# コンビナトリアル-PLD 法を用いた 3d 遷移金属置換 YBa<sub>2</sub> (Cu<sub>1-</sub>,M,)<sub>3</sub>0<sub>ℓ</sub>薄膜の磁場中超伝導特性

Superconducting properties in magnetic field on YBa<sub>2</sub>(Cu<sub>1-x</sub>M<sub>x</sub>)<sub>3</sub>O<sub>y</sub> films by 3d transition metal substitution using combinatorial PLD method

# 名大工, <sup>0</sup>小島 翔, 一野 祐亮, 吉田 隆

Nagoya Univ., <sup>°</sup>KOJIMA Sho, ICHINO Yusuke, YOSHIDA Yutaka E-mail: kojima-syo11@ees.nagoga-u.ac.jp

#### 1. はじめに

コンビナトリアル-PLD (C-PLD) 法は組成や置換量が 連続的に変化した薄膜を 1 度の成膜で作製可能である。 これまで我々のグループでは、C-PLD 法を用いた人工磁 東ピン止め点(APC)の最適添加量や、新規 APC 材料の探 索を報告しており[1]、C-PLD 法が高速な物質探索に有効 であることを示してきた。

超伝導マグネットなど磁場中の使用が期待される超伝 導体において、磁場中超伝導特性の向上は重要な課題で ある。これまで、電子散乱点として YBCO の Cu サイト に 3d 遷移金属を置換した YBa<sub>2</sub>(Cu<sub>1-x</sub>M<sub>x</sub>)<sub>3</sub>O<sub>y</sub>薄膜(YBCMO 薄膜)において、上部臨界磁場 B<sub>c2</sub> が向上することを報告 した [2]。一方で大きな課題として添加により T<sub>c</sub>が低下し、 また 77 Kにおける J<sub>c</sub>も大きく低下したことが挙げられる。 しかし、最近では超伝導応用機器を冷凍機などを用いて 77 K以下の温度で動作させることも想定されており、よ り低温で優れた特性を有する材料が必要である。

そこで本研究では C-PLD 法を用いて作製した YBCMO 薄膜の低温度領域における磁場中 J<sub>c</sub>の評価を行った。

#### 2. 実験方法

SrTiO<sub>3</sub>単結晶基板上に4倍波Nd:YAGレーザー(波長 266 nm)を用いてYBCMO薄膜を作製した。基板ヒーター温度920℃(基板表面温度 820℃)、酸素圧力 40 Pa、ターゲット-基板間距離 40 nm、レーザーエネルギー密度 2.0 J/cm<sup>2</sup>で成膜を行った。C-PLD 法ではターゲットとして無置換YBCO 焼結体と置換量x = 0.01とした YBCMO 焼結体を用いた。薄膜の配向性及び結晶性は X 線回折法で、超伝導特性は直流四端子法で、また薄膜の置換量は SEM に付随したエネルギー分散型 X 線分光器でそれぞれ評価した。

### 3. 実験結果及び考察

Fig. 1 に各置換試料における  $B_{c2}(0 \text{ K})$ の置換量依存性を 示す。Co、Ni 置換試料において置換量の増加と共に  $B_{c2}(0 \text{ K})$ の向上が確認された。また Fig. 2 に Co、Fe の不可逆磁 場  $B_{irr}$ の温度依存性を示す。 $B_{irr}$ は  $B_{c2}(0 \text{ K})$ と違い向上が確 認できず、置換量増加により単調に減少した。これは置 換量増加による  $T_{cx}J_{c}$ の低下が原因であると考えられる。

Fig. 3 には Co 置換試料、Fe 置換試料及び pure-YBCO 試料に関する 40 K と 20 K における B//c 方向に対する  $J_c$ の磁場依存性を示す。なお、77 K における置換試料の  $J_c$ は pure 試料と比較し全磁場領域で大きく低下した。一方、20 K、40 K における  $J_c$  は pure 試料と比較して低下が改善された。これは、温度が低下するにつれコヒーレンス長が短くなることにより、試料に存在する非常に小さな欠陥などがピン止め点として効果を及ぼし、置換、無置換によらず  $J_c$ -B 曲線の低下率が改善されたためと考えられる。先に述べたように  $B_{c2}$ に置換効果が表れている一方で  $B_{irr}$ に向上が見られなかったのは  $T_c$ 、 $J_c$ の低下が原因と考えられ、より置換量の少ない試料や別のアプローチにより 77 K における  $J_c$ を改善した置換試料では、低温で pure 試料を上回る  $J_c$ -B 曲線を示す可能性がある。

今後は77 K における J<sub>c</sub>の向上を目指し、YBCMO 薄膜の組成制御などを行う予定である。

4. まとめ

本研究では Cu サイトに 3d 遷移金属を置換した YBCMO薄膜を作製し、低温磁場中 $J_c$ を中心に評価した。 77 Kにおける置換試料の $J_c$ の磁場による低下率は pure 試 料と比較して非常に大きいのに対し、より低温における  $J_c$ の低下率は pure 試料と同程度となった。

## 謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(23226014,19676005, 25289358)からの助成を受けて実施したものである。



Fig. 1 Amount of substitution dependence of  $B_{c2}(0 \text{ K})$  for  $YBa_2(Cu_{1,x}M_x)_3O_y$  thin films.(M = Co, Fe, Zn, Ni)



Fig. 2 Temperature dependence of  $B_{irr}$  for  $YBa_2(Cu_{1-x}M_x)_3O_y$ thin films.(M = Co, Fe)



Fig. 3 Magnetic field dependences of  $J_c$  for YBa<sub>2</sub>(Cu<sub>0.9909</sub>Co<sub>0.0091</sub>)<sub>3</sub>O<sub>y</sub>, YBa<sub>2</sub>(Cu<sub>0.9918</sub>Fe<sub>0.0082</sub>)<sub>3</sub>O<sub>y</sub> and YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> thin films.

参考文献

1. T. Yoshimura, et al.: Physica C vol. 471 no. 21-22

p. 850-862 (2011)

2. 小島ら:第 87 回低温工学・超電導学会研究発表会 2P-p13(2013)