

重イオン照射を用いた高温超伝導薄膜の高機能磁束ピン止め構造の構築

High performance of pinning landscape in high- T_c superconducting thin films
by using heavy-ion irradiation

末吉 哲郎¹⁾, 上瀧 哲也¹⁾, 浦口 雄世¹⁾, 藤吉 孝則¹⁾, 石川 法人²⁾

Tetsuro SUEYOSHI, Tetsuya KOUTAKI, Yuusei URAGUCHI, Takanori FUJIYOSHI, Norito ISHIKAWA

¹⁾熊本大学 ²⁾原子力機構

(概要)

高温超伝導体の臨界電流密度 J_c における線状格子欠陥とナノ粒子を組み合わせたハイブリッド磁束ピン止め構造での、ナノ粒子の径や空間分布の影響を明らかにするために、200 MeV の Xe イオンを用いて線状格子欠陥を導入した BaSnO₃/YBa₂Cu₃O_y 擬似多層膜の J_c の磁場角度依存性について調べた。 J_c に対する線状格子欠陥と BaSnO₃ ナノ粒子の同時導入の正の効果は、成膜温度が高い擬似多層膜において、 c 軸に平行な高磁場、そして c 軸に対して傾斜した磁場で顕著に現れた。これは、成長温度が高いほど BaSnO₃ が試料中で大きなナノ粒子と成長し、有効なピン止め点として作用したものと考えられる。 BaSnO₃ を ab 面方向に面内方向に分布させた試料では、低磁場において、線状格子欠陥による $B \parallel c$ の J_c のピークも維持する一方で、ナノ粒子の面内分布による $B \parallel ab$ の J_c の改善を同時に実現できることを確認した。

キーワード：

高温超伝導線材、臨界電流密度、柱状欠陥、ナノ粒子、複合効果

1. 目的

希土類系高温超伝導線材(REBa₂Cu₃O_y線材)を用いた超伝導応用を普及していくためのキーテクノロジーの一つとして、広範囲の磁場方向で高い臨界電流密度 J_c を示す線材の開発が挙げられる。磁場中の J_c の改善には、超伝導体中に生じる量子化磁束の運動を阻止するピン止め点として、ナノサイズの格子欠陥や不純物を人工的に導入することが用いられる。この中で、量子化磁束と同じ形状の線状のナノ格子欠陥は1次元ピンと呼ばれ、高効率にピン止めできる特恵の磁場方向をもつために、一般に J_c が低い磁場方向(通常 c 軸方向)の改善に対して用いられる¹⁾。一方、球状のナノ格子欠陥は3次元ピンに属し、1次元ピンよりピン力は劣るが、ピン止めできる磁場を選ばず、全磁場方向で等方的な J_c の改善に寄与する²⁾。最近、両者の利点を組み合わせ、広範囲の磁場方向にわたって更に高い J_c を実現するような磁束ピン止め構造(ハイブリッドピン止め構造)の構築が注目されている³⁻⁵⁾。

本研究課題の目的は、ハイブリッドピン止め構造において、一般にランダムピンとして導入されるナノ粒子を成長制御してその空間分布の制御を試み、ハイブリッド磁束ピンニングの更なる高機能化の可能性について明らかにすることである。ここでは、BaSnO₃ ナノ粒子を成長制御した BaSnO₃/YBa₂Cu₃O_y 擬似多層膜に、1次元ピンとして重イオン照射欠陥を導入することで、ナノ粒子を空間分布制御したハイブリッド磁束ピン止め構造を実現し、ナノ粒子の径や空間分布の影響について調べた。

2. 方法

BaSnO₃/YBa₂Cu₃O_y 擬似多層膜は、PLD法におけるターゲット交換法により、SrTiO₃基板上に作製した。基板温度 T_s ($= 750^\circ\text{C}$ or 770°C)、BaSnO₃の堆積パルス数 m 、および擬似層の層数 n により、膜中での BaSnO₃ ナノ粒子のサイズと空間分布の制御を試みた。作製した擬似多層膜の膜厚は 320 ~ 430 nm である。柱状欠陥を導入するた

