

一般セッション(ポスター講演) | 11 超伝導: 11 超伝導 (ポスター)

2025年3月14日(金) 9:30 ~ 11:30 会場 P05 (森戸記念体育館)

[14a-P05-1~26] 11 超伝導 (ポスター)

◆ 英語発表

[14a-P05-1]

Accelerating superconductor research through automated synthesis

○(D)WeiSheng Wang^{1,2}, Kensei TERASHIMA², Yoshihiko TAKANO^{2,1} (1.University of Tsukuba, 2.NIMS)

[14a-P05-2]

ジョセフソン接合に生じるカオスと乱数生成デバイスへの応用

○及川 大¹、木村 壮太¹、小松 弘和²、都築 啓太¹、安藤 浩哉¹ (1.豊田高専、2.近畿大学)

[14a-P05-3]

MOD法による(Nd,Eu)NiO₂単結晶薄膜の合成と還元○(M2)金 祥泰¹、大村 蒼²、永嶋 祐紀²、後藤 大知²、加瀬 直樹^{1,2}、宮川 宣明^{1,2} (1.東理大先進工、2.東理大理)

[14a-P05-4]

層状遷移金属酸化物La₄M₃O_{10+δ} (M = Ni, Co) の高圧力下物性測定○永田 響^{1,2}、桜井 裕也¹、植木 祐太^{1,2}、山根 和樹^{1,2}、松本 凌¹、寺嶋 健成¹、廣瀬 圭祐³、太田 寛人³、加藤 将樹³、高野 義彦^{1,2} (1.物材機構、2.筑波大、3.同志社大)

[14a-P05-5]

Ruddlesden-Popper型新規物質Sr₃Ni₂O₅Cl₂の物性評価○山根 和樹^{1,2}、松本 凌¹、寺嶋 健成¹、桜井 裕也¹、高野 義彦^{1,2} (1.物材機構、2.筑波大)

[14a-P05-6]

ニッケル系超伝導体候補物質Sr₂NiO₂Cl₂の高圧合成と電気抵抗測定○(M1)岡 駿佑^{1,2}、山根 和樹^{1,2}、永田 響^{1,2}、植木 祐太^{1,2}、桜井 裕也¹、松本 凌¹、寺嶋 健成¹、高野 義彦^{1,2} (1.物材機構、2.筑波大院)

[14a-P05-7]

Ag 元素置換効果によるミスフィット層状化合物の物性評価

○(M1C)中田 涼之助¹、内野 瑠海¹、桑原 彰梧¹、渡辺 忠孝¹、出村 郷志¹ (1.日大理工)

[14a-P05-8]

Pb置換したBiS₂系化合物の熱電特性と超伝導特性○(M1C)三輪 陽太¹、村松 麗奈¹、桑原 彰梧¹、山根 和樹²、松本 凌²、寺嶋 健成²、高野 義彦²、渡辺 忠孝¹、出村 郷志¹ (1.日大理工、2.物材機構)

[14a-P05-9]

超小型加圧炉を用いたルテニウム系銅酸化物RuEu-1212の合成

○藤野 拓実¹、八巻 和宏¹、入江 晃亘¹ (1.宇都宮大工)

[14a-P05-10]

MOD法により半導体とヘテロ接合を形成したBSCCOの超伝導特性

○山田 靖幸¹、延島 聖人¹、伊倉 秀羽¹、笠井 大夢¹ (1.小山高専)

[14a-P05-11]

一般型高精度万能旋光計による $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ 単結晶の擬ギャップにおける時間反転対称性の評価

○(B)岡野 光明¹、チョウ コン¹、時田 桂吾¹、中川 鉄馬²、中西 卓也²、藤田 全基³、朝日 透^{1,2} (1.早大理工、2.早大総研機構、3.東北大金研)

[14a-P05-12]

コロイドプロセスによる $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 成形体の作製

○(M1)福山 風人¹、足立 伸太郎¹、木村 史子¹、廣田 憲之²、鈴木 達²、打越 哲郎²、堀井 滋¹ (1.京都先端科学大工、2.物材機構)

