

# Bi-2223 テープ材組織と臨界電流特性に 及ぼす磁場の影響

## Effect of the magnetic fields on microstructure and critical current properties of the Bi-2223 tapes

秋田大工学資源学部 魯 小葉、菅原和久、  
東北大金研 渡辺和雄、

X.Y. Lu<sup>A</sup>, K. Sugawara<sup>A</sup>, K. Watanabe<sup>B</sup>

<sup>A</sup> Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University,

<sup>B</sup> Institute for Materials Research, Tohoku University,

### 1. はじめに

我々はこれまでに Bi-2223 相組成を用い Bi-2223 相の生成と配向性について溶融・凝固・焼結プロセスにより検討してきた。溶融・凝固により生成した超伝導相は Bi-2201 および Bi-2212 相で、表面および基板界面近傍では薄く配向して生成し、Bi-2223 相は凝固後の長時間の焼結により生成し、配向性は凝固生成した Bi-2201 および Bi-2212 相の配向性を受け継ぐことを明らかにした。さらに、強磁場中での半溶融・凝固後の Bi-2223 相の生成と配向性を調べた。半溶融・凝固後の試料では磁場方向に c 軸配向した Bi-2212 相が生成した。さらに大気中 840°C で 240 h 焼結すると、これらの c 軸配向した Bi-2212 相は c 軸配向した Bi-2223 相に転換する。これまでの磁場中での Bi 系超伝導相の結晶成長はバルク材とテープ材の組織と臨界電流特性に及ぼす磁場の影響について検討したが、強磁場における変温焼結による研究は行われていない。

本研究では、原料に高体積率で Bi-2223 相が得られる市販の共沈 Bi-2223 粉末を用い銀シーステープ線材を作製し、強磁場中でそれらを焼結処理することにより高密度化および高配向化を図り、高  $J_c$  材料の作製を試みるものである。高密度化および高配向化には半溶融処理が有効に働き、そのとき同時に強磁場を付加すること

は、結晶の帯磁率の異方性を利用して配向性をさらに改善することが期待される。

### 2. 実験方法

$\text{Bi}_{1.85}\text{Pb}_{0.35}\text{Sr}_{1.90}\text{Ca}_{2.05}\text{Cu}_{3.05}\text{O}_x$  組成の湿式共沈粉末（同和株式会社製）を用いて、PIT 法により、銀シース Bi-2223 テープ材を作製した。これらのテープ試料をイソライトレンがにのせ、超伝導マグネットに組み込まれた電気炉中にテープ試料表面が磁界  $H_a$  に垂直になるようにセットし、大気中 10T 磁場中で次のような 5 種類の熱処理を行う：(a) 835°C で 120 時間等温焼結、(b) 840°C → 835°C で 120 h の変温焼結、(c) 845°C → 835°C で 120 h の変温焼結、(d) 850°C → 835°C で 120 h の変温焼結、(e) 835°C → 840°C で 120 h の変温焼結。これらのテープ試料を X 線回折、帯磁率測定、臨界電流密度測定などにより、テープ材の組織および超伝導特性について検討した。

本研究では近似的に次のような Bi-2223 相の配向度  $f$  と生成率  $V$  を評価方法を用いた。

$$f = I(0010)_{2223} / (I(0010)_{2223} + I(115)_{2223}) \quad (1)$$

$$V = I(0010)_{2223} / (I(0010)_{2223} + I(008)_{2212}) \quad (2)$$

ここに  $I(0010)_{2223}$  と  $I(115)_{2223}$  はそれぞれ Bi-2223 相の (0010) と (115) 回折ピーク強度であり、 $I(008)_{2212}$  は Bi-2212 相の (008) 回折ピーク強度である。

### 3. 実験結果および考察

Fig.1には10T磁場中それぞれ835°Cで120時間等温焼結、840°C→835°Cで120hの変温焼結、845°C→835°Cで120hの変温焼結、850°C→835°Cで120hの変温焼結、835°C→840°Cで120hの変温焼結した試料の帯磁率の温度依存性を示す。全ての試料には2種類の超伝導相（Bi-2212相とBi-2223相）に相当する反磁性が約80Kと108Kで現われる。845°C→835°Cで120hの変温焼結した試料が一番大きなBi-2223相の反磁性を示した。

