

冶金反応を利用した Pd・Cd フリー NbTi-Nb₃Sn 超伝導接合と通電特性

Pd and Cd-free NbTi-Nb₃Sn superconducting joint by using metallurgical reaction and its transport current characteristic

物材機構 ○伴野 信哉, 小林 賢介, 内田 公, 北口 仁

National Institute for Materials Science, ○Nobuya Banno,

Kensuke Kobayashi, Akira Uchida, Hitoshi Kitaguchi

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

1. はじめに

30 年以上行われてきた NMR マグネットの Pb・Cd 系はんだによる超伝導接合を一斉に置き換える可能性のある画期的な手法を開発した。

NMR システムでは、シグナル／ノイズ (S/N) 比の向上、磁場安定度の観点から、電源駆動を必要としない永久電流運転が望ましい。その実現には、有限長の超伝導線同士を“超伝導状態”で接続するための超伝導接合が必要である。特に 600MHz クラス以上の高磁場 NMR マグネットでは、外挿マグネット用の NbTi 超伝導線材と内挿マグネット用の強磁場 Nb₃Sn 超伝導線材による異種材料線材間の接合が必要となる。

従来 NbTi-Nb₃Sn 間の超伝導接合には、低融点金属のいわゆる“超伝導はんだ”による接合が行われていた。その理由は、第一に Nb₃Sn 材料が A15 型の金属間化合物であるため、機械的に非常にもろいためである。NbTi は、Nb に Ti が固溶した固溶体であるため、展延性があり、機械的圧接にも耐えられるが、Nb₃Sn ではそれができない。第二に、NbTi は、650℃以上の高温に曝されると、著しく特性が劣化するためである。650℃というのは、Nb₃Sn 層を生成するのに必要な温度域である。そのため、NbTi 線材と Nb₃Sn 線材を冶金的な化学反応によって、Nb₃Sn 線材において Nb₃Sn 層を生成しつつ同時に両者を接合することは極めて困難である。したがって両者の接合には、もろい Nb₃Sn 層を生成した後に、柔らかい“超伝導はんだ”を用いて、“低温”で処理して接合するよりほかに方法がなかった。

しかしながら実用的な超伝導はんだは Pb や Cd 等の環境負荷物質を含んでおり、RoHS などの環境規制によって使用が著しく制限されている。環境にやさしい NMR システムの実現には、Pb・Cd フリーの新しい超伝導接合技術の開発が強く求められていた。

2. 接合プロセス

本研究では、接合媒介物質として“高温に曝しても特性が劣化しない”新しい Nb 系超伝導体を見出し、冶金的手法で Pb・Cd を一切使用しない画期的な接合方法を提案し、実験的に確かめた。詳細はここでは省く。図 1 は、接合媒介物質として Nb-3at%Hf を使用した場合の、接続の一部である Nb₃Sn フィラメントおよび Nb-3Hf 芯界面の EDS マップ (Nb, Sn) である。界面で Nb₃Sn 層が生成される。NbTi-Nb₃Sn 線材接合全体では、0.9T で約 100A の I_c を示し、Pb・Cd 系超伝導はんだと同等以上の接合特性である。本成果により、環境にやさしい NMR システムの実現に向けて、大きな進展が期待される。

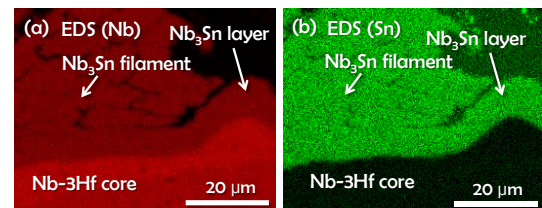


図 1 Nb₃Sn フィラメントおよび Nb-3Hf 芯界面の EDS マップ (Nb, Sn)