

## サファイア基板上超電導酸化物薄膜

分散電源サイトや商用電力系統で用いられる超電導薄膜限流器、携帯電話の基地局で使われる超電導マイクロ波デバイスの実現には、高い臨界電流密度(抵抗ゼロで流し得る電流密度の最大値)を有する大面積超電導薄膜の開発が不可欠である。当研究部門では、パルスレーザー蒸着(PLD)法による高臨界電流密度・大面積超電導薄膜の作製技術の研究を行っている。サファイア( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )基板は、大面積単結晶基板として最も安価であること、機械的強度が大きいこと、誘電率が小さいこと、液体窒素温度近傍において金属銅よりも大きな熱伝導率を有し、常電導転移時に発生する熱を速やかに基板を通して拡散できることから、限流器・マイクロ波デバイス用の基板として優れた特性を備えている。しかし、サファイア基板上への酸化物超電導体  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  (YBCO) 膜の直接成膜は困難であり、高品質な薄膜を作製するためには反応防止と格子整合用のバッファ層が必要である。我々は、バッファ層として最も有望な  $\text{CeO}_2$  を PLD 法で作製している。図 1 a は、R面(1 $\bar{1}$ 02)サファイア単結晶基板の上に PLD 法で作製した  $\text{CeO}_2$  バッファ層の原子間力顕微鏡像を示す。成膜条件を最適化しても表面は平坦でなく、約 10 nm の凹凸がある。この  $\text{CeO}_2$  層を酸素気流中 1025 °C で熱処理を行ったところ、図 1 b に示すように

平坦な表面を得ることができた。この場合の表面の凹凸は、1nm以下にまで減少するとともに、直径が10~20ナノメートルの表面粒子(ナノドット)が形成されているのが見られた。ナノドットは、サファイア基板と  $\text{CeO}_2$  バッファ層との間の格子不整合による歪みを緩和するために生成したと考えている。後熱処理を行ったバッファ層と、後熱処理なしのバッファ層の上に、YBCO 薄膜を PLD 法により同一条件で成膜し、臨界電流密度を比較したところ、後熱処理を行った場合には2~10倍に向上した(図2)。超電導体の臨界電流密度を向上させるには、きれいな超電導試料を作るだけでなく、磁束をピン止めするための結晶欠陥を導入する必要もある。透過電子顕微鏡観察および臨界電流密度の磁界印加角度依存性の測定から、この特性改善は、バッファ層の平坦化によってもたらされた YBCO 膜の結晶性の向上と、ナノドットによってもたらされたと思われる結晶転位、微小析出物の導入が寄与していることがわかった(図3)。

高温度における後熱処理によるバッファ層の原子レベル平坦化と言う、この簡便な方法は、PLD 法以外の方法で作製したバッファ層や、R面サファイア基板以外の基板にも適用可能であるので、今後、幅広く応用分野を探索して行きたい。

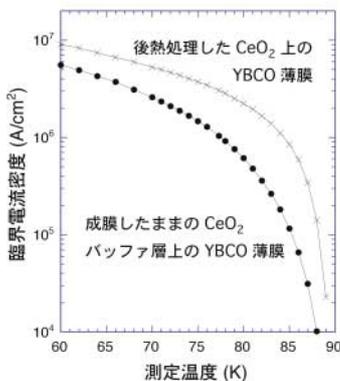
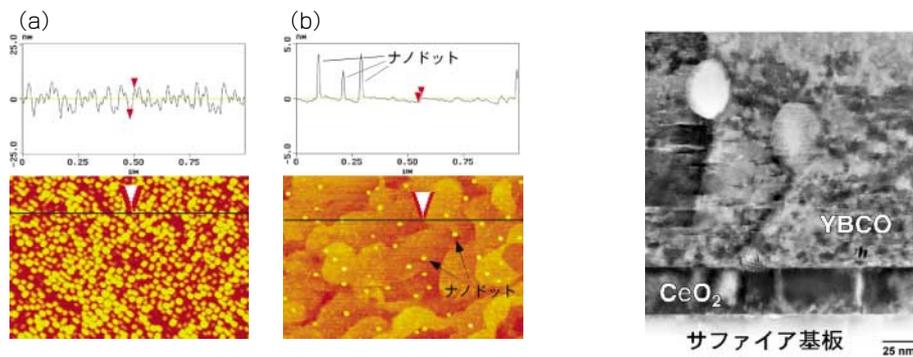


図1 (左上) (a) R面サファイア単結晶基板の上に作製した  $\text{CeO}_2$  バッファ層の原子間力顕微鏡像と表面の凹凸のプロファイル (b) これを成膜時よりもさらに高温度において後熱処理すると、原子レベルで平坦化される。

図2 (左下) (●) 成膜したままのバッファ層の上に作製した YBCO 薄膜の臨界電流密度の温度依存性。(×) 後熱処理後のバッファ層の上の YBCO 薄膜の臨界電流密度。

図3 (右上) 後熱処理した  $\text{CeO}_2$  バッファ層上に作製した YBCO 薄膜の透過電子顕微鏡写真(断面図) 卵形の微小析出物と結晶転位が見える。



にえ じゃつあい  
聶 家財  
jc-nie@aist.go.jp  
電力エネルギー研究部門

## 関連情報

- 共同研究者: 山崎裕文 (電力エネルギー研究部門)
- J. C. Nie, H. Yamasaki, H. Yamada, Y. Nakagawa, K. Develos-Bagarinao: Supercond. Sci Technol. Vol.16, 768 (2003).
- 特願 2003-35361 「高臨界電流密度を有する超伝導酸化物薄膜の作製方法」(山崎裕文, 聶家財)。