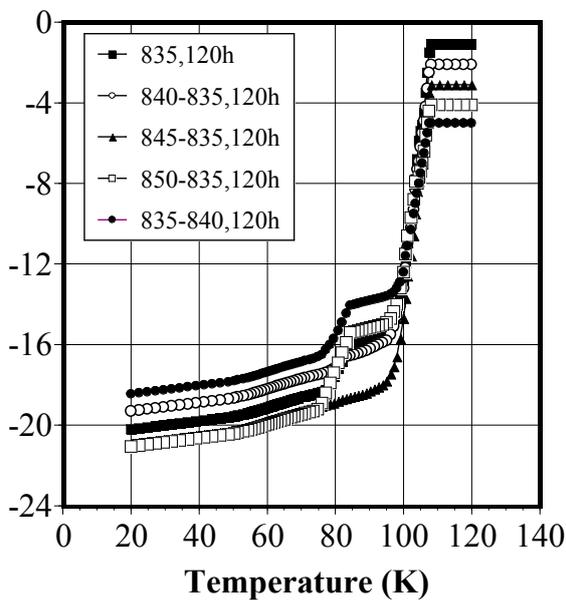


Fig.1 10T磁場中でそれぞれ835°Cでの等温焼結、840°C→835°Cでの変温焼結、845°C→835°Cでの変温焼結、850°C→835°Cでの変温焼結、835°C→840°Cでの変温焼結した試料の帯磁率の温度依存性

Fig.2は10T磁場中それぞれ835°Cで120時間等温焼結、840°C→835°Cで120hの変温焼結、845°C→835°Cで120hの変温焼結、850°C→835°Cで120hの変温焼結、835°C→840°Cで120hの変温焼結した試料の中心部でのX線回折パターンである。845°C→835°Cで120hの変温焼結した試料が一番大きなBi-2223相の回折ピーク強度を示し、Bi-2212相の回折ピークがほとんど観察されなかった。

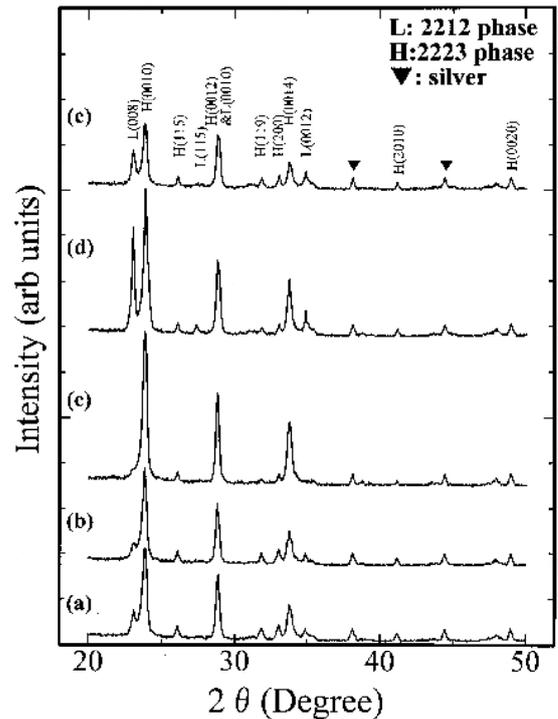


Fig.2 10T磁場中でそれぞれ835°Cで等温焼結(a)、840°C→835°Cの変温焼結(b)、845°C→835°Cでの変温焼結(c)、850°C→835°Cでの変温焼結(d)、835°C→840°Cでの変温焼結(e)した試料の中心部でのX線回折パターン

Fig.3に10T磁場中それぞれ835°Cで120時間等温焼結、840°C→835°Cで120hの変温焼結、845°C→835°Cで120hの変温焼結、850°C→835°Cで120hの変温焼結、835°C→840°Cで120hの変

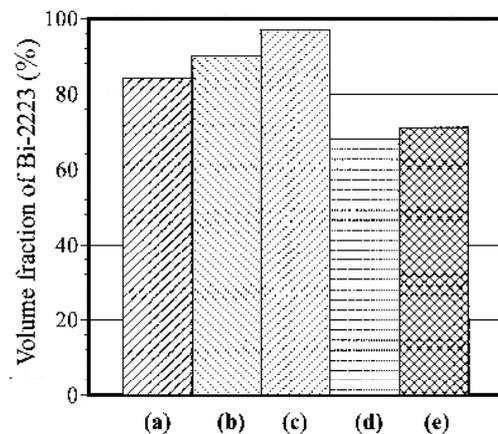


Fig.3 835°Cでの等温焼結(a)、840°C→835°Cでの変温焼結(b)、845°C→835°Cでの変温焼結(c)、850°C→835°Cでの変温焼結(d)、835°C→840°Cでの変温焼結(e)した試料のBi-2223相の生成率

