

Nb/Sn-Cu-Ti 拡散反応において Zn および Mg 添加が Nb₃Sn 層形成に与える影響

Effect of Zn and Mg doping on Nb₃Sn layer formation in Nb/Cu-Sn-Ti diffusion reaction

浅井 航希, 谷貝 剛(上智大学); 諸永 拓, 伴野 信哉(NIMS)

ASAI Koki, YAGAI Tsuyoshi (Sophia University); MORONAGA Taku, BANNO Nobuya (NIMS)

E-mail: kouki0204@eagle.sophia.ac.jp

1. はじめに(9ポイント)

Nb/Sn 拡散反応に対しての Ti 添加は、線材の上部臨界磁場特性 (B_{c2})を向上させることで知られている[1]。しかし、Sn 相への Ti 添加は、Nb/Sn 界面での NbSnTiCu の四元化合物形成を促し、これが Nb₃Sn 層形成時の Sn の拡散障壁となりうる。この化合物を不安定化させ、Ti 添加時においても Sn 拡散を促進することが求められるが、この側面についての詳細な研究はまだ少ない。そのため、本研究では Sn 拡散を促すことで知られる Zn 添加を Ti 添加試料に行うことで、Nb/CuZn/SnTi における拡散反応挙動を調べた。また、Nb₃Sn 結晶粒微細化に対して一定の効果が見られる Mg 添加[2]も同時に行い、その効果を調べた。

2. 実験手法

本研究では、(A)Nb/Cu/Sn-1.6wt%Ti、(B)Nb/Cu-15wt%Zn/Sn-1.6wt%Ti、(C)Nb/Cu-14wt%Zn-0.2wt%Mg/Sn-1.6wt%Ti、(D): Nb-0.8wt%Ti/Cu/Sn と4種類の試料を作製した。Nb/Sn/Cu 複合材を Cu 安定材へと挿入し、直径 0.6mm まで伸線加工した。これを真空中で 500°C/100h の予備熱処理を施し、その後 650°C/150h または 685°C/100h の2種類の熱処理を行い、Nb₃Sn 相を生成した。

3. 実験結果と考察

図1に各試料の650°C/150h、685°C/100h 熱処理後の研磨断面の SEM 像、表1に結晶粒径を示す。

650°C/150h 熱処理後では、試料(A)では、形成された Nb₃Sn 層と Cu-Sn 層の間に安定した NbSnTiCu の四元化合物が見られた。これが Sn の Nb への拡散障壁となり Nb₃Sn 層形成が薄くなったと考えられる。Zn 添加試料(B)でも同様の化合物が見られたが、分解して存在しており、Sn の拡散障壁とはならなかった。その結果、試料(B)では厚い Nb₃Sn 層が形成されたと考えられる。Zn と Mg の共添加試料(C)では、試料(B)と比べやや薄い Nb₃Sn 層形成となり、Mg が Zn 添加の効果を抑制した。試料(D)では、四元化合物は形成されなかった。685°C/100h 熱処理後では、すべての試料で厚い Nb₃Sn 層の形成が見られた。試料(A)から(C)では、650°C で存在していた Ti 化合物相が減少しており、Sn 拡散が良好に進んだといえる。一方で、四元化合物層の見られない試料(D)では最も厚い Nb₃Sn 層が形成された。

結晶粒径では、試料(A)と(B)を比較すると、650°C/685°C 熱処理の両方で Zn 添加の試料(B)でわずかに結晶粒微細化が見られた。Mg の共添加試料(C)では、結晶粒微細化が 650°C では見られず、685°C ではわずかに見られた。

図2に 650°C/150h 熱処理後の Mg 添加試料(C)の STEM-BF 像と EDS マッピングを示す。NbTiSnCu 四元相内では Mg 粒子が界面に集中し、Nb₃Sn 相内への拡散は微量であった。そのため Zener ピンニングによる結晶粒微細化を十分に得られなかったと考えられる。

謝辞

本研究の一部はJSRS科研費JP23K04453の助成を受けた。

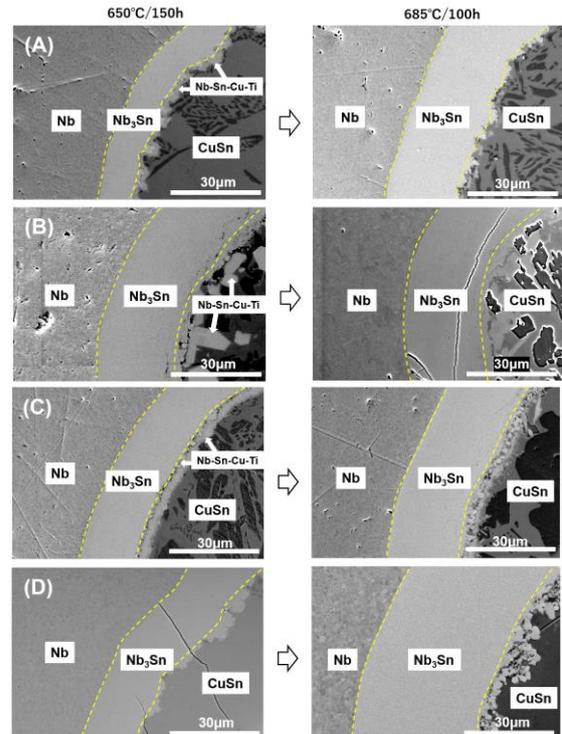


Fig. 1 Cross sectional SEM images of the reaction layer (acceleration voltage: 20 kV) for (A)-(D) after diffusion at 650 °C for 150 h and at 685 °C for 100 h.

Table. II Average Nb₃Sn grain size of samples (A)-(D).

Sample	(A)N-C-ST	(B)N-CZ-ST	(C)N-CZM-ST	(D)NT-C-S
650°C/150h	116(nm)	109(nm)	124(nm)	94(nm)
685°C/100h	207(nm)	167(nm)	173(nm)	164(nm)

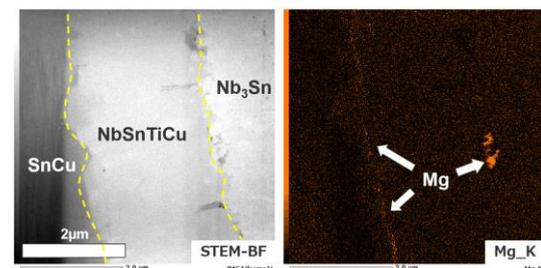


Fig. 2 STEM-BF images and EDS mapping (at%) of sample (C) heated at 650 °C for 150 h for the NbSnTiCu quaternary phase.

参考文献

1. K. Tachikawa, et al.: High-field superconducting properties of the composite-processed Nb₃Sn with Nb-Ti alloy cores, Appl Phys Lett, vol. 39 (1981) pp. 766-768
2. K. Togano, et al.: Effects of magnesium addition to the CuSn matrix in the composite-processed Nb₃Sn superconductor, Journal of The Less-Common Metals, vol. 68 (1979) pp. 15-22