

補助事業番号 2022M-210  
補助事業名 2022年度 ナノ粒子導入超伝導薄膜の大面积化と高感度NMRピックアップコイルへの応用 補助事業  
補助事業者名 山梨大学 作間啓太

## 1 研究の概要

本研究ではNMRピックアップコイルの高感度化に向けて、ナノ粒子導入超伝導薄膜の大面积化および均一な磁場の発生が可能なコイルの開発に取り組んだ。最適なナノ粒子材料および導入量を超伝導薄膜に導入することにより、磁場中の超伝導特性[臨界電流密度( $J_c$ )]が向上することを明らかにした。また、NMRピックアップコイルの作製に必要な25 mm角ナノ粒子導入超伝導薄膜の作製に成功した。電磁界シミュレーションを用いて均一な磁場の発生が可能な新設計コイルを開発した。この超伝導薄膜および新設計コイルを用いたNMRピックアップコイルを実際に試作し、周波数特性がシミュレーション結果と一致し、新設計のNMRピックアップコイルを実証した。

## 2 研究の目的と背景

超伝導NMRピックアップコイルの高感度化には、高い磁場中臨界電流密度( $J_c$ )の超伝導(REBCO)薄膜が必要である。NMRの測定環境である磁場中ではローレンツ力による磁束運動により $J_c$ が急激に低下するため、高 $J_c$ -REBCO薄膜の実現には磁束運動を抑制(磁束ピン止め点を導入)する必要がある。一方、ピックアップコイルには大面积薄膜(25mm角以上)と均一な磁場発生が可能なコイルの開発を必要である。そこで、本研究では、REBCO薄膜にナノ粒子を導入し、磁場中 $J_c$ の低下抑制を試みる。また、大型電気炉を導入し超伝導薄膜の大面积化および複数の共振器の共振によって電流を制御し均一磁場の発生が可能なコイルの開発を試みる。その後、それらを融合し超伝導NMRピックアップコイルの試作を試みる。

## 3 研究内容

本研究の課題は磁場中 $J_c$ が高い大面积ナノ粒子導入REBCO薄膜の実現/均一な磁場の発生が可能なコイルの開発し、それらを融合したNMRピックアップコイルの開発である。そのため、以下の3点を行った。

(<https://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~ksakuma/index.html>)

- (1) 大面积ナノ粒子導入REBCO薄膜の作製とその評価
- (2) 電磁界シミュレーションを用いた均一な磁場の発生が可能なコイルの開発
- (3) NMRピックアップコイルの試作

(1)の結果、25mm角基板上に均一な超伝導特性を有するREBCO薄膜の作製に成功し、最適なナノ粒子材料および導入料とすることにより磁場中 $\mu_0$ は世界最高レベルの特性が得られた。(2)の結果、電磁界シミュレーションを用いた解析から、新設計の複数共振器の共振を用いたNMRピックアップコイルでは、共振器に流れる電流の向きを制御することにより均一磁場の発生が可能であることを明らかにした。この新設計コイル構造を用いて、実際にNMR測定で使用する周波数である800MHzのNMRピックアップコイルを開発した。

(3)の結果、図1に示す800MHzのNMRピックアップコイルを試作し、その周波数特性が電磁界シミュレーション結果と一致し、新設計の複数共振器の共振を用いたNMRピックアップコイルを実証した。

