

学生番号	16676118	氏名	田邊 裕也
論文題目	第四元素添加されたブロンズ法 Nb ₃ Sn の 超伝導特性に関する研究		

1.はじめに

超伝導 Nb₃Sn への少量チタン(Ti)添加は、Nb₃Sn 層への固溶に伴った空格子点の増加により、Sn の格子拡散係数を増大し、Nb₃Sn の結晶成長を促進させる[1]。更にこの添加は結晶粒の微細化による結晶粒界面の増加とコヒーレンス長の収縮効果から、臨界電流密度 J_c と上部臨界磁界 B_{c2} が向上する[2]。一方で、タンタル(Ta)、ガリウム(Ga)、及びハフニウム(Hf)の添加も B_{c2} の向上、マグネシウム(Mg)又はゲルマニウム(Ge)添加はピン力密度 F_p の向上、Hf 添加は Nb₃Sn の結晶成長の促進等様々な効果も知られている。ただし、このような元素の最適化に関する調査はまだ十分に行われていない。したがって、更なる高特性を有する新しい Nb₃Sn 材料の開発のためには、どのような元素又は組み合わせがどの特性にどのように有効なのかを明らかにする必要がある。

以上の背景から、本研究では初期の試みとして Ti 添加された Nb₃Sn 用ブロンズ(組成: Cu-15Sn-0.3mass%Ti)に、さらに第四元素として Mg、Hf、Ge、Ga、Ta を添加し、高磁界応用で重要な特性である J_c と B_{c2} 特性へどのような影響を与えるかについて調べた。

2. 試料諸元と実験方法

測定に用いた試料は、ブロンズ法で作製された Nb₃Sn である。本研究ではブロンズに Ti を添加した Cu-15Sn-0.3Ti を試料作製の出発材料とし、このブロンズに、第四元素として Mg(+0.5mass%)、Hf(+0.5mass%)、Ge(+0.05mass%)、Ga(+5.0mass%)、Ta(+0.08mass%)を添加した。熱処理温度は 700°C で固定化し、熱処理時間は 50 時間、100 時間の 2 パターンである。したがって、本研究に用いた試料は、第四元素無添加の ST 試料と合せて全部で 12 種類である。試料の断面観察、Nb₃Sn 層の厚さの評価は、EMPA(電子プローブマイクロアナライザー)を用いて行われた。

今回の実験では、第四元素添加により、 J_c 、 T_c 、 B_{c2} が変化している可能性があった。したがって、測定では、4.2 - 14 K における直流磁化測定の結果から、各温度における J_c - B 特性を求めた。 T_c 近傍における直流磁化率の温度依存性から B_{c2} - T 特性を求めた。また、ピン力密度 F_p を $F_p = J_c \times B$ より求めた。その結果を用いてピンニング特性をピン力密度のスケール則($F_p \propto b^\gamma(1-b)^\delta$)を用いて調査した。 γ は磁界依存性、 δ は高磁界依存性を表す。測定には SQUID 磁力計(MPMS7)を用いた。

3. 結果および考察

全ての添加試料の J_c - B 特性において、熱処理時間が長い方が J_c の値が高い傾向にあった。また、50 時間試料、100 時間試料において、Ga 添加試料の J_c が最も低い結果となった。50 時間試料においては、 J_c の値は Mg-50 で一番高く、100 時間試料においては、 J_c の値は Hf-100 で一番高くなった。各試料において、 J_c が変化しているため第四元素添加により F_p または B_{c2} が変化することがわかった。

B_{c2} においても、熱処理時間が長い方が B_{c2} の値が高い傾向にあった。実験から得られた B_{c2} から、 B_{c2} の温度依存性式と WHH 理論[3]における式を用いて低温領域の $B_{c2}(T)$ の評価した。表 1 に各試料の 0 K における B_{c2} を示す。0 K における B_{c2} の最大、最小を示した試料と J_c の最大、

最小を示した試料が一致するため、 J_c の向上は元素添加による B_{c2} の変化によって生じている可能性がある。

求めた J_c - B 特性より F_p - B 特性を求め、ピン力密度のスケール則による解析を行った。100 時間試料の 14 K におけるピン力密度のスケール則の結果を図 1 に示す。また、各試料における γ と δ を表 2 に示す。各試料の γ と δ が異なることから、第四元素添加によりピンニング特性が変化することがわかる。特に、Ga 添加試料に関しては、50 時間試料、100 時間試料のどちらも γ と δ が他の試料と比較し、極端に悪い。したがって、Ga 添加試料は添加により B_{c2} だけでなくピンニング特性も大きく劣化したと考えられる。ただし、Ga 添加試料を除く試料において、50 時間試料と 100 時間試料とで大きく γ と δ が変化していないことから熱処理時間、添加元素の違いによって、ピンニング特性は大きく変化せず、 J_c 特性は B_{c2} の変化によって決定されていると考えられる。

表 1: 推定される各試料の 0 K における B_{c2}

	ST	Mg	Hf	Ge	Ga	Ta
50 h						
$B_{c2}(0)$ [T]	19.9	22.0	20.3	20.1	17.5	21.3
100 h						
$B_{c2}(0)$ [T]	22.4	23.5	25.9	23.1	20.7	25.3

表 2: 各試料のピン力密度のスケール則における γ と δ

	ST	Mg	Hf	Ge	Ga	Ta
50 h						
γ	0.50	0.46	0.52	0.49	0.78	0.53
δ	2.25	2.20	2.31	2.48	3.74	2.70
100 h						
γ	0.48	0.48	0.55	0.57	0.32	0.60
δ	2.47	2.20	2.17	2.49	2.58	2.67

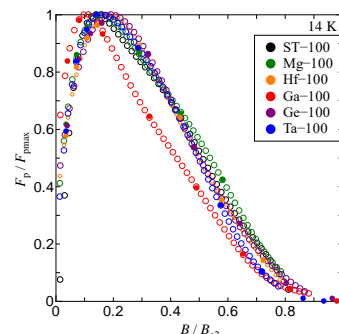


図 1: 100 時間試料の 14 K におけるピン力密度のスケール則

4. 研究業績

Y. Tanabe, *et al.*: "Upper critical fields and critical current densities of Nb₃Sn doped with fourth elements", 30th International Symposium on Superconductivity, Iino Hall and Conference Center, December 15 2017.

参考文献

- [1] T. Asano *et al.*: J. Inst. Met. Mater. 47 (1983) pp1115-1122
- [2] K. Tachikawa *et al.*: J. Appl. Phys. 53 (1982) pp5354-5356
- [3] E. Helfand *et al.*: Phys. Rev. 23 (1964) pp686-688.