

Nb₃Sn 層形成および超電導特性に与える Zn および Mg 添加効果

Impact of Zn and Mg addition on Nb₃Sn layer formation and its superconducting property

伴野信哉 (NIMS); 浅井航希 (上智大学, NIMS); 谷貝 剛 (上智大学)
BANNO Nobuya, (NIMS); ASAI Koki (Sophia Univ., NIMS); YAGAI Tsuyoshi (Sophia Univ.)

E-mail: banno.nobuya@nims.go.jp

1. はじめに

近年、Nb₃Sn 超電導線材の高性能化への要望は、高エネルギー加速器、核融合炉などの高磁場マグネット応用においてますます高まっている。高 J_c 化の突破口として、Nb 母相の内部酸化や Nb 母相の微細組織を利用した Nb₃Sn 結晶粒径の微細化が注目されているが、一方で Sn 拡散駆動力や熱力学的観点から Nb₃Sn 層の成長促進を図ることも十分な高 J_c 化の余地がある。こうした研究は、Nb₃Sn 層形成メカニズムの理解を深める手助けにもなる。本研究では、内部スズ法をベースに、Cu 母材への Zn および Mg 添加効果、および Ti の添加場所の効果、単芯のシンプルな拡散構造を持つ線材を用いて明瞭に調べた。その結果、Zn や Mg の添加によって Nb₃Sn 層形成が劇的に変化することを確かめた。

2. 実験方法

基本的な線材作製手順を以下に概説する。外径 3.3 mm の Sn 芯 (もしくは Sn 合金芯) を Cu (もしくは Cu 合金) 管 (od/id=5/3.4 mm) に挿入し、それを Nb (もしくは Nb 合金) 管 (od/id=12/5.1 mm) に挿入、さらに安定化材として Cu 管 (od/id=12/5.1 mm) に挿入する。その複合材をスエージング並びにダイス伸線により Ø0.6 mm まで加工する。得られた前駆体線材は、500 °C×100 h の予備熱処理後、650 °C×150 h もしくは 685 °C×100 h の Nb₃Sn 生成熱処理を施す。また相形成過程を調べるために、4 h 昇温で 650 °C まで加熱し、その後保持する過程で、適宜サンプリングした試料の断面観察を行った。

試料として添加元素・場所の異なる以下の 4 種類を準備した。

- A. N-C-ST: Nb/Cu/Sn=1.6wt%Ti
- B. N-CZ-ST: Nb/Cu=15wt%Zn/Sn=1.6wt%Ti
- C. N-CZM-ST: Nb/Cu=14wt%Zn-0.2wt%Mg/Sn=1.6wt%Ti
- D. NT-C-S: Nb=0.8wt%Ti/Cu/Sn

断面写真例を Fig. 1 に示す。通電測定をしたのち、臨界電流を画像解析により導出した超電導層面積で除すことで、臨界電流密度 (Layer J_c) を求めた。

3. 実験結果と考察

650 °C×150 h の熱処理した各試料の反応界面の SEM 像を Fig. 2 に示す。試料 A に比べて、Zn 添加によって Nb₃Sn 層厚が大きく成長していることがわかる (B)。無添加 (A) では反応界面に 4 元化合物が生成するが、Zn 添加ではそれらが分離しはじめ、代わりに粗大な Nb₃Sn 層が薄く形成されている。これは Sn 拡散駆動力が増大していることの結果と考えられる [1]。一方さらに Mg を共添加すると (C)、Sn 拡散駆動力が若干低下し、ちょうど無添加と Zn 添加の間のような組織が得られる。Ti を Nb に添加すると (D)、界面の 4 元化合物が生成しなくなり Sn 拡散駆動力が増大するが、かえって粗大な Nb₃Sn 層の生成が促進されてしまい、微細 Nb₃Sn 層の成長は小さかった。

Fig. 3 に各試料の Layer J_c 測定結果を示す。今回の実

験では、Nb/Sn 拡散長が大きく、また Sn 拡散駆動力に応じた熱処理条件も最適化されていないことから、一概には比較できないが、Layer J_c の観点では、Zn と Mg 共添加が高い J_c を示す傾向がみられた。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP23K04453 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] N. Banno, Low-temperature superconductors: Nb₃Sn, Nb₃Al, and NbTi, Superconductivity 6 (2023), <https://doi.org/10.1016/j.supcon.2023.100047>

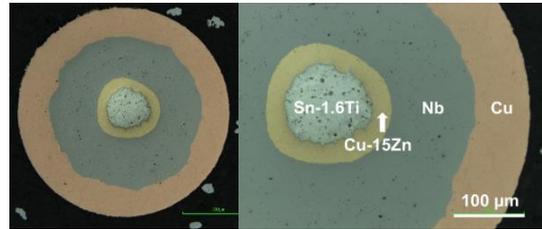


Fig.1. Cross-section of sample B with 15wt%Zn addition to Cu intermediate layer.

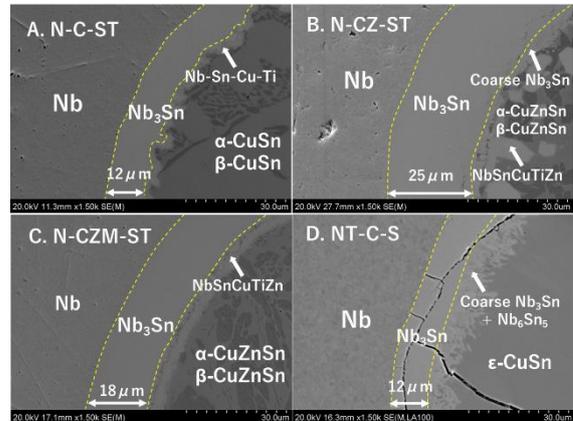


Fig.2. SEM images of the specimens at reaction interface after 500 °C × 100 h + 650 °C × 150 h.

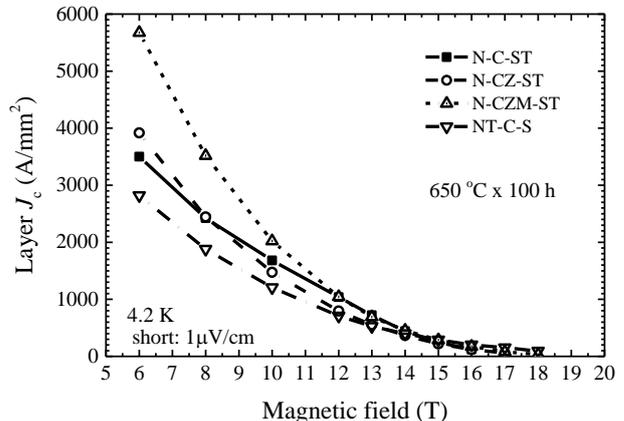


Fig. 3. Layer J_c of each specimen.