# REBCO 溶融凝固バルクにおける高速酸素アニールプロセスの開発と 酸素拡散機構の考察

Development of fast oxygenation process and discussions on oxygen-diffusion

## mechanism for REBCO melt-textured bulks

青学大理工<sup>1</sup>, TEP<sup>2</sup> <sup>O</sup>元木 貴則<sup>1</sup>, 箭内 優<sup>1</sup>, 布川 航太<sup>1</sup>, 権藤 紳吉<sup>1</sup>, 中村 新一<sup>2</sup>, 下山 淳一<sup>1</sup>

Aoyama Gakuin Univ.<sup>1</sup>, TEP<sup>2</sup>, <sup>o</sup>Takanori Motoki<sup>1</sup>, Kota Nunokawa<sup>1</sup>, Yu Yanai<sup>1</sup>,

Shinkichi Gondo<sup>1</sup>, Shin-ichi Nakamura<sup>2</sup>, Jun-ichi Shimoyama<sup>1</sup>

## E-mail: motoki@phys.aoyama.ac.jp

## 1. はじめに

REBCO 溶融凝固バルクは、強磁場を捕捉した強力超伝導磁石や超伝導電流リードとしての応用が進められてい る。REBCO 材料では優れた超伝導特性を実現するための不定比酸素量制御が不可欠であるが、大型擬似単結晶と みなせる溶融凝固バルクでは酸素拡散が遅く、通常数百時間という長時間の酸素アニールが必要となる。これに 対し我々は水蒸気含有酸素雰囲気中でのアニールによって、超伝導特性を低下させることなく通常の乾燥酸素雰 囲気下に比べて酸素拡散が大きく促進されることを見出した。これまでの研究で水蒸気含有酸素アニールによっ て REBCO 結晶中に多数の積層欠陥が導入されることを明らかにしており、これらが高速拡散パスとして寄与す ると考えている<sup>III</sup>。本研究では、高速酸素アニールプロセスの最適化を引き続き進めるとともに、マルチドメイン のバルクに対しても同様のアニールを行うことでバルク体における酸素拡散機構の解明を目指した。

## 2. 実験方法

RE として Y を選択し、Pt を 0.1 wt%, Ag<sub>2</sub>O を 10 wt%添加した YBCO 溶融凝固バルクおよび Pt のみ添加し Ag 無添加の YBCO 溶融凝固バルクを、NdBCO 単結晶を種結晶とした top-seeded melt-growth 法によって複数作製し た。典型的な結晶育成後のバルクの大きさは~13 mm $\phi \times 11$  mm<sup>4</sup> である。これらのバルクに対して水蒸気含有酸素 雰囲気(wet O<sub>2</sub>)下( $P_{H2O} \sim 2$  kPa) もしくは乾燥酸素雰囲気(dry O<sub>2</sub>)下で 400°C において酸素アニールを行い、質量の 時間変化から YBCO バルク中における酸素の化学拡散係数  $\tilde{D}$  を見積もった。なお、 $\tilde{D}$ の解析ではバルクは均質な 円柱であり、酸素拡散は *ab* 面内でのみ進行し、拡散係数は酸素量に依存せず一定であると仮定している。

## 3. 結果と考察

ここでは、より顕著な違いの見られた Ag 無添加 YBCO 溶融凝固バルクに対する酸素アニール結果について報告する。シングルドメイン、マルチドメインバルクを含む3種のバルク(#4,#5,#6)を作製し、wet O2 もしくは dry O2 アニールを施し質量変化を調べた。3種のバルクの諸元とアニール条件を Table 1 に示す。Fig. 1 に3種のバルクの アニール時間と平衡状態で規格化したバルク質量の関係を示す。dry O2 アニール試料に対して、wet O2 アニール試料では化学拡散係数として5倍以上酸素拡散が促進されることが示された。通常の dry O2 アニールでは300h でも平衡状態に達していないのに対し、水蒸気を導入することでおよそ100h 程度で酸素アニールが完了することが 明らかになり、水蒸気導入による酸素アニール過程高速化の有用性が示された。さらに、シングルドメインバルク とマルチドメインバルクを比較するとほとんど同一の質量の時間変化の振る舞いを示していることが分かる。こ

れは、溶融凝固バルクにおける酸素拡散は、バルクサイズではな く欠陥のない微小ドメインへの拡散が律速過程となっていること を示唆している。

[1] T. Motoki et al., Supercond. Sci. Technol. (2020), in press.

## 謝辞

本研究は、科研費(19K05006)の助成を受けたものである。

Table 1. Specifications and annealing conditions for three Ag-free YBCO melt-textured bulks used in this study.

	Specification	Annealing condition	
#4	Single-domain, Ag-free YBCO	Under wet O2 at 400°C	
#5	Multi-domain, Ag-free YBCO	Under wet O <sub>2</sub> at 400°C	
#6	Single-domain, Ag-free YBCO	Under dry O₂ at 400°C	



Fig. 1. Total oxygen-annealing time dependences of mass-changes for Ag-free YBCO melt-textured bulks annealed under dry  $O_2$  or wet  $O_2$  at 400°C.