

ビスマス系酸化物超伝導体の 線材化に関する研究

工学研究科
筑波大学

2001年3月

根本善弘

寄	贈
根本善弘氏	平成 年 月 日

目次

1. はじめに	1
1-1. 超伝導現象	1
(a)超伝導の原理	
(b)電氣的性質(永久電流、トンネル効果など)	
(c)磁氣的性質(磁束の量子化)	
(d)磁束の運動と磁束ピン止め	
1-2. 超伝導体の種類	5
(Hg~Nb·Ti~NbN~Nb ₃ Sn~PbMo ₆ S ₈ ~Rb ₃ C ₆₀ ~BaKBiO~La ₂ 14~Hg1223)	
(a)元素系	
(b)合金系	
(c)B1 型化合物	
(d)A15 型化合物	
(e)シェブレル相	
(f) A ₃ C ₆₀	
(g) BPBO、BKBO	
(h) 214 系(銅酸化物)	
(i) RE123 系(銅酸化物)	
(j) Bi 系(銅酸化物)	
(k) Tl-1、Tl-2(銅酸化物)	
(l) Hg 系(銅酸化物)と Tc の圧力効果	
(m) Cu1234(銅酸化物) (高圧合成法による作製)	
(n) Pb2213、Bi2212+I ₂ (インターカレーション) (銅酸化物)	
1-3. 線材開発の現状	27
(a) 金属系 : Nb·Ti、Nb ₃ Sn、Nb ₃ Al、Nb ₃ (Al、Ge)	27
(a-1)Nb·Ti、Nb·Ti·Ta、Nb·Ti·Ta·Hf : 時効熱処理法(α-Ti)、人工ピン線材	
(a-2) 室温で平衡な A15 化合物のプロング法による作製法 : Nb ₃ Sn、(Nb、Ti) ₃ Sn、(Nb、Ti、Ta) ₃ Sn	
(a-3) 室温で非平衡な A15 化合物の急熱急冷変態法とその応用による作製法 : Nb ₃ Al、Nb ₃ (Al、Ge)	
(b) 銅酸化物系 : Bi2212、BiPb2223、RE123	33
(b-1) Bi2212/Ag : powder in tube 法、ディップコート法 - 部分熔融除熱処理	
(b-2) BiPb2223/Ag : powder in tube 法(mechanical alloying) - 液相焼結	
(b-3) RE123 : IBAD 法、RABITS 法、SOE 法 - レーザーアブレーション法、LPE 法	

1-4. 超伝導マグネット	36
(a)線材の形状と巻き線法	
(b)永久電流モードの安定度(金属系、銅酸化物系)	
(c)水冷銅コイル、ハイブリットマグネットとの比較(安定度、運転コスト)	
(d)He 資源と伝導冷却マグネット	
①高温超伝導電流リード	
②磁性蓄冷材	
③パルスチューブ GM 冷凍機	
1-5. 超伝導マグネットの応用例	40
(a)高分解能 NMR (核磁気共鳴)	
(b)MRI(NMR-CT)	
(c)磁場閉じ込め式核融合炉	
(d)SMES	
(e)リニアモーターカー	
(f)超伝導電磁推進船	
(g)単結晶育成装置(電磁ブレーキによる対流防止)	
(h)磁気分離	
2. ディップコート法 Bi2212 線材の作製方法及び 評価法	44
2-1. 作製法	44
①ディップコート法 (スラリー、キャリアシートの作製法)	
②基板	
③熱処理方法、熱処理中の酸素分圧	
④PAIR 法 (Pre-Annealing and Intermediate Rolling Method)	
2-2. 評価法	45
⑤Ic 測定	
⑥ACS(交流帯磁率)	
⑦SEM/EDX	
⑧XRD	
⑨HT-XRD (高温 X-Ray Diffraction)	
⑩HT-OM (高温光学顕微鏡)	
⑪機械的強度	
⑫曲げ歪み依存性	
2-3. Bi2212 の部分溶融状態	47

3. アモルファス粉を使った Bi-2212 線材の臨界電流密度特性	49
3-1. HT-OM でみた Bi2212 焼結粉と Bi2212 アモルファス粉の部分熔融状態の組織の違い	
3-2. HT-XRD でみた Bi2212 焼結粉と Bi2212 アモルファス粉の部分熔融状態における相の違い	
3-3. アモルファス粉を用いてディップコート法で作製した Bi2212/Ag 線材の臨界電流密度と組織	
3-4. 結論	
4. BiPb1212 の合成と超伝導特性	51
4-1. 1, 21, 100%O ₂ の各酸素分圧中で合成した焼結粉の XRD で評価した BiPb1212 と BiPb2212 の割合と SQUID で検出された超伝導シグナルの大きさ	
4-2. 各仮焼段階における BiPb1212 と BiPb2212 の割合の変化と超伝導シグナルの変化	
4-3. 各 Bi/Pb 比で仕込んだ BiPb1212 粉の中の BiPb1212 と BiPb2212 の割合と超伝導シグナルの大きさ	
4-4. BiPb1212 と BiPb2212 の DTA 曲線の違い	
4-5. 様々な基板上での部分熔融させて作製した BiPb1212 の組織	
4-6. 結論	
5. Bi2212/Ag/Ni 線材の作製	56
5-1. はじめに	56
5-2. Ag/Ni のクラッド材を基板とした Bi2212 線材	62
5-2-1. クラッド材及び Bi2212 線材の製法	62
5-2-2. クラッド基材の影響 (Ag/Ni と Ag/SUS の比較)	67
5-2-3. Ag/Ni クラッド基材の形状と厚みの影響	73
① Ag/Ni (10/90 μm)基板を用いた場合	
② Ag/Ni(5/45 μm)基板を用いた場合	
③ Ag/Ni/Ag (10/50/10 μm)基板を用いた場合	
5-2-4. 機械特性: 引っ張り強度、I _c の曲げ歪み依存性	88
5-2-5. NiO/Ni 基板の試み	93
5-2-6. Ag/Ni クラッド材を用いた場合の問題点と対策	94
①Cu、Ni の拡散	
②Ni の酸素の吸収	
③Ag と Ni 剥離と Ag の膨らみ	
④Ag にできる穴	
⑤対策	
5-3. まとめ	96

Appendix A、 B、 C	9 7
参考文献	1 0 1
公表論文目録	1 0 2