

# YBCO 超伝導線材のためのチタニア系導電性中間層作製条件の検討

## Optimization of Growth Conditions of Nb-doped $\text{TiO}_2$ as a Conductive Buffer Layer in YBCO coated conductor

京大院エネ科<sup>1</sup>, JST-ALCA<sup>2</sup>: 廣瀬勝敏, 堀井滋<sup>1,2</sup>, 土井俊哉<sup>1,2</sup>

Kyoto Univ.<sup>1</sup>, JST-ALCA<sup>2</sup>: Katsutoshi Hirose, Shigeru Horii<sup>1,2</sup>, Toshiya Doi<sup>1,2</sup>

E-mail: hirose.katsutoshi.43s@st.kyoto-u.ac.jp

### 1. はじめに

現在、市販されている  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  (YBCO) 線材は金属テープを基材とし、YBCO と反応性の低い複数の酸化物に中間層と YBCO を順にエピタキシャル成長させた構造を取っている。この中間層は絶縁であるため、通電中に YBCO の超伝導状態が消失した場合に回避電流を流すための安定化層と、安定化層の形成のため銀を YBCO 層の上に積層させている。その結果、長尺の線材を作製する際に材料コストが高くなっている。

我々は、安価な超伝導線材の作製を目的とし、中間層に導電性を持つ物質を使用した。基材には、{100}面が圧延面に平行でかつ <001> 方向が圧延方向に平行に揃う集合組織を有する Cu テープ (配向 Cu テープ) を用い、安定化層の役割を担わせた<sup>1</sup>。導電性中間層には金属テープおよび YBCO と格子定数が近く、化学反応性の低い導電性物質が求められる。

本研究では、導電性中間層として透明導電膜の候補物質と知られる  $(\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_x)\text{O}_2$  に着目した<sup>2</sup>。  $(\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_x)\text{O}_2$  の導電性中間層としての可能性を調べるため、単結晶基板上での Nb-TiO<sub>2</sub> の配向性や薄膜の表面状態、導電性の観点から成膜条件を検討した。

### 2. 実験方法

Nb-TiO<sub>2</sub> 薄膜は SrTiO<sub>3</sub> (STO) あるいは MgO 単結晶基板上に KrF エキシマレーザーを光源とするパルスレーザー蒸着法 (PLD 法) で作製した。また、ターゲットは原料粉 (TiO<sub>2</sub> と Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) を所定の組成比となるように混合・成型し、大気中で 1200 °C で 12 時間焼成することで得た。成膜条件は、ターゲット組成  $(\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_x)\text{O}_2$  ( $x=0.04\sim 0.08$ )、基板温度 ( $T_s$ ) 550~790 °C、成膜槽内の雰囲気および全圧はそれぞれ 98 % Ar + 2 % H<sub>2</sub>、 $1.3 \times 10^{-2}$  Pa とし、目標とする膜厚を 100 nm とした。

作製した  $(\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_x)\text{O}_2$  薄膜の配向度および表面状態の評価についてはそれぞれ X 線回折装置および走査型電子顕微鏡 (SEM) により行った。また、四端子法により、300 K 以下の電気抵抗率の温度依存性を明らかにした。

### 3. 実験結果

STO 基板上に作製した  $(\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_x)\text{O}_2$  薄膜は、Nb ドープ量、 $T_s$  によらずアナターゼ型であり、二軸配向していた。また、 $T_s = 550^\circ\text{C}$ 、 $700^\circ\text{C}$  で作製した試料はいずれの Nb ドープ量でも表面は平滑であった。一方、 $T_s = 790^\circ\text{C}$  で作製した試料はいずれの Nb ドープ量でも表面が不均質であり、膜中の Nb 濃度分布が均一でないと考えられる。

Fig. 1 に、MgO 基板上に作製した  $(\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_x)\text{O}_2$  薄膜 ( $x=0.04, 0.06, 0.08$ ;  $T_s=550^\circ\text{C}, 700^\circ\text{C}$ ) の電気抵抗率 ( $\rho$ ) の温度依存性を示す。 $T_s=790^\circ\text{C}$  で作製した試料は、どの組成で作製した  $(\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_x)\text{O}_2$  薄膜であっても、室温で  $\rho > 10^2 \Omega\text{cm}$  であった。一方、 $T_s$  を低下させることで  $\rho$  が低下することがわかった。また、 $T_s=550^\circ\text{C}$  で作製した試料では  $x$  の違いにより  $\rho$  の値が異なる。Fig. 1 より、77 K で最も低い電気抵抗率を示した条件は  $T_s=550^\circ\text{C}$ 、 $x=0.06$  であり、 $\rho=2.1 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}$  であった。以上の結果から、STO 単結晶基板上に二軸配向し、最も低い抵抗率をもつ  $(\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_x)\text{O}_2$  薄膜を実現するためのターゲット組成および基板温度条件として Nb ドープ量は  $x=0.06$ 、基板温度は  $550^\circ\text{C}$  が適当であることがわかった。

当日は、配向 Cu テープ上に作製した  $(\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_x)\text{O}_2$  薄膜の検討、および  $\text{Ti}_{0.94}\text{Nb}_{0.06}\text{O}_2/\text{STO}$  薄膜上の YBCO 薄膜の作製や  $J_c$  の結果についても報告する予定である。

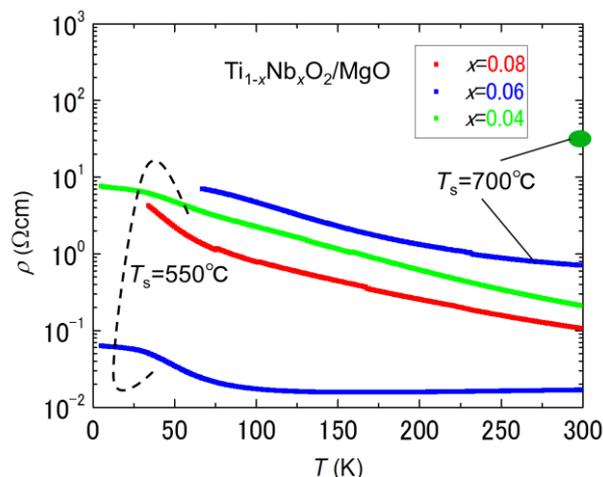


Fig. 1 Temperature dependence of  $\rho$  for  $\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_2$  ( $x=0.04, 0.06$  and  $0.08$ ) thin films with  $T_s=550^\circ\text{C}$  and  $700^\circ\text{C}$ .

### 参考文献

1. 土井、堀井、応用物理 84 (2015) 419.
2. Furubayashi *et al.*, Thin Solid Films 496 (2006) 157.