



Title	金を添加したBi系コンポジットの臨界電流特性とその評価
Author(s)	足立, 吟也; 今中, 信人
Citation	大阪大学低温センターだより. 1991, 73, p. 13-16
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/8214">https://hdl.handle.net/11094/8214</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

# 金を添加したBi系コンポジットの 臨界電流特性とその評価

工学部 足立吟也、今中信人（吹田4253）

酸化物超伝導体は超伝導転移温度 ( $T_c$ ) がNb-Ti、Nb<sub>3</sub>Sn等従来の超伝導体と比べ、飛躍的に上昇した点でたいへん魅力ある超伝導体である。しかしながら、その臨界電流密度 ( $J_c$ ) は従来の金属系超伝導体と比較して極端に低い。それに加えて、 $J_c$  値は磁場の印加により大幅に低下する。これは、粒界での Weak-link の存在や、比較的低磁場で磁束クリープが発生するためであると考えられている。

そこで、我々は酸化物超伝導体と反応せず、焼成しても単体として超伝導体中に存在することが期待される金や銀を酸化物超伝導体に添加し、コンポジット化することにより、これらの欠点の改善を試みた。ここでは、金をBi-Pb-Sr-Ca-Cu-O系に添加したコンポジットの場合について紹介する。金無添加、及び、金添加コンポジットにおいて、超伝導転移終了温度 ( $T_c^{90}$ ) は 103–110 K 程度であり、Au wt % と  $T_c^{90}$  との間には明瞭な関係は認められなかった。従って、Bi系への金の添加は  $T_c^{90}$  に影響を及ぼさないことがわかった。ここで、用いたAuの粒度分布を図1に示す。平均粒径は約24  $\mu\text{m}$ 、標準偏差は約12である。

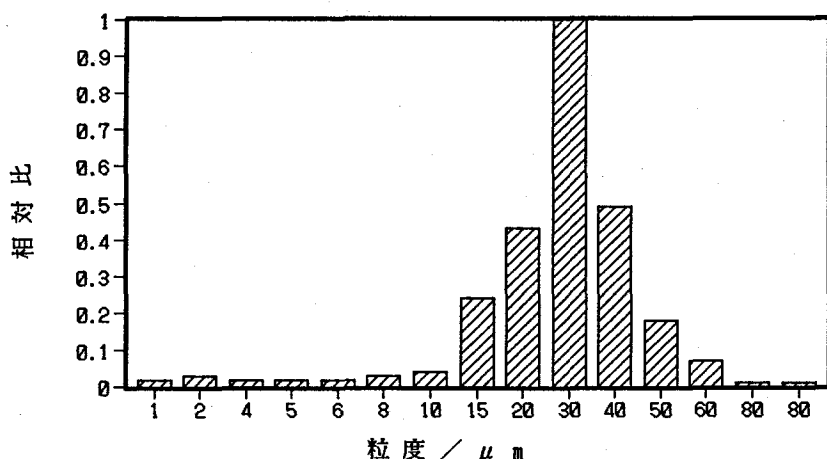


図1. 金粉末の粒度分布 (30  $\mu\text{m}$  を1とした時の相対比)

次に、Au wt % に対するBi系超伝導体の  $J_c$  の変化を図2に示す。金無添加Bi系の場合、試料の厚みが減少するとともに  $J_c$  値は約180、約530、約680  $\text{A}/\text{cm}^2$  と大幅に上昇し、明らかに厚さ依存性が認められた。また、同程度の厚さを持つ試料では、金を添加することにより、 $J_c$  値は一次的に上昇し、その上昇の割合は厚さが薄い程顕著であった。従って、金を添加しコンポジット化することにより、 $J_c$  値が上昇すること、さらに試料の厚さが減少するに従い  $J_c$  値は大きく向上することがわかる。

図3に測定した  $J_c$  と試料の厚さとの関係を示す。 $J_c$  値は厚みに依存しており、金無添加(標準)試料、金添加コンポジットともにほぼ同じ曲線に乗ることがわかる。試料厚みの減少による  $J_c$  の向上は主に超

伝導体の高密度化、高配向性に起因するものとされているが、ここでは、銀シース超伝導体のようにロール法ではプレスしておらず、c 軸配向性は認められない。

ところで、 $J_c$  値自体本来は規格化されているはずであるが、ここで示した様に試料の厚さに依存する。そこで、種々の厚さの異なる試料間で直接  $J_c$  の比較が可能な新しい規格化の方法を検討した。