[14a-P05-13]

試料搬送型の変調回転磁場印加による $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 磁場配向の検討(II)

○足立 伸太郎¹、木村 史子¹、堀井 滋¹ (1.京都先端科学大)

[14a-P05-14]

首振り回転磁場下における $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 粉末($\text{RE}=\text{Y}, \text{Er}$)の配向度と首振り角度の関係(II)

○堀井 滋¹、野津 乃祐²、土井 俊哉² (1.京都先端科学大・工、2.京大院工ネ科)

[14a-P05-15]

共晶ハイエントロピー合金 NbScTiZr の不可逆磁場と臨界電流密度

○(M1)上田 遥翔¹、西寄 照和^{1,2}、末吉 哲郎^{1,2}、関 武留³、北川 二郎³、加藤 勝⁴、野島 勉⁵、淡路 智⁵、佐々木 孝彦⁵ (1.九産大院工、2.九産大理工、3.福工大工、4.大阪公大工、5.東北大金研)

[14a-P05-16]

複数サイト置換したハイエントロピー型 REBCO 超伝導体の開発

○室井 孝太¹、山下 愛智¹、山中 慎大¹、金子 卓人²、大野 直子²、水口 佳一¹ (1.都立大物、2.横国大工)

[14a-P05-17]

酸素量制御による KOH フラックス法 Nd_{123} 膜の超伝導特性改善に向けた検討

○(M1)重信 明希¹、船木 修平¹、山田 容士¹ (1.島根大自然)

[14a-P05-18]

フッ素フリーMOD法を用いた GdBCO 薄膜作製とMOD溶液の分光透過率測定

○(M1)遊佐 俊哉¹、山本 涼介¹、山川 薫¹、喜多 隆介²、武田 正典¹ (1.静大院総合、2.静大イノベ)

[14a-P05-19]

R面とC面サファイア基板上的 Nb 薄膜の特性比較

○(D)平間 友博¹、石黒 康志¹、立木 隆¹ (1.防衛大)

[14a-P05-20]

$\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$ coated conductorの超伝導特性の磁場角度依存性に与える曲げひずみの影響

○中村 健人¹、小川 琴子¹、長谷川 凌也¹、小黒 英俊¹ (1.東海大)

[14a-P05-21]

窒化物超伝導体の尖端型ナノSQUIDを探針とした走査磁気顕微鏡の開発

○岡澤 智¹、島田 祥汰¹、小久保 伸人¹ (1.電通大基盤理工)

[14a-P05-22]

Heイオン照射した自己整合型超伝導ナノストリップ光子検出器の作製

川口 真¹、浮田 桂子²、佐々木 仁²、中村 圭佑²、松尾 保孝²、○柴田 浩行¹ (1.北見工大、2.北大電子研)

[14a-P05-23]

超伝導伝送線路による周波数カウンターの原理検証

○成瀬 雅人¹、宮崎 大地¹、山口 滉太¹、明連 広昭¹ (1.埼玉大)

[14a-P05-24]

超伝導・常伝導(SN)二層薄膜の転移温度に関する諸公式の関係とそれらの適用範囲についての注意: 超伝導デバイス研究者のために

○久保 毅幸^{1,2} (1.高エネ研、2.総研大)

[14a-P05-25]

超伝導デバイスにおけるヒッグスモード

○久保 毅幸^{1,2} (1.高エネ研、2.総研大)

[14a-P05-26]

磁性ジョセフソン接合障壁層に向けた窒化ニッケル薄膜の低温特性

○赤池 宏之¹、梶田 一真¹、野村 伊吹¹ (1.大同大工)

Accelerating superconductor research through automated synthesis

Wei-Sheng Wang^{1,2}, Kensei Terashima¹, Yoshihiko Takano^{1,2}

NIMS¹, Univ. of Tsukuba²

Email: WANG.Wei-Sheng@nims.go.jp

The integration of material informatics with computational modeling has significantly advanced the prediction of material properties, thereby creating a growing need for experimental validation. Automation, particularly through robotic systems, has emerged as a key solution to accelerate this validation process. Recent innovations in robotic platforms for material synthesis span a wide range of domains, such as liquid-phase materials[1], thin-film fabrication[2], and solid-state synthesis[3]. Although robotic systems are highly proficient in the execution of precise, repeatable movements, ensuring consistent final products remains a critical challenge in optimizing processes and producing materials with targeted properties.