めの重イオン照射は、200 MeV の Xe イオンを用いて c 軸方向に行った。照射量は 1.45×10^{11} ions/cm² ($B_{\phi} = 3$ T) である。照射後の試料の T_c の変化は、ドーブ無の試料で 0.8 K, 多層膜においては 1.1~1.3 K の低下を生じた。超伝導特性の評価においては、通電法により J_c の磁場角度依存性を測定した。このとき、 J_c は電界基準 10^{-4} V/m を用いて定義し、また磁場は電流と常に垂直に印加し、磁場と c 軸のなす角度 θ と定義した。

3. 結果及び考察

図1に、照射前すなわち線状格子欠陥を導入する前の擬似多層膜の J_c の磁場角度依存性を示す。YBa₂Cu₃O_y 層上に BaSnO₃ を 1 パルス堆積し、これが 100 層からなる擬似多層膜 (B(1, 100)750, B(1,100)770) では、基板温度が 770 °C と高い試料 B(1,100)770 において、 $B \parallel ab$ 方向を除く広範囲の磁場方向で高い J_c を示した。これは、基板温度が高いほど BaSnO₃ が大きなナノ粒子として試料中に導入されていることによるものと考えられる⁶⁾。一方、1 層あたり BaSnO₃ を 10 パルス堆積し、これを 10 層堆積した擬似多層膜 B(10,10)770 においては、 $B \parallel c$ を中心とした磁場方向ではドーブ無しの YBa₂Cu₃O_y 薄膜 Pure770 の J_c とほぼ同じ値を示すが、 $B \parallel ab$ 近傍では顕著な J_c の向上を確認できる。これは、ナノ粒子の空間分布制御により、3 次元ピンからなるピン止め構造に、異方性を示すピン止め機能が付加されたことに起因している²⁾。

図2に、照射後すなわち線状格子欠陥を導入した後の擬似多層膜の J_c の磁場角度依存性を示す。ハイブリッド磁束ピンニングにおいて、ナノ粒子のピン止め効果は、高磁場領域および柱状欠陥方向 (c 軸方向) に対して傾斜

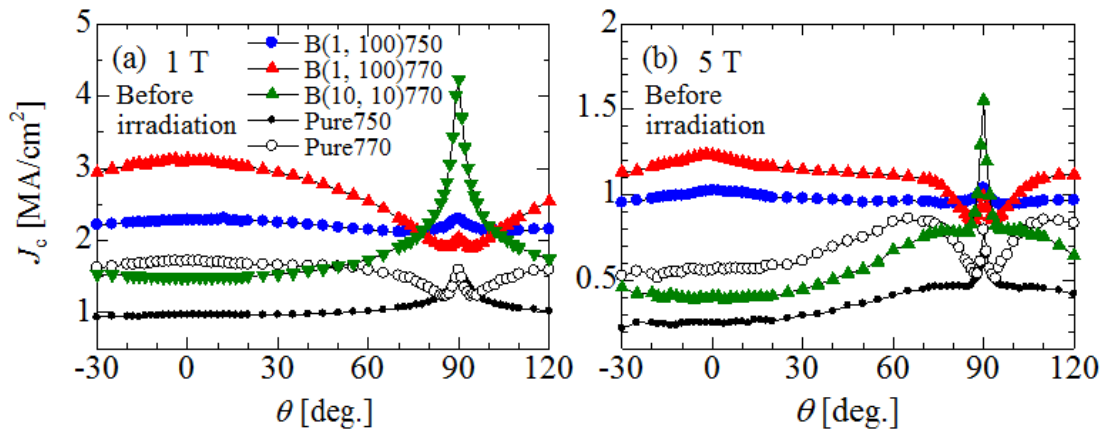


図1. 照射前の擬似多層膜の臨界電流密度 J_c の磁場角度依存性.

