

氏 名 劉 建 飛

学位（専攻分野） 博士(学術)

学位記番号 総研大甲第368号

学位授与の日付 平成11年3月24日

学位授与の要件 数物科学研究科 加速器科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学位論文題目 The Study on Microwave Properties of High-Tc
Superconducting Films Deposited on Copper
Substrates

論文審査委員 主 査 教 授 春日 俊夫
教 授 絵面 栄二
教 授 黒川 眞一
助 教 授 野口 修一
助 教 授 細山 謙二
教 授 大嶋 重利（山形大学）
助 教 授 光延 信二（高エネルギー加速器研究機構）

論文内容の要旨

The purpose of this work is to study the possibility to apply high- T_c superconductors to future accelerator cavities. $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO) film with the c -axis normal to the film surface were deposited by a laser ablation technique on copper substrates of 36mm in diameter. An YSZ/Cr buffer layer was used for the deposition of YBCO film on copper substrates. The surface resistance and the penetration depth of the YBCO film were measured using a cylindrical host cavity operated at 13.6GHz in TE_{011} mode.

The deposition on metallic substrates is an important concern from the view point of heat removal in the possible application to accelerator cavities, in which an rf excitation at a high-power level is required. Since the c -axis of the fabricated film is normal to the surface, and, therefore, the surface current flows in the ab -plane of the film, a very low surface resistance was obtained at low temperatures. In order to improve the measurement accuracy at low temperatures, a niobium host-cavity was used to calibrate the data measured by a copper host-cavity. However, since the measurable temperature region in the niobium and copper cavities were restricted and unoverlapped, some fitting procedure were required and will be described in detail. This accuracy improvement by the two-cavity method enabled us to discuss the temperature dependence of the surface resistance more reliably, and, therefore, the excitation mechanism of the normal charge carriers from the superconducting state.

Since some part of the fabricated film could be remains normal even at very low temperature, the two fluid-model was modified to include the residual charge carriers. This modified two-fluid model could well fit the measured surface resistance and penetration depth for a wide temperature range for 4K to 85K, if the residual charge carriers was assumed to be around 20% of the total charge carriers and the normal charge carries increased in a form $(T/T_c)^2$.

The effect of the film thickness and substrate properties of the measured surface resistance was calculated by the impedance transformation method. The results show that the measured surface resistance R_{eff} is almost equal to the real surface resistance in the temperature range below 70K. However, above 70K, R_{eff} is lowered to some extent depending on the value of penetration depth, and needs some corrections.

The field dependence of the surface resistance was measured for the c -axis textured YBCO films up to the surface magnetic field of 1000 A/m. One of important results was that the surface resistance increases linearly as the field increases, which is explained better by the critical-state model than by the coupled-grain model.

Comparison of the microwave surface resistance between a - b plane well-textured and weakly-textured samples were made. The surface resistance of the weakly-textured samples was lower than that of the well-textured samples for the circular current on the endplate in the TE_{011} excitation mode. However, the increase in the surface resistance with increasing field level was lower for the well-textured samples than for the weakly-textured samples. This suggests the necessity of a - b plane texturing as well as c -axis texturing for superconducting films to be applied to accelerator cavities.

論文の審査結果の要旨

劉建飛氏の博士論文の内容は、高温超伝導体（H T S）を将来の加速空洞に応用する場合問題となる種々の課題を解明しようとするもので、主に 1）銅基板上への H T S の成膜法の研究、2）マイクロ波領域での表面抵抗の精密測定装置の開発、3）表面抵抗の温度依存性、H T S 膜厚依存性や磁界依存性の測定、4）表面抵抗の H T S 薄膜配向依存性の研究からなっている。

加速空洞への応用時には、H T S は熱伝導率が低いため、空洞形状に加工した金属表面に成膜しなければならない。基板上に成膜された H T S 薄膜の配向は基板の結晶構造に依存するので、本研究では金属基板として用いた多結晶銅表面に配向を制御して成膜した誘電体 Y S Z（yttria-stabilized-zirconia）表面を介して H T S である Y B C O（ $Y B a_2 C u O_{7-\delta}$ ）の薄膜を成膜している。なお、銅基板の酸化を防ぐため C r 層を銅と Y S Z 層の間に入れている。銅基板上に Y S Z / C r 層を介して H T S 層を安定に成膜したのは本研究の特徴である。

表面抵抗の温度依存性を測定するために、ホスト空洞法を用いた。すなわち基準となる材料で製作した円筒型空洞の一方の端面を被測定材で置き換え、Q 値の変化より表面抵抗を測定する方法である。本研究のユニークな点は、銅製とニオブ製の二種類のホスト空洞を用いたことである。銅製のホスト空洞を用いた場合は、H T S の臨界温度である 8 5 K 近辺の値を精密に測定することが可能であるが、臨界温度の 1 / 2 以下となると銅表面でのマイクロ波損失による影響が大きくなり、測定精度は悪くなる。これを避けるために、ニオブ製のホスト空洞による 4 - 8 K での測定値を用いて校正することにより広い温度範囲の表面抵抗値を高精度で得ることができた。

加速用空洞を実現するためには、高い電磁場下で低い表面抵抗を実現しなければならない。表面抵抗のマイクロ波磁界依存性は磁界 1 0 0 0 A / m までの範囲で測定し、この範囲では表面抵抗は磁界に比例して増えることを得ている。さらに、配向をそろえたサンプルの表面抵抗は、配向のそろっていないサンプルのそれより高いが、磁界依存性は小さくなることを見いだした。

これらの研究は、今後の高温超伝導体を用いた高周波加速空洞の実現のための貴重なデータを提供するのみならず、高温超伝導体の物性研究の進展に資するものであり、数物科学研究科加速器科学専攻の博士論文としての内容に値すると判断した。