This study presents the design and development of an automated arc-melting system (Figure 1) for alloy synthesis and showcases its successful application in the production of superconducting samples. The system leverages Robot Operating System 2 (ROS2), a modular and scalable framework that enables reliable communication between its components. These components include a robotic arm, a vacuum chamber, an arc melting furnace, and various sensors. The ROS2-based architecture (Figure 2) not only ensures seamless integration, but also allows for future expansion and customization for a wide range of experimental configurations.

The system can automatically weigh the materials, with the materials determined by the program settings. After being weighed, the samples are placed in the arc furnace for automatic arc melting synthesis. To improve product uniformity, the samples are automatically flipped during the arc melting process and then remelted.

After the aforementioned automated steps were completed, the superconducting material was successfully synthesized and subsequently measured using a SQUID (Superconducting Quantum Interference Device). The measurement results, as shown in (Figure 3), confirm the successful synthesis of the material. Future goals aim to integrate material prediction models and manufacturing optimization models to further accelerate superconductivity research.



Figure 1: Automated arc-melting system.

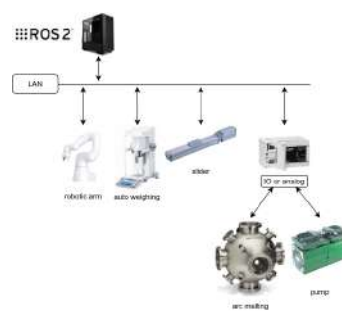


Figure 2: The ROS2 system architecture.

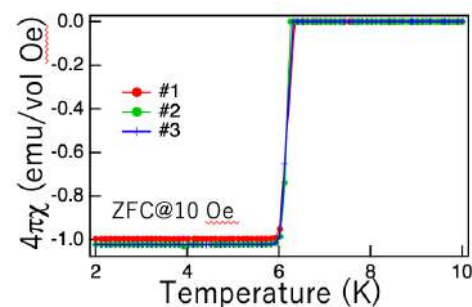


Figure 3: Magnetization data under 10 Oe, for V_3Ge sample synthesized by the automated arc-melting system.

References:

- [1] Benjamin Burger et al. In: *Nature* 583, 237 (2020).
- [2] Ryota Shimizu et al. In: *APL Materials* 8, 11 (2020).
- [3] Nathan J Szymanski et al. In: *Nature* 624, 86 (2023).

ジョセフソン接合に生じるカオスと乱数生成デバイスへの応用

Chaotic behavior in Josephson junction for application of random number generator

豊田高専¹, 近畿大学² ○ 及川大¹, (B) 木村壮太¹, 小松弘和², 都築啓太¹, 安藤浩哉¹
NIT, Toyota College¹, Kindai univ.² ○ Dai Oikawa¹, Sota Kimura¹, Hirokazu Komatsu²,
Keita Tsuzuki¹, Hiroya Andoh¹
E-mail: d-oikawa@toyota-ct.ac.jp