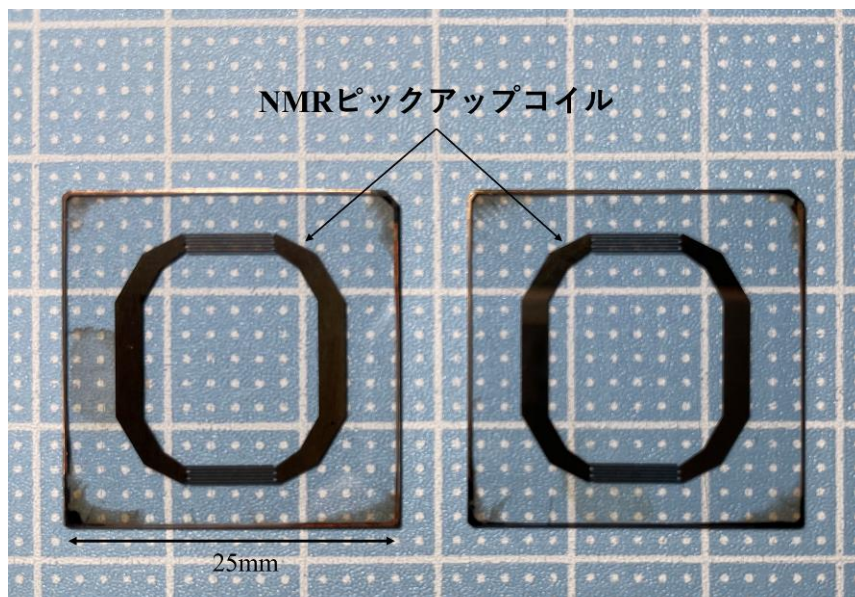


図1. 試作したNMRピックアップコイルの外観

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究はNMRピックアップコイルの感度向上を目指し、ナノ粒子導入REBCO薄膜の面積化/均一磁場の発生が可能なコイルの開発し、それらを融合したNMRピックアップコイルの開発を試みた。NMRピックアップコイルの感度が向上すれば、NMR測定が必須となっている医療・創薬や有機・無機材料などの研究開発において大きな進展が期待でき、早期のワクチン開発などが可能になると考えられる。

また、本研究の成果は、超伝導アンテナやフィルタなどにも応用が可能であり、宇宙太陽光発電用アンテナや次世代移動体通信6G用フィルタなどへの利用も期待できる。

## 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本事業者は、10年以上にわたり超伝導薄膜の研究を行ってきた。特に、銅酸化物高温超伝導薄膜の超伝導特性の向上では、歪制御技術を用いた超伝導転移温度の向上やアニール技術を用いた臨界電流密度の向上に成功し、超伝導特性の向上についての様々な技術を確立してきた。また、近年、高周波デバイスの研究を開始し、無線電力伝送の研究途上で本事業のコイル構造であるの着想を得た。

超伝導体を用いた高周波機器(NMRピックアップコイルやフィルタなど)の開発は超伝導薄膜の超伝導特性が低いこと、機器構造に制約があることなどにより停滞していた。そこで、本事業者が有する技術を用いた高感度NMRピックアップコイルが開発できれば、医療・創薬など広範な分野に貢献できると考え本事業に挑戦した。

## 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- K. Sakuma, K. Ito, J. Murakami, A. Saito, and N. Sekiya, "Preparation of Trifluoroacetate Metal Organic Deposition Derived REBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> Thin Film With High- $J_c$  and Low- $R_s$  for High-Power High-Temperature Superconducting Transmit Filters" IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, VOL. 25, NO. 3, Feb 2023
- K. Sakuma, K. Ito, J. Murakami, A. Saito, and N. Sekiya, Applied Superconductivity Conference 2022, 4EPo1C-09, October 23-28, 2022.
- 作間 啓太, 藤田 貴紀, 大嶋 重利, 關谷 尚人, 電子通信情報学会 マイクロ波研究会、MW2022-17、2022年5月20日

## 7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

なし

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの

なし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 山梨大学工学部 (ヤマナシ ヲウガクブ)

住 所： 〒400-8511

山梨県甲府市武田4-3-11

担 当 者： 役職名 助教 作間 啓太 (サクマケイタ)

担 当 部 署： 電気電子工学科 (デンキデンシコウガッカ)

E - m a i l： 山梨県甲府市武田4-3-11

U R L： <https://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~ksakuma/>