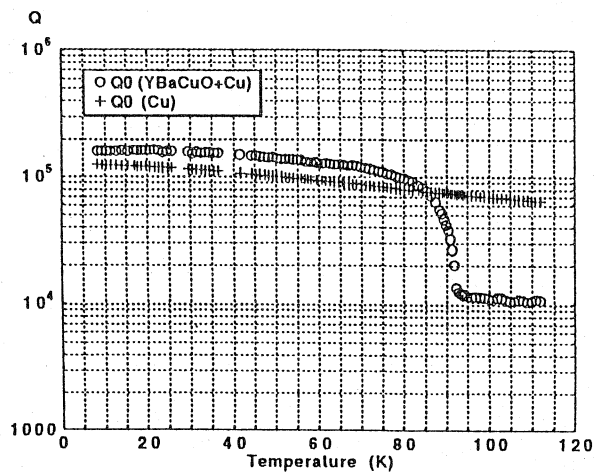


図3) 上側端板にYBaCuO膜をつけた空洞と全面Cu空洞の Q_0 の温度依存性

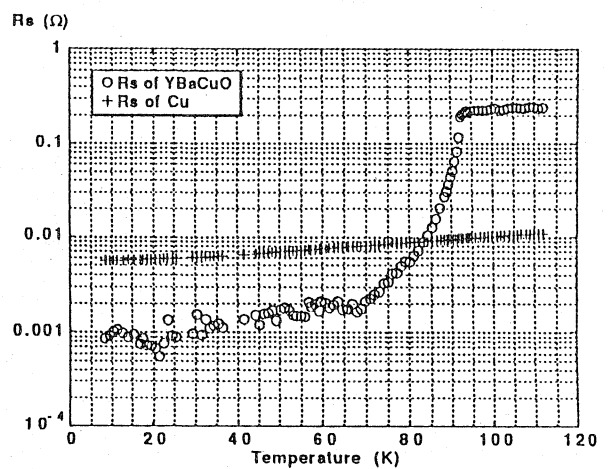


図4) YBaCuO/CuとCuの R_s の温度依存性