急速な IT 社会の発展によって、高セキュリティシステムの需要が高まっている。そのためにはランダムな物理現象から得られる、良質な乱数(無作為, 予測不可能, 再現不可能)が必要不可欠である。そこで、物理的現象の中でも高周波電磁波照射されたジョセフソン接合の出力電圧がカオスの振る舞いになることを応用した場合、小型、低消費電力及び高速応答のアナログ乱数発生器が期待される。また、超伝導体 Bi-2212 を用いたデバイスを想定し、安価な液体窒素 (77 K) 環境下で数値解析を行なった。高周波照射されたジョセフソン接合を RCSJ モデルにより等価回路化し、カオスが発生する条件の解明と乱数生成を数値解析的に行った。特に、乱数発生速度の高速化を目的とした。本研究ではリアプノフ指数が正を示すときにカオスが発生していると定義した。ここで、リアプノフ指数とは初期値の異なる軌道の発散度を定量化した量である。リアプノフ指数が正を示した条件で出力電圧のスペクトルは照射電磁波の周波数以下の領域でホワイトノイズが観測され、カオスが発生しており、乱数生成に望ましいことがわかった。そこで、照射周波数を増加させることによって、ホワイトノイズ領域の増大、すなわち乱数生成速度の高速化が可能であると考えた。Fig.1(a) に自己相関係数から算出した乱数生成速度の照射周波数依存性を示す。これより照射電磁波の周波数の増加に伴って乱数の高速生成が可能であることが強く示唆された。また、Fig.1(b) 示すように位相差と出力電圧の間に、いわゆるストレンジアトラクタが観測され、カオスの発生が裏付けられた。さらに照射電磁波の周波数の増加に伴って、アトラクタが急峻になった。これは高速な乱数生成が可能であることを意味している。講演では、乱数生成速度と、生成された乱数の良質性を統計学的評価法を用いて報告する予定である。

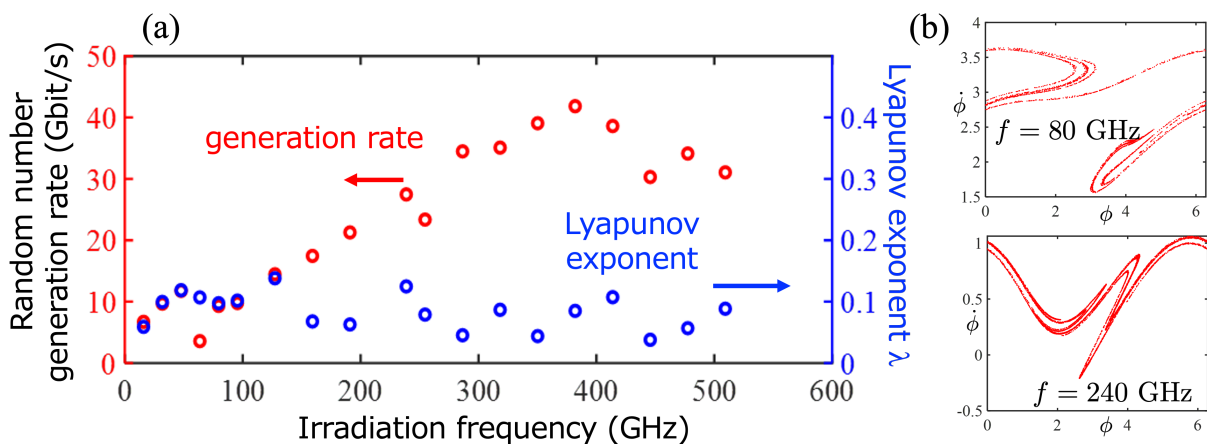


Fig.1 Irradiation frequency dependence of random number generation rate. (b) Attractors of normalized voltage ϕ versus phase difference ϕ .

MOD 法による(Nd,Eu)NiO₂単結晶薄膜の合成と還元 Synthesis and reduction of the (Nd,Eu)NiO₂ single crystal thin film by the MOD method

東理大先進工¹, 東理大理², °(M2)金 祥泰¹, 大村 蒼², 永嶋 佑紀², 後藤 大知², 加瀬 直樹^{1,2}, 宮川 宣明^{1,2}

Tokyo Univ. of Sci., °S. Kim, S. Omura, Y. Nagashima, D. Goto, N. Kase, N. Miyakawa

