

# GdBCO+ZrO<sub>2</sub> コート線材の臨界電流密度の印加磁界角度依存性

## Angular dependence of critical current density in GdBCO+ZrO<sub>2</sub> coated conductor

木内 勝, 姫木 携造, 小田部 荘司, 松下 照男 (九工大); 宮田 成紀, 衣斐 顕, 山田 穰, 塩原 融 (SRL)  
KIUCHI Masaru, HIMEKI Keizou, OTABE Edmund Soji, MATSUSHITA Teruo (Kyushu Inst. Tech.);  
MIYATA Seiki, IBI Akira, YAMADA Yutaka, SHIOHARA Yuh (SRL)  
E-mail:kiuchi@cse.kyutech.ac.jp

### 1. はじめに

高温高磁界領域においても優れた臨界電流特性を持つ RE 系コート線材の精力的な開発が行われているが、磁界をテープ面に対して垂直に加えた場合の臨界電流密度が低いことからその特性改善が求められる。その磁界方向の臨界電流密度の向上には柱状欠陥などの強いピンの導入が有効であることから、様々な試みがなされている。特に PLD(Pulsed Laser Deposition)の成膜時に GdBCO + ZrO<sub>2</sub> のターゲットを用いることにより nano-rod 状の強いピンが導入され、臨界電流密度が大きく向上することが報告されている。したがって、今後の更なる特性改善のためにもどのような機構により臨界電流密度の向上がもたらされているのかを詳細に調べる必要がある。

ここでは、強いピンが導入された GdBCO + ZrO<sub>2</sub> コート線材の印加磁界角度依存性を測定し、その結果を磁束クリープ・フローモデルの解析と比較し、nano-rod 欠陥のピンニング特性を調べる。

### 2. 実験

測定試料は IBAD 法で作製された Hastelloy 基板上に GZO 及び CeO<sub>2</sub> を堆積させ、その上に GdBCO + ZrO<sub>2</sub> のターゲットを用いて PLD で成膜した Gd コート線材である。超電導体の厚さは 1.2 μm である。臨界電流密度の測定には直流四端子法を用いた。また、試料に加える磁界はテープ面に平行方向を 0°、テープ面に垂直な方向を 90°とした。臨界電流密度は  $E_c = 1.0 \times 10^{-3}$  V/m で決定した。尚、抵抗率の温度依存性から求めた臨界温度は 91.2 K だった。

### 3. 結果及び検討

Fig. 1 に 77.3 K における臨界電流密度の印加磁界角度依存性を示す。1 T では垂直磁界下の臨界電流密度は平行磁界下の臨界電流密度より大きく、強いピンが導入されていることがわかる。また、3 T においてもほとんど磁界方向に依存しないフラットな特性になっており、これは nano-rod 欠陥の方位が  $c$  軸方向からある程度広がって分布しているためであると考えられる。同様な手法で作製されたコート線材の TEM 画像から、nano-rod 欠陥が  $c$  軸方向から数~数十°ずれていることが確認できる [1]。

この nano-rod 欠陥の方位と  $c$  軸方向のずれがどのように臨界電流密度に影響を与えるかを調べるために、磁束クリープ・フローモデルを用いて解析を行った。ここではバックグラウンドの点状ピンに超電導体の異方性の影響を考慮し、これと導入された nano-rod 欠陥による異方性の効果を重畳した。具体的には欠陥の  $c$  軸方向からのずれを正規分布で表し、そのずれが面内で一様に分布していると仮定した。さらに、その欠陥が一本の磁束線と相互作用する体積から要素的ピン力の印加磁界角度依存性すなわち異方性の効果を考慮して、理論的に臨界電

流密度を求めた。Fig. 2 に  $c$  軸方向からのずれを HWHM = 20°とした場合の臨界電流密度の印加磁界角度依存性に示す。50°近傍で  $J_c$  の緩やかな減少はあるが定性的に一致した結果が得られた。なお、この減少は nano-rod 欠陥の  $c$  軸方向からのずれは、解析に用いた HWHM = 20°程度でなく、もっと幅広く分布していること示唆するものである。

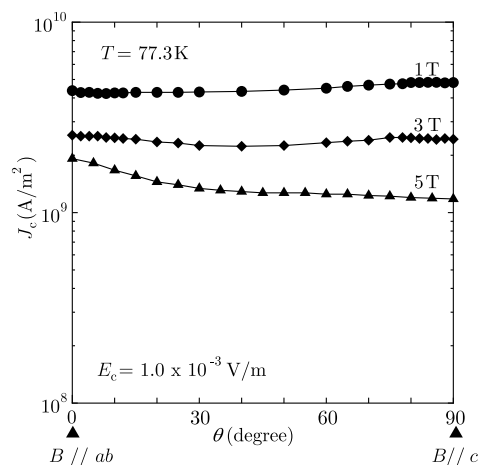


Fig. 1: Angular dependence of critical current density at 77.3 K.

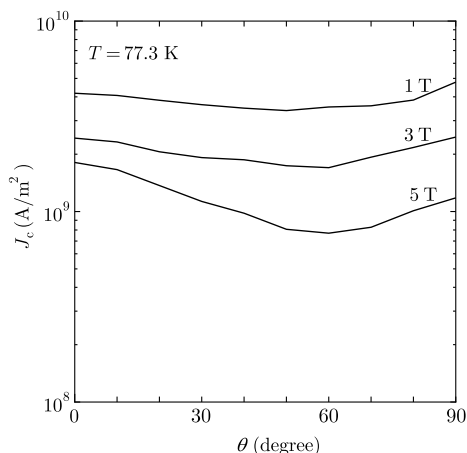


Fig. 2: Theoretical result predicted by the flux creep-flow model.

**謝辞** 本研究は、超電導応用基盤技術開発の一環として、ISTEC を通じて NEDO から委託を受けて実施したものである。

### 参考文献

[1] K. Takahashi *et al.* Supercond. Sci. Technol. **19** (2006) 924.