

Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+x} 薄膜の結晶成長における磁場効果 Magnetic Field Effects on Growth Process of Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+x}

宮城教育大・教育
東北大・金研

内山 哲治, 大竹 佑樹
淡路 智

T. Uchiyama¹, Y. Ohtake¹ and S. Awaji²

¹ Faculty of Education, Miyagi University of Education

² Institute for Materials Research, Tohoku University

1. はじめに

我々は、高温超伝導(HTS)薄膜のエレクトロニクス応用を目指し、Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+x} (BSCCO)薄膜の作製を行っている。HTS 薄膜のエレクトロニクス応用には、高品質な超伝導トンネル接合が必要不可欠である。超伝導トンネル接合とは、コヒーレンス長程度の厚さの絶縁層を超伝導層でサンドイッチした構造からなるトンネル接合のことである。本研究で使用した BSCCO は、その結晶構造が CuO₂ 面からなる超伝導層と BiO 面を中心とする絶縁層が交互に重なり合っており、強い超伝導 2 次元性を示す。つまり、結晶構造の *c* 軸方向に超伝導トンネル接合を持ち、これを固有ジョセフソン接合(IJJ)と呼ぶ。元来超伝導トンネル接合においては積層化の必要から、表面平坦性などの界面制御が非常に困難であった。しかしながら IJJ では、人工的に超伝導層と絶縁層を形成する必要がないため、界面制御問題がないという利点がある[1]。

我々は BSCCO 薄膜を、塗布法により MgO(100) 基板上にエピタキシャル成長させることで作製してきた。塗布法とは、原料が含まれている溶液を基板上に塗布し、熱処理することで成膜する方法であり、低コストで簡易に高品質かつ大面積の薄膜を得ることが出来る方法である。また MgO 基板は、誘電率が 10 程度と低く高周波応用に適しているが、BSCCO に対する格子不整合性が非常に大きいため単相の薄膜を得ることが難しい。結果として、BSCCO 薄膜は MgO 基板に対して、複数の面内配向角 η (MgO 基板の *a* 軸と BSCCO 薄膜の *a* 軸が成す角)を持って成長し、これまで、 $\eta = 0^\circ, 45^\circ, \pm 12^\circ$ を持つことが報告されている[2]。IJJ のエレクトロニクス応用には、高品質な単結晶薄膜を作製することが重要であり、格子不整合性により η が変化してしまうことは大きな問題となる。そこで本研究では、面内配向を制御するため、成膜中に強磁場を印加することで、BSCCO の結晶成長(特に η) における強磁場の影響を調べた。

2. 実験方法

2-1. 薄膜作製方法

これまで我々は、有機金属(MO)溶液を用いて BSCCO の成膜を行っていたが、MO 溶液は市販品であり、容易に組成を変えることが出来なかった。そこで本研究では、MO 溶液の代わりに自作した溶

液(有機懸濁液)を使用して BSCCO の成膜を行った。有機懸濁液は、化学量論組成で混合した BSCCO 焼結体粉末を有機溶液に混ぜることで作製した。作製した有機懸濁液は、MgO 基板上に塗布した後、2000rpm でスピコートを行うことで基板上に均一に広げた。次に有機溶液の成分を除去するため、急速加熱により 350°C で仮焼きを行った。その後、face-to-face の状態で 890-930°C で本焼きを行った[3]。face-to-face とは、蓋として上からも一枚基板を乗せることで、焼成中に Bi が蒸発するのを防ぐための方法である。

2-2. 強磁場印加中での薄膜作製

強磁場の印加には、強磁場超伝導材料研究センターに設置されている冷凍機冷却超伝導マグネット(10T-CSM)を使用した。仮焼きした試料を電気炉にセットし、焼成温度 T_f に関係なく室温からの昇温過程、 T_f の保持過程、室温までの降温過程という全過程において、常に一定強度の磁場を印加した。磁場の強度は、超伝導マグネットと電気炉を組み合わせた場合に発生できる最高の強度である 8T に設定した。

強磁場の印加方向や印加時間を変えた BSCCO 薄膜を作製し、X 線回折による結晶構造解析を行うことにより、成膜における強磁場の影響を調べた。強磁場の印加方向は、Fig.1 に示すように、試料面に対して垂直に印加する場合(縦磁場(B_{\perp}))と平行に印加する場合(横磁場(B_{\parallel}))とした。縦磁場の場合は、磁場の極性を変え、極性による違いも調べた。横磁場の場合は、対称性のため、磁場の極性は変化させなかった。 T_f を保持する時間 t は、通常 3 時間に設定していたが、強磁場印加時間を長くし、成膜時における強磁場効果を高めるため、 t を 12 時間にした場合での成膜も行った。

