

戦略的創造研究推進事業 (ALCA)
技術領域(プロジェクト名)
「低コスト REBCO 長尺線材の開発」
課題名
「原子レベル制御による 120 K 級超伝導線材の開発」

終了報告書

研究開発期間 平成23年3月～平成31年3月

研究開発代表者: 松本 要
((国)九州工業大学大学院工学研究
院物質工学研究系、教授)

○報告書要約 (和文)

研究開発代表研究者 :九州工業大学 教授 松本 要

研究開発課題名:原子レベル制御による 120 K 級超伝導線材の開発

1.研究開発の目的

超伝導は低炭素社会の実現に貢献するシステム技術として期待されている。我々は超伝導線材の適用範囲を飛躍的に拡大して超伝導システムの普及をめざすため、格子歪・キャリア制御・ナノ構造制御というコンセプト(原子レベル制御)に基づいてエピタキシャル銅酸化物超伝導薄膜の臨界温度 T_c 、高温・高磁場中における不可逆磁場 B_{irr} 、および臨界電流密度 J_c を同時に増大させる技術開発を行った。後半の実用化プロセスでは得られた技術の中から、 J_c を大幅に向上させる人工ピン技術を活用して銅酸化物超伝導線材の低コスト化を実証し、同線材の各種超伝導機器へのより一層の普及を促進することを目指した。

2.研究開発の概要

(1)内容:

本課題「原子レベル制御による 120 K 級超伝導線材の開発 (H23. 3~H27. 9)」においては、格子制御・キャリア制御・ナノ構造制御というコンセプトに基づき、従来の線材性能を大きく凌駕して、応用の基本となる銅酸化物超伝導線材の T_c 、および高温・高磁場中における B_{irr} と J_c を同時に増大させ、同線材の適用範囲を飛躍的に拡大することを目指した。同時に 100 K 級線材実現に向けても検討を進めた。後半の実用化プロセス「低コスト REBCO 長尺線材の開発 (H27. 10~R2. 3)」においては人工ピン技術を用いることで REBCO 線材の低コスト化を実現し、各種超伝導機器への普及を促進することを目指した。線材のコスト低減とともに、低温高磁場での I_c 測定技術や小コイル試験技術の検討も実施した。研究開発においては最終的に、① 現状コストの 1/3~1/5 に線材コストを低減、② $I_c = 500$ A 級 (@20 K, 2~5 T) を実現、③ 数 10 m 級線材による実証、④ 低温 I_c 測定と小コイル試験評価技術、⑤ 連携企業への技術移転、を目指した。

(2)成果:

課題「原子レベル制御による 120 K 級超伝導線材の開発 (H23. 3~H27. 9)」においては以下の成果を得た。

- ① 圧力効果の大きいエピタキシャル銅酸化物超伝導薄膜の作製プロセスの確立。
- ② 選択的残留圧力の印加方法の確立と銅酸化物超伝導薄膜の T_c 増大効果の確認。
- ③ 歪・キャリア制御による T_c 、 B_{irr} の最適化と 100~120 K 級銅酸化物超伝導薄膜の実現。
- ④ 銅酸化物超伝導薄膜の高 B_{irr} 化、高 J_c 化に向けた理想的人工ピン導入技術の確立。
- ⑤ IBAD 金属基板上にて単結晶上に匹敵する高 J_c を有する短尺銅酸化物超伝導線材の実現。

実用化プロセス「低コスト REBCO 長尺線材の開発 (H27. 10~R2. 3)」では以下を実現した。

- ① 400 mJ@100 Hz 自作 PLD 装置を用いて 2~3 m 級の人工ピン導入 REBCO 線材を試作し、低コスト化の条件となる成膜レート 14 nm/sec~21 nm/sec、および 616 A/cm 幅@20 K、2 T と 408 A/cm 幅@20 K、5 T を得て、目標 $I_c = 500$ A 級 (@20 K, 2~5 T) を実現。
- ② 連携企業と協力して、得られた人工ピン技術を導入した実用レベルの 50 m 長 REBCO 線材を作製、ダブルパンケーキコイルにて性能実証
- ③ 人工ピン導入によって磁場中 J_c が向上し、超伝導膜厚減少をもたらすことで線材コストを 1/3 以下に低減可能であることを実用線材レベルで実証。