E-mail: 8423518@ed.tus.ac.jp

【序論】ニッケル酸化物は常圧下で最も高い超伝導転移温度を持つ銅酸化物高温超伝導体の類似物質として注目されており、2019年に物理気相堆積(PVD)法でSTO基板上に成膜された前駆体ペロブスカイト構造Nd_{0.8}Sr_{0.2}NiO₃をトポタティック還元した無限層構造Nd_{0.8}Sr_{0.2}NiO₂薄膜において転移温度が9~15 Kの超伝導が報告された^[1]。我々は化学溶液堆積法の一つである有機金属分解(MOD)法での(Nd,Sr)NiO₂超伝導薄膜の合成を試みている。しかしSr置換はNi³⁺状態を不安定化させるため、(Nd,Sr)NiO₃の他にRuddlesden-Popper(RP)相である(Nd,Sr)₄Ni₃O₁₀が形成され前駆体の成長を阻害する。そのため超伝導が発現する15%以上のSr置換試料の合成に成功していない。近年、前駆体の構造を安定化させる目的で2価、3価を取りうるEuを置換した(Nd,Eu)NiO₂薄膜において超伝導が発現したことが報告された。そこで我々もMOD法で(Nd,Eu)NiO₃の合成を行い還元することで超伝導の発現を目指し実験を行った。

【実験】MOD法でNGO単結晶基板上にEuを0~30%置換したNd_{1-x}Eu_xNiO₃単結晶薄膜を成膜させ、還元剤CaH₂と共に真空封入し熱処理をすることでNd_{1-x}Eu_xNiO₂単結晶薄膜を作製した。物性測定としてXRD測定と四端子法による電気抵抗率の温度依存性を測定した。

【結果及び考察】図1の左図から置換量の増加に伴い金属絶縁体転移温度 T_{MI} が上昇したことからEuが置換されていることが確認でき、25%以上の置換量で T_{MI} が室温程度まで上昇した。またref [2]において最適ドーパ量とされている25%置換試料を240°C、2時間で還元することで室温から180 K程度まで金属的な電気抵抗の振る舞いを示し、7~21 K程度で抵抗の奇妙な低下を確認した。当日の発表では他の還元条件や金属化の再現について発表、議論を行う予定である。

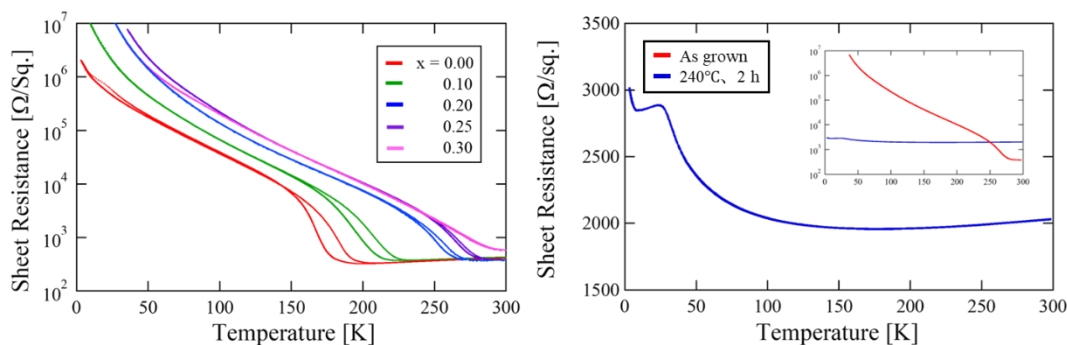


図1: Nd_{1-x}Eu_xNiO₃(左)とNd_{0.75}Eu_{0.25}NiO₂(右)の電気抵抗率の温度依存性。

右図の挿入図は還元前後のNd_{0.75}Eu_{0.25}NiO₃とNd_{0.75}Eu_{0.25}NiO₂の比較。

【参考文献】 [1] Danfeng Li *et al.*, Nature, **572**, 624–627, 2019

[2] Wenzheng Wei *et al.*, Science Advances, **9**, eadh3327, 2023

層状遷移金属酸化物 $\text{La}_4\text{M}_3\text{O}_{10+\delta}$ ($M = \text{Ni}, \text{Co}$) の高圧力下物性測定

Physical Property Measurements of $\text{La}_4\text{M}_3\text{O}_{10}$ ($M = \text{Ni}, \text{Co}$) Under High Pressure