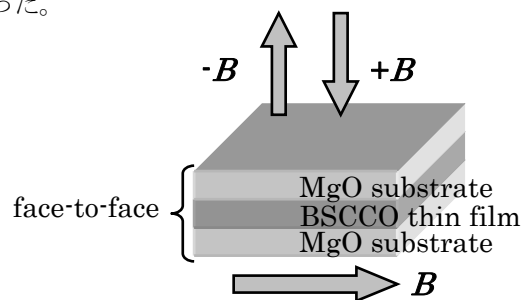


Fig.1 Definition of the direction of B for the BSCCO thin film

3. 実験結果

BSCCO 薄膜の基板面に垂直方向の結晶配向性およびゼロ抵抗温度は、磁場印加に依存しなかった。典型的な $\theta/2\theta$ 測定結果を Fig.2 に示す。現時点でまだ最適化できていないが、BSCCO のピークのみが観測された。また、電気抵抗の温度依存性を測定したところ、Fig.2 の挿入図にあるように、約 86K のゼロ抵抗温度を示した。

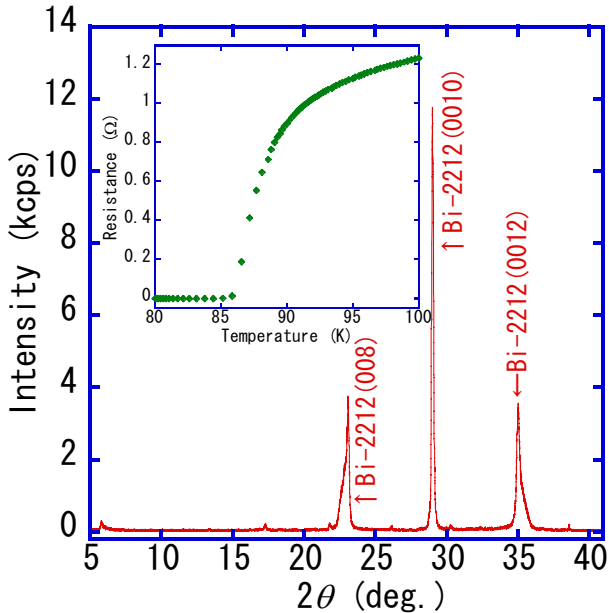


Fig.2 XRD pattern of BSCCO thin film. The inset shows a resistance-temperature curve of BSCCO thin film.

一方、BSCCO(115)の回折ピークに対して ϕ スキャン測定を行い、基板面内の結晶配向性を調べた結果、若干の違いが観測された (Fig.3)。Fig. 3(a)が磁場印加なしの結果、(b) - (d)が焼成保持時間を 3 時間にした結果である。また、(e)は、横磁場 8T に対して焼成保持時間を 12 時間にした結果である。いずれの結果においても、複数のピークが混在しており、面内配向は制御されていなかった。しかしながら、縦磁場において向きに関係なく異相のピークが若干減少し、4 回対称性が確認された。

4. まとめ

今回、強磁場印加により面内配向を制御するため、強磁場環境下で BSCCO 薄膜を作製し、結晶性を評価した。強磁場の印加方向や印加時間を変化させたが、現時点では面内配向を制御することは出来なかった。本研究では磁場強度依存性を調べるには至らなかったため、今後は磁場強度依存性を調べたいと考えている。

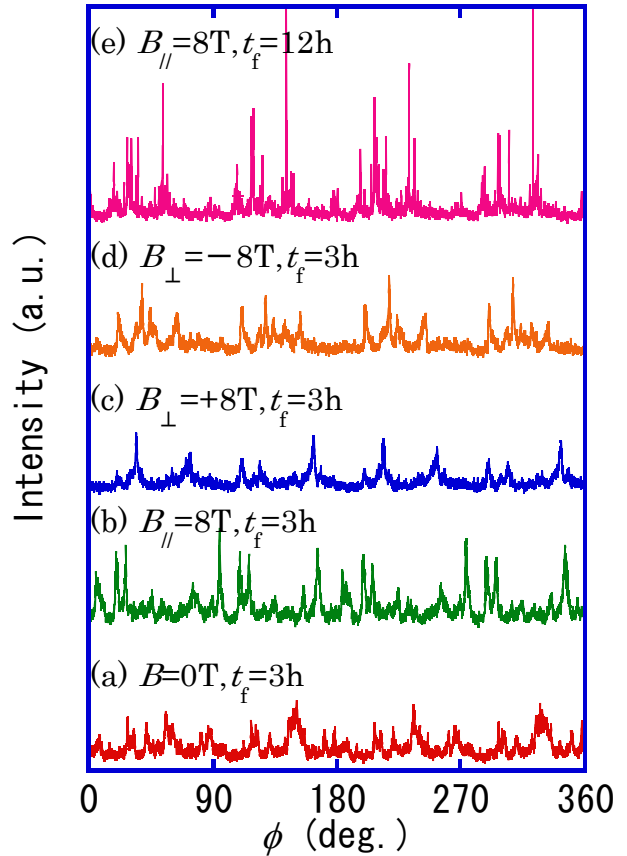


Fig.3 ϕ scans of BSCCO thin films

参考文献

- [1] R. Kleiner, P. Muller: Phys. Rev. B **49** (1994) 1327.
- [2] 内山哲治, 内田貴司: 信学技報 **106** (2006) 19.
- [3] H. Fujino, E. Kume, S. Sakai: Physica C **426-431** (2005) 1474.