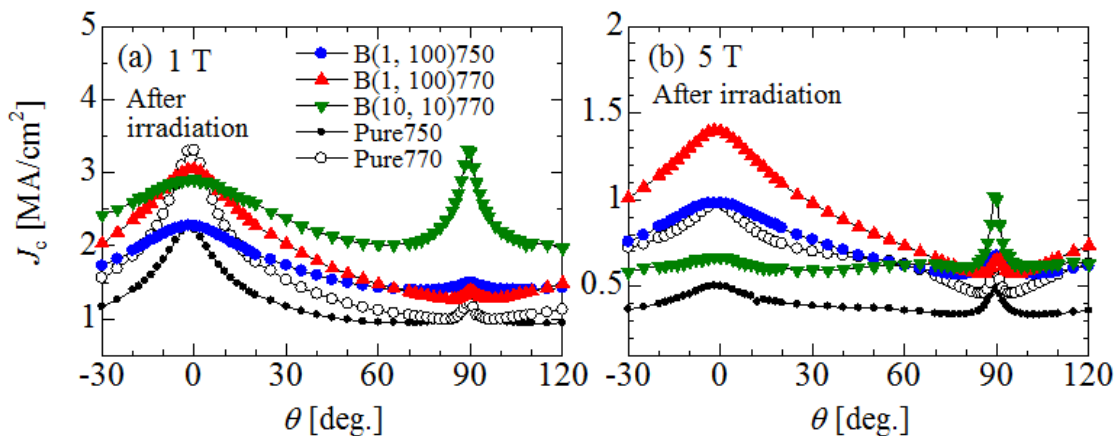


図2. 照射後の擬似多層膜の臨界電流密度 J_c の磁場角度依存性.

した磁場方向で顕著になることが確認できる。また、このナノ粒子の正の効果は、基板温度が高い、すなわち径が大きいナノ粒子を含む試料ほど顕著になっている。一方、 $B \parallel ab$ では、ナノ粒子が膜厚方向に広く分布した B(1, 100)750, B(1, 100)770 においては、ナノ粒子の影響がほとんどみられないが、B(10,10)770 では、低磁場において照射欠陥導入による $B \parallel c$ での J_c の向上とともに、 $B \parallel ab$ での顕著な J_c のピークを維持している。この結果より、ハイブリッド磁束ピン止め構造において、3次元ピンのサイズおよび空間分布を調整することで、 c 軸方向の J_c は1次元ピン、 ab 面方向を含めその他の磁場方向は3次元ピンにより、全磁場方向で高 J_c 化を図れる可能性を示した。

4. 引用(参照)文献等

- 1) L. Civale, A. D. Marwick, T. K. Worthington, M. A. Kirk, J. R. Thompson, L. Krusin-Elbaum, Y. Sun, J. R. Clem, F. Holtzberg, Phys. Rev. Lett. 67 (1991) 648-651.
- 2) A. A. Gapud, D. Kumar, S. K. Viswanathan, C. Cantoni, M. Varela, J. Abiade, S. J. Pennycook, D. K. Christen, Supercond. Sci. Technol. 18 (2005) 1502-1505.
- 3) J. Hua, U. Welp, J. Schlueter, A. Kayani, Z. L. Xiao, G. W. Crabtree, W. K. Kwok, Phys. Rev. B 82 (2010) 024505.
- 4) T. Sueyoshi, T. Koutaki, T. Fujiyoshi, F. Mitsugi, T. Ikegami, N. Ishikawa, Physica C 494 (2013) 153-157.
- 5) T. Horide, T. Kawamura, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Yoshizumi, T. Izumi, Y. Shiohara, Supercond. Sci. Technol. 26 (2013) 75019.
- 6) H. Kai, S. Horii, A. Ichinose, R. Kita, K. Matsumoto, Y. Yoshida, T. Fujiyoshi, R. Teranishi, N. Mori, M. Mukaida, Supercond. Sci. Technol. 23 (2010) 025017.