物材機構¹, 筑波大², 同志社大³ ○(M1)永田 響^{1,2}, 桜井 裕也¹, (M2)植木 祐太^{1,2}, (D)山根和樹^{1,2}

松本 凌¹, 寺嶋 健成¹, 廣瀬 圭祐³, 太田 寛人³, 加藤 将樹³, 高野 義彦^{1,2}

NIMS¹, Univ. of Tsukuba², Doshisha Univ.³, °Hibiki Nagata^{1,2}, Hiroya Sakurai¹, Yuta Ueki^{1,2},

Kazuki Yamane^{1,2}, Ryo Matsumoto¹, Kensei Terashima¹, Keisuke Hirose³, Hiroto Ohta³,

Masaki Kato³, Yoshihiko Takano^{1,2}

E-mail: NAGATA.Hibiki@nims.go.jp

最近、 $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ が約 14 GPa の高圧力下で $T_c \approx 80$ K の超伝導を示すことが報告された[1]。その高い T_c のみならず、銅酸化物高温超伝導体との結晶構造の類似性により注目を集めている。 $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ は一般式 $A_{n+1}M_n\text{O}_{3n+1}$ (A :希土類元素など, M :遷移金属元素)で表される Ruddlesden-Popper 相酸化物の $n = 2$ の場合に相当し、単位格子内に連続する 2 つの NiO_2 層を持つ。我々は前回の春季学術講演会において、 $n = 3$ の場合に相当し、単位格子内に連続する 3 つの NiO_2 層を持つ $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{9.99}$ が 32.8 GPa 以上の圧力で超伝導を発現することを報告した[2]。今回は $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10+\delta}$ の酸素量制御・化学種置換による T_c の向上を目的として、酸素量を制御した $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10+\delta}$ と関連物質の層状コバルト酸化物 $\text{La}_4\text{Co}_3\text{O}_{10+\delta}$ を合成した。また、各試料に対して高圧力下電気抵抗測定を行ったので、その結果を報告する[3]。

$\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10+\delta}$ は、 La_2O_3 と NiO から固相反応法により、 $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10.04}$ と $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{9.99}$ を得た。 $\text{La}_4\text{Co}_3\text{O}_{10+\delta}$ は、 La_2O_3 と Co_3O_4 から固相反応法を用いて Ar 雰囲気中で合成した。得た試料は、粉末 X 線回折測定によりそれぞれ単相であることを確認した。具体的な試料合成、酸素量制御についてはシンポジウム[4]にて発表する。高圧力下での電気抵抗測定は電極付きダイヤモンドアンビルセル[5]を用いて、最大 125 GPa まで測定した。

Fig. 1 に $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10+\delta}$ の様々な圧力下での電気抵抗の温度依存性を示す。 $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10.04}$ では、20.2 GPa で超伝導が発現し、その後加圧とともに T_c が急激に上昇し、48.0 GPa で 36 K に達した。その後は圧力の増加とともに T_c は徐々に減少した。一方、 $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{9.99}$ では、 $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10.04}$ の超伝導発現圧力より高い 32.8 GPa で超伝導が発現し、 T_c は圧力の増加とともに徐々に上昇し、79.2 GPa で 23 K に達した。Fig. 2 に $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10.04}$ と $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{9.99}$ の T_c の圧力依存性を示す。 $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10+\delta}$ は約 20 GPa から 80 GPa の範囲で、酸素量が大きいほうが $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10+\delta}$ の T_c が向上することを確認した [3]。 $\text{La}_4\text{Co}_3\text{O}_{10+\delta}$ の高圧力下電気抵抗測定の結果については当日講演する。