超伝導が壊れた時、抵抗が生じジュール熱を発生する。このジュール熱が液体窒素冷媒からの熱的冷却を越える時超伝導が壊れると仮定して臨界電流密度の再検討を行った。

ジュール熱は次式のように書ける。

$$Q = V \cdot I \quad (\text{J/s}) \quad (1)$$

ここで  $Q$ ,  $V$ ,  $I$  はそれぞれジュール熱、電圧、電流である。また、熱伝導は以下のように書ける。

$$q = Y \cdot M (t_s - t_l) / X \quad (\text{J/s}) \quad (2)$$

ここで、 $q$ ,  $Y$ ,  $M$ ,  $t_s$ ,  $t_l$ ,  $X$  はそれぞれ熱伝搬速度、熱伝導度、表面積、試料の中心温度、試料表面の温度、温度  $t_s$ ,  $t_l$  間の距離である。また、Bi 系の 77 K における熱伝導は  $1.03 \text{ J/m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^{-1}$  と報告されているので、式 (1)、(2) より式 (3) が得られる。

$$J_c^* = \frac{1.187 \times 10^3 (B + D)}{B \cdot D} \quad (3)$$

式の変形については文献<sup>2)</sup>を御参照頂きたい。Bi 系標準試料の  $J_c/J_c^*$  の試料厚さ依存性を図 4 に示す。 $J_c/J_c^*$  値は 1 に近く、バルク試料の厚み、 $D$ 、には依存しないことがわかる。(なお  $B$  は試料の幅を表わす。) つまり、 $J_c/J_c^*$  比は試料の厚さに関係なく、ほぼ一定であり、この値の大小によって異なる厚さの試料間の臨界電流特性を比較できる。たとえば、図 5 に示す様に金を添加した Bi 系コンポジットでは  $J_c/J_c^*$  が約 2 であり、Bi 系標準試料と比較して臨界電流特性が約 2 倍向上したことがわかる。とこ

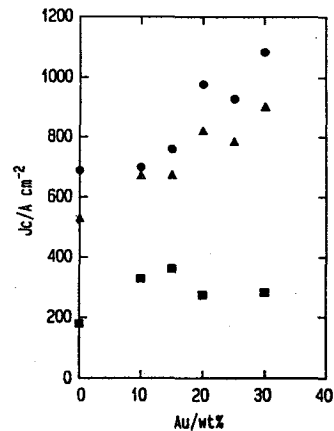


図 2. 77K における Bi 系コンポジットの Au wt% に対する  $J_c$  の変化 (●、▲、■ の厚さはそれぞれ 0.030-0.047, 0.035-0.051, 0.085-0.095 cm)

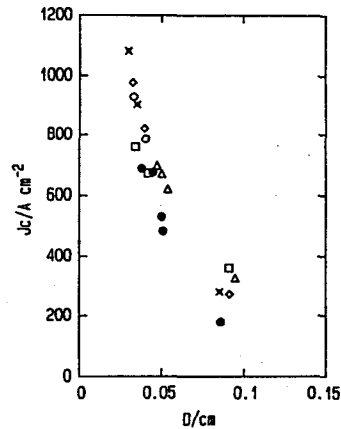


図 3. Bi 標準試料、及び Au を添加した Bi 系コンポジットの厚さに対する  $J_c$  の変化  
●: 標準試料  
△: Bi-Au (10 wt%)  
□: Bi-Au (15 wt%)  
◇: Bi-Au (20 wt%)  
○: Bi-Au (25 wt%)  
×: Bi-Au (30 wt%)

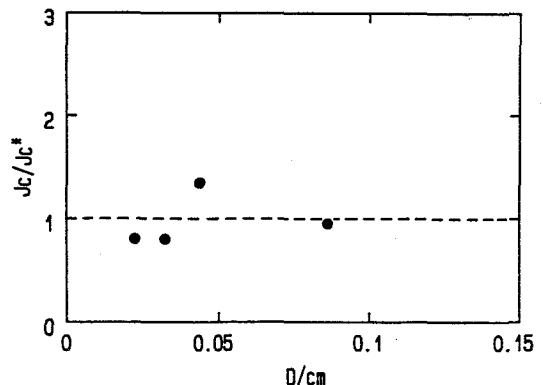


図 4 Bi 系標準試料の  $J_c/J_c^*$  と  $D$  の関係

ろで、ここで述べた新しい規格化法はバルク試料に関する方法である。

そこで、バルクから薄膜まで、 $J_c$ の比較が可能な規格化への発展を試みた。<sup>3)</sup> 薄膜の場合、 $D$ 値は $B$ 、 $(B+D)$ 値よりはるかに小さいため、式(3)は式(4)のように簡略化できる。

$$J_c^* = 1.187 \times 10^3 / D \quad (4)$$

ここで得られる $J_c^*$ は我々が合成したBi系超伝導体の $J_c$ データから得られたものである。従って、我々が合成したBi系超伝導体を薄膜まで薄くした時の $J_c$ 値は簡単に見積ることができる。式(4)の対数を求めると次式が得られる。

