

Nb₃Sn 層形成および超電導特性に与える Ti 添加場所の影響

Impact of Ti-doping position 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

核融合炉や粒子加速器マグネットにおいて、Nb₃Sn 線材はキーコンポーネントであり、性能向上が切望されている。Nb₃Sn の高磁場特性を向上させる添加元素として Ti は極めて有効でこれまで多くの研究がなされてきた。しかし Ti は Nb₃Sn 層形成過程に非常に大きな影響を与える元素であり、その添加場所によって層形成が劇的に変わる。最近の研究では、Sn 芯に Ti 添加した場合、Nb₃Sn 形成層と Cu-Sn 層との界面で Ti を多く含む化合物層が形成され、Nb₃Sn 層成長の抑制因子となることが明らかとなっている。本研究ではその抑制につながる、Ti 添加場所を検討するため、ラボラトリースケールの内部スズ法 Nb₃Sn 多芯線材を作製して、Nb₃Sn 層形成および超電導特性に与える影響を調べた。

2. 断面設計コンセプト

線材は基本的には分散スズの設計とする。線材作製手順を以下に概説する。まず 1 mm 高さの六角形状 Cu 被覆 Nb 単芯線 (18/16mm Cu パイプ/15.5mm Nb ロッドを伸線) を作製、121 本束ねたのち、15/12.4mm Cu パイプに挿入して高さ 0.8 mm の六角形状まで伸線し Nb モジュールとする。一方で、高さ 0.8 mm の Sn 単芯線 (13/10 mm Cu パイプ/9.5mm Sn ロッドを伸線) を準備する。その後、Nb モジュールを 12 本、Sn 単芯線を 7 本、Fig. 1 のような配置で組み込み、Nb バリア用パイプ (6.5/4.5 mm) と Cu パイプ (8/6.6 mm) に挿入して Φ0.6 mm まで伸線する。Nb バリア内の組成比は Cu:Nb:Sn=52:35:13 (at%) である。

Ti 添加の場所として、2 通りを検討した (Fig. 1: Sn 芯添加、および Cu 母材添加)。ただし Cu 母材添加のポイントは、Ti 添加を Nb フィラメント周囲の Cu 母材に限ったことである (つまり Nb モジュールの外皮には Ti を添加しない)。単一拡散対を用いた過去の研究では、Nb の Cu 外皮に Ti 添加すると、Nb モジュール周囲に Ti を含む化合物層が形成されることが確かめられている [1]。そこで今回は外皮の Ti 添加を無くすことで、多芯線において Ti 化合物が抑制させるかを調べた。

作製した線材は 4 h で 685°C まで昇温その後保持して Nb₃Sn 層を形成させた。熱処理過程で適宜、サンプルを取り出して水冷し、SEM により Nb₃Sn 層形成過程を観察した。

3. 実験結果と考察

伸線加工性については、Ti を Sn 芯に添加した場合に断面が崩れていったのに対して Cu 母材に添加した方は良好であった。Nb と Cu との硬さのバランスが取れたことが要因と考えられる。Fig. 2 に、両試料において、予備加熱なしで 650°C まで昇温しそのまま 50h 保持した後の EDS マップを示す。Ti の母材添加で、明らかに良好な Sn 拡散が見られた。一方 Ti の Sn 芯添加では Ti コントラストが Nb モジュール外側で薄っすら強い様子が見られており、Ti の偏析があったことがうかがえる。

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] T. Morita, T. Yagai, N. Banno, JALCOM 848 (2020) 155465, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.155465>

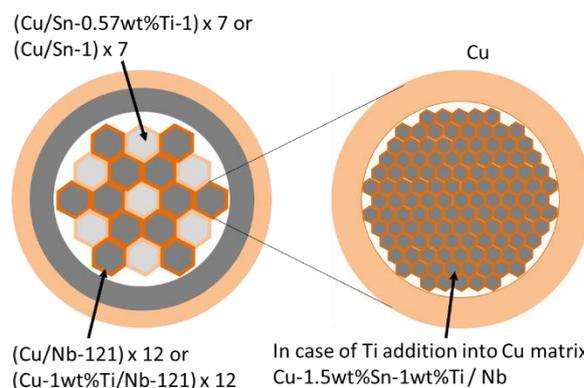


Fig.1. Cross-sectional design for distributed-Sn type Nb₃Sn precursor wires.

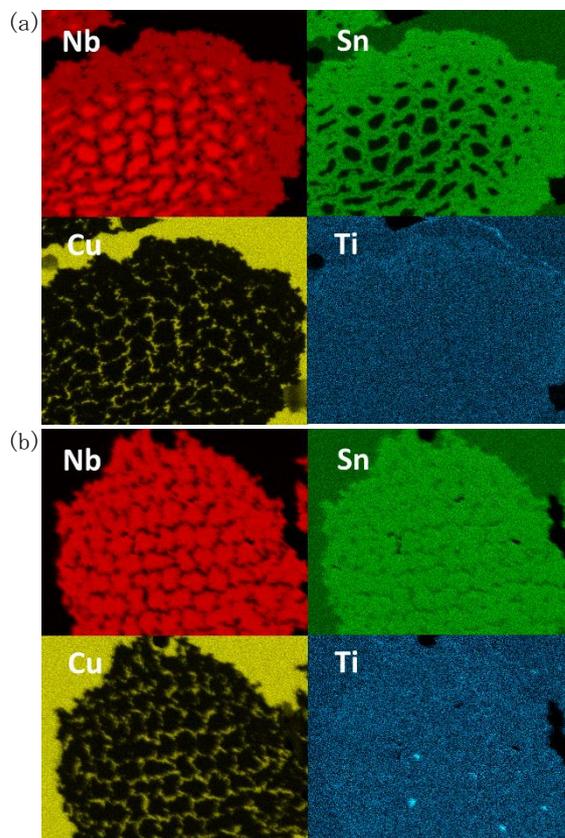


Fig.2. EDS maps of Nb module in case of (a) Ti-addition in Sn and (b) Ti addition in Cu matrix after 685 °C for 50 h.