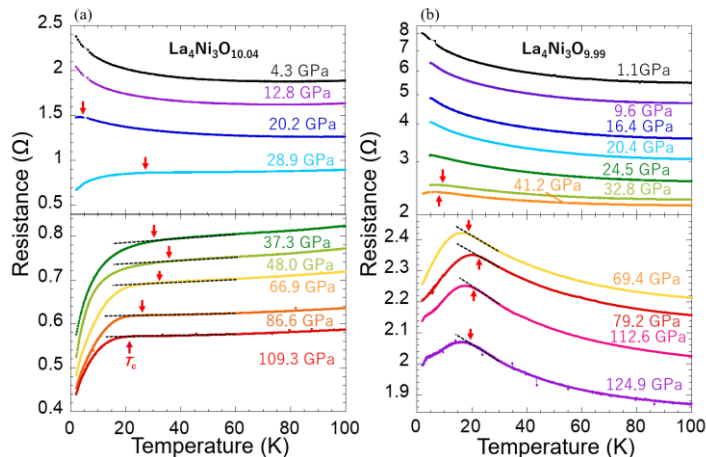


Fig.1. Temperature dependence of the resistance of (a) $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10.04}$ [3] and (b) $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{9.99}$ [2] under various pressures. The dashed lines represent the linear temperature dependence just above T_c , and the arrows indicate T_c estimated.

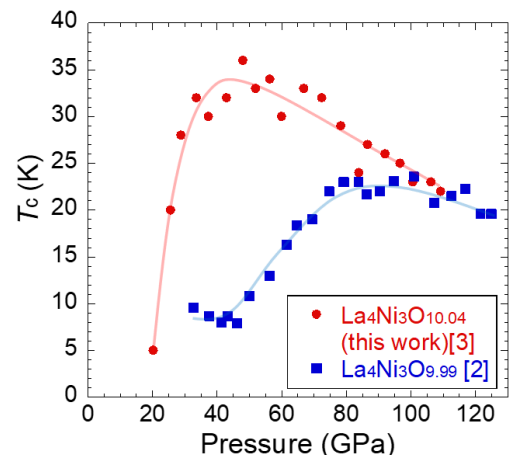


Fig.2. T_c of $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10.04}$ [4] (red filled circles), $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{9.99}$ [2] (blue filled squares). The lines are guides to eye.

[1] Hualei Sun *et al.*: Nature, **621**, 493 (2023).

[2] Hirofumi Sakakibara *et al.*: Phys. Rev. B, **109** 144511 (2024).

[3] Hibiki Nagata *et al.*: J. Phys. Soc. Jpn. **93** 095003 (2024).

[4] 桜井裕也.: 第 72 回応用物理学会秋季学術講演会シンポジウム T17

[5] Ryo Matsumoto *et al.*: Rev. Sci. Instrum. **87**, 076103 (2016).

Ruddlesden-Popper 型新規物質 $\text{Sr}_3\text{Ni}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ の物性評価Characterization of new Ruddlesden-Popper type compound $\text{Sr}_3\text{Ni}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$

物材機構¹, 筑波大², [○](D1)山根 和樹^{1, 2}, 松本 凌¹, 寺嶋 健成¹, 櫻井 裕也¹, 高野 義彦^{1, 2}

NIMS¹, Univ. of Tsukuba², [°]Kazuki Yamane^{1, 2}, Ryo Matsumoto¹, Kensei Terashima¹,

Hiroya Sakurai¹, Yoshihiko Takano^{1, 2}

E-mail: YAMANE.Kazuki@nims.go.jp

近年、Ruddlesden-Popper (RP) 型層状物質 $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ が高圧力下において $T_c = 80$ K の高温超伝導を示すことが発見され、注目を集めている[1]。この高温超伝導が発現する重要な条件は常圧力で斜方晶構造の $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ が圧力印加で正方晶系へと構造相転移することと考えられている[2]。そこで越智らは、常圧力で正方晶構造を持つ新規 RP 型物質 $\text{Sr}_3\text{Ni}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ を理論的に提唱し[3]、我々が実験的に初めて合成した[4,5]。本講演では、超伝導体候補物質 $\text{Sr}_3\text{Ni}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ の物性について詳細に報告する。