温焼結した試料の Bi-2223 相の生成率である。835°Cでの等温焼結より、高い温度から低い温度までの変温焼結の 840°C→835°Cでの変温焼結、と 845°C→835°Cでの変温焼結は Bi-2223 相が多く生成した。しかし、高い温度からでも開始温度が高すぎる（855°C以上）と、Bi-2223 相の生成率は大きく減少した。845°C→835°Cでの変温焼結テープ材では最も高い Bi-2223 相の生成率を示した。低い温度から高い温度までの 835°C→840°Cでの変温焼結は低い Bi-2223 相の生成率を示した。

Fig.4 に 10 T 磁場中それぞれ 835°C で 120 時間等温焼結、840°C→835°C で 120 h の変温焼結、845°C→835°C で 120 h の変温焼結、850°C→835°C で 120 h の変温焼結、835°C→840°C で 120 h の変温焼結した試料の Bi-2223 相の配向度である。835°Cでの等温焼結および低い温度から高い温度までの 835°C→840°Cでの変温焼結より、高い温度から低い温度までの変温焼結の方が Bi-2223 相の配向度が高い。高い温度から低い温度までの変温焼結における開始温度は上昇に伴い、Bi-2223 相の配向度は高くするが、開始温度が 845°C以上になると、Bi-2223 相の配向度はほぼ一定になる。

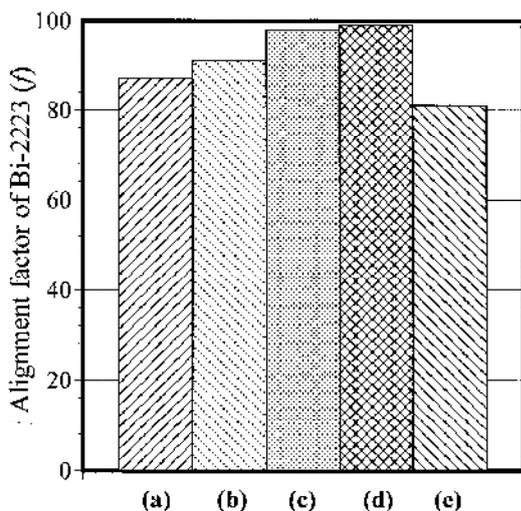


Fig.4 835°Cでの等温焼結(a)、840°C→835°Cでの変温焼結(b)、845°C→835°Cでの変温焼結(c)、850°C→835°Cでの変温焼結(d)、835°C→840°Cでの変温焼結(e)した試料の Bi-2223 相の配向度

Fig.5 に 10 T 磁場中それぞれ 835°C で 120 時間等温焼結、840°C→835°C で 120 h の変温焼結、845°C→835°C で 120 h の変温焼結、850°C→835°C で 120 h の変温焼結、835°C→840°C で 120 h の変温焼結したテープ材の臨界電流密度である。835°Cでの等温焼結および低い温度から高い温度までの 835°C→840°Cでの変温焼結より、高い温度から低い温度までの変温焼結の 840°C→835°Cおよび 845°C→835°Cでの変温焼結の方が高い臨界電流密度を示した。845°C→835°Cでの変温焼結のテープ材では最も高い臨界電流密度を示した。

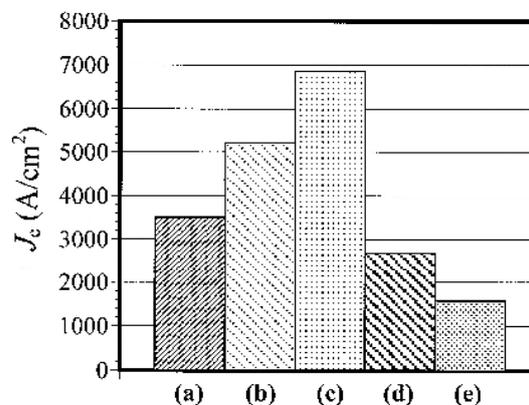


Fig.5 835°Cでの等温焼結(a)、840°C→835°Cでの変温焼結(b)、845°C→835°Cでの変温焼結(c)、850°C→835°Cでの変温焼結(d)、835°C→840°Cでの変温焼結(e)したテープ材の臨界電流密度

#### 4. まとめ

10 T 磁場中でそれぞれ 835°C で 120 時間等温焼結、840°C→835°C で 120 h の変温焼結、845°C→835°C で 120 h の変温焼結、850°C→835°C で 120 h の変温焼結、835°C→840°C で 120 h の変温焼結を行った結果より、835°Cでの等温焼結および 835°C→840°Cでの変温焼結より、高い温度から低い温度の変温焼結の方が Bi-2223 相の生成率と配向度が高い。しかし、高い温度からでも開始温度が高すぎる（855°C以上）と、Bi-2223 相の生成率は大きく減少した。845°C→835°Cでの変温焼結テープ材では最も高い Bi-2223 相の生成率および配向度を示し、最も高い臨界電流密度を示した。