$$\log J_c^* = 3.070 - \log D \quad (5)$$

図6にバルクから薄膜までの代表的なBi系超伝導体の $\log J_c$ と $(-\log D)$ との関係を示す。試料の厚みを考慮にいとそれぞれの $J_c$ 値は我々の合成したバルク試料の $J_c$ とほぼ同等の $J_c$ 特性を示すことがわかる。 $J_c$ 値が実線よりも高いBi系超伝導体は我々の超伝導体よりも臨界電流特性が優れていることを示している。また、我々の試料( $J_c$ が $680 \text{ A/cm}^2$ ：厚さが $0.038 \text{ cm}$ )でも $2.0 \times 10^{-7} \text{ m}$ の厚さまで外挿すると $J_c$ 値は $5.6 \times 10^9 \text{ A/m}^2$ となる。

以上の様に、試料まわりからの冷媒による冷却熱量よりもジュール熱による発熱量の方が多かった時超伝導が壊れると仮定し、新しい臨界電流特性を評価する規格化法を提案した。その結果、いかなる厚さの試料でも超伝導体の $J_c$ 特性が比較可能となり、バルクから薄膜までの $J_c$ を直接評価できることがわかった。

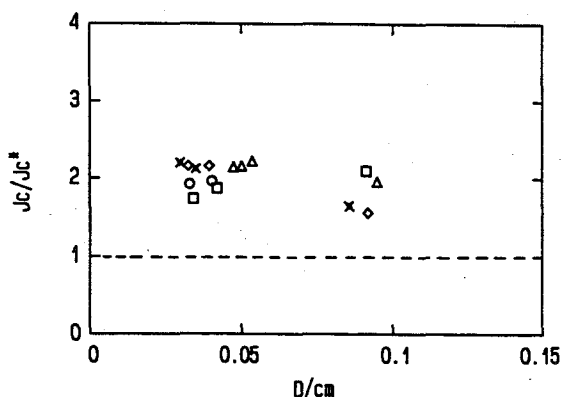


図5. Auを添加したBi系コンポジットの $J_c/J_c^*$ と $D$ との関係  
 $\triangle$ : Bi-Au(10 wt%)  
 $\square$ : Bi-Au(15 wt%)  
 $\diamond$ : Bi-Au(20 wt%)  
 $\circ$ : Bi-Au(25 wt%)  
 $\times$ : Bi-Au(30 wt%)

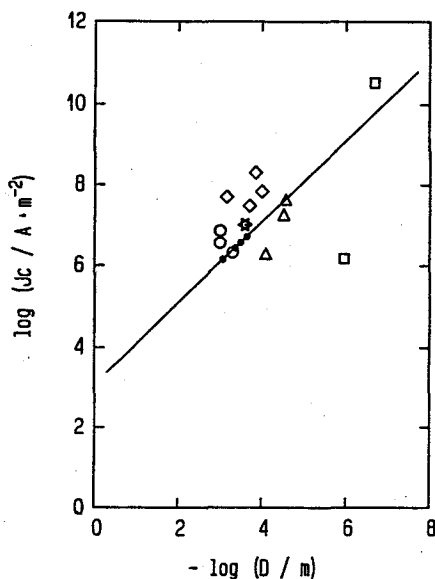


図6. 種々のBi系超伝導体の77 Kにおける $J_c$ と試料厚さとの関係  
 $\square$ : 薄膜、 $\triangle$ : 厚膜  
 $\diamond$ : Agシース、 $\star$ : 単結晶  
 $\circ$ : バルク、 $\bullet$ : 合成したバルク

## 参考文献

- 1) S. D. Peacor and C. Uher, Phys. Rev. B **39**, 11559 (1989).
- 2) N. Imanaka, H. Imai, and G. Adachi, Jpn. J. Appl. Phys., **28**, L2158(1989).
- 3) G. Adachi, H. Imai, and N. Imanaka, Jpn. J. Appl. Phys., **29**, L878 (1990).

### ヘリウム供給量の調整にご協力ください！

豊中分室

卒業実験の追込みを間近にし、液体ヘリウムの供給希望量が飽和状態にあります。1日の供給希望量枠を120ℓ（600ℓ／週）にまで拡げて申し込みを受け付けていますが、キャンセル待ちが毎週200ℓ以上になっています。これまで、回収ガスの精製装置の改良によってガス純度を向上させるなど、液化機の老朽による能力低下をカバーする措置を計ってきましたが、最良の状態でも時間当り18ℓの現液化能力では、蒸発分も考慮すると、キャンセル待ち分までも含めた供給はできません。

このため、月間使用予定量を大幅にオーバーして希望する研究室より、順次供給量を削減し、キャンセル待ちへの振替を行なっていますので、センター職員の行なう調整措置にご理解・ご協力をお願いします。