(3)今後の展開:

高性能の銅酸化物超伝導薄膜を用いた金属基板上の超伝導線材の開発により集中していくことで、将来の液体窒素温度を含む幅広い温度領域での使用を目指した高磁場応用向け超伝導線材の開発を加速し、超伝導機器の普及を通じて低炭素化社会実現に貢献したいと考えている。

○Report summary (English)

Principal investigator: Kyushu Institute of Technology, Professor Kaname Matsumoto
R & D title: Development of 120 K class superconducting wire by atomic level control

1. Purpose of R & D

Superconductivity is expected as a technology that contributes to the realization of a low-carbon society. To dramatically expand the range of application of superconducting wires and to promote the use of superconducting systems, we have improved the performances of epitaxial cuprate superconducting thin films based on the concepts of lattice strain control, carrier control, and nanostructure control. We have developed the technology to simultaneously increase the critical temperature T_c , the irreversible field B_{irr} and the critical current density J_c at high temperatures and high magnetic fields. In the practical R&D stage, we aimed to further spread cuprate superconducting wires to various superconducting devices. By utilizing the artificial pinning technology that greatly improves J_c from the technologies obtained in the first half, we have realized the cost reduction of cuprate superconducting wires.

2. Outline of R & D

(1) Contents:

In this project "**Development of 120 K class superconducting wire by atomic level control (March 2013 to September 2017)**", based on the concepts of lattice strain control, carrier control, and nanostructure control, the performances of cuprate superconductors were greatly exceeded. Then, the T_c of the superconductors, and their B_{irr} and J_c at high temperatures and high magnetic fields were simultaneously increased, and the application range of the cuprate superconductors was expanded. In the practical R&D stage "**Development of low-cost REBCO wire (October 2017 to March 2020)**", the artificial pinning technology was used to reduce the cost of the REBCO wires to promote their spread to various superconducting devices. Finally, the following goals, wire cost reduction to about 1/3 of current level, I_c performance of 500 A/cm-w (20 K, 2 to 5 T), production of several tens m class wire, low temperature I_c measurement, small coil test evaluation technology, and technology transfer to partner companies were realized.

(2) Achievements:

The following results were obtained in the task "**Development of 120 K class superconducting wire by atomic level control (March 2013 to September 2017)**": **i)** Establish a fabrication process for epitaxial cuprate superconducting thin films that have a large pressure effect. **ii)** Establish a selective residual pressure application method and confirm the T_c increasing effect of the cuprate superconducting thin films. **iii)** Optimization of T_c and B_{irr} by strain/carrier control and realization of 100-120 K class cuprate superconducting thin films. **iv)** Establishment of ideal artificial pinning introduction technology for high B_{irr} and high J_c in cuprate superconducting thin films. **v)** Realization of short cuprate superconducting wires with high J_c comparable to that of a single crystal.

In the practical R&D process "**Development of low-cost REBCO long wire (October 2017-March 2020)**", we achieved the followings: **i)** We made a prototype of a REBCO wires with a length of 2 to 3 m with artificial pins. At film deposition rates of 14 nm/sec to 21 nm/sec, 616 A/cm-w@20 K, 2 T and 408 A/cm-w@20 K, 5 T were obtained, and the target 500 A class@20 K, 2-5 T wires were realized. **ii)** In collaboration with a company, we made a practical level 50 m long REBCO wire with artificial pins and demonstrated its performance with a double pancake coil. **iii)** It has been demonstrated that the artificial pinning improves the J_c in the magnetic field to reduce the superconducting film thickness, and thus the wire cost was reduced to about 1/3.

(3) Future developments:

We aim to apply cuprate superconducting wires in a wide temperature range including liq. N₂ temperature in the future. We would like to accelerate the development of cuprate superconducting wires for high magnetic field applications and contribute to the realization of a low-carbon society by popularizing superconducting devices.