$\text{Sr}_3\text{Ni}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ の単結晶試料は 10 GPa 1400 °C, 多結晶試料は 10 GPa 1200 °C でそれぞれ合成した。電気抵抗 (R) の温度 (T) 依存性は、Fig.1 に示すように劈開した単一の単結晶試料を電極が微細加工されたダイヤモンドアンビルセル高圧セルに封入することで測定した[6]。現状、多結晶試料はわずかな不純物を含むため、磁化率や比熱測定に向けて単相化を目指している。

Fig.2 に様々な圧力下における $\text{Sr}_3\text{Ni}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$ の R - T 特性を示す。大気圧と同程度の最低圧力 (0.2 GPa) での R - T 曲線は低温で緩やかに上昇した。最低温での R は室温の 3 倍程度であり、金属的な性質と考えている。圧力

を 23.7 GPa まで印加しても R - T 曲線のふるまいに大きな変化はなく、 R はわずかに減少した。今後は純良バルク体を合成し、磁化率や比熱の測定から、本物質の物性の理解を深め、超伝導の発現を目指す。

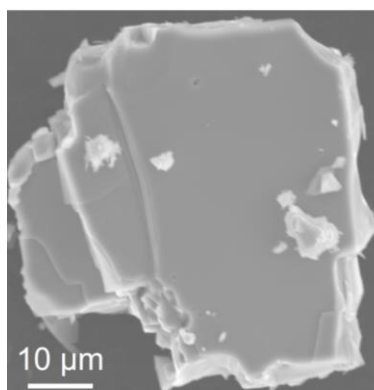


Fig.1 SEM image of $\text{Sr}_3\text{Ni}_2\text{O}_5\text{Cl}_2$.

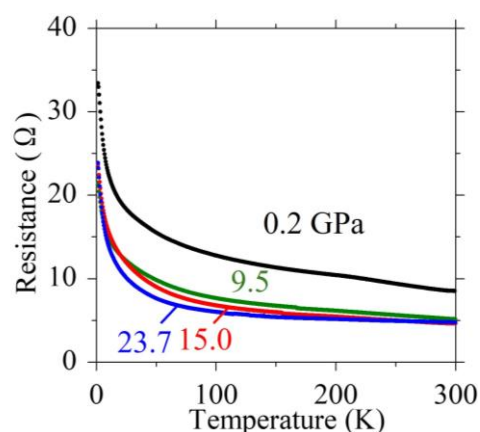


Fig.2 R - T of the sample at each pressure.

[1] H. Sun et al., Nature **621**, 493 (2023). [2] H. Sakakibara et al., Physical Review B **109**, 144511 (2024).

[3] M. Ochi et al., arXiv:2409.06935 (2024). [4] K. Yamane et al., arXiv:2412.09093 (2024).

[5] 第 85 回秋季応用物理学会 新潟 17a-C31-1 山根和樹

[6] R. Matsumoto et al., Review of Scientific Instruments **87**, 076103 (2016).

ニッケル系超伝導体候補物質 $\text{Sr}_2\text{NiO}_2\text{Cl}_2$ の高圧合成と電気抵抗測定

High pressure synthesis and resistance measurement of $\text{Sr}_2\text{NiO}_2\text{Cl}_2$

物材機構¹, 筑波大院², [○](M1)岡 駿佑^{1,2}, (D)山根 和樹^{1,2}, (M1)永田 響^{1,2}, (M2)植木 祐太^{1,2}

桜井 裕也¹, 松本 凌¹, 寺嶋 健成¹, 高野 義彦^{1,2}

NIMS¹, Univ. of Tsukuba², [○]Shunsuke Oka^{1,2}, Kazuki Yamane^{1,2}, Hibiki Nagata^{1,2}, Yuta Ueki^{1,2},

Hiroya Sakurai¹, Ryo Matsumoto¹, Kensei Terashima¹, Yoshihiko Takano^{1,2}

E-mail: OKA.Shunsuke@nims.go.jp

2023年に報告されたニッケル系超伝導体 $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ は超伝導転移温度 $T_c=80\text{ K}$ ^[1]であり、銅酸化物系、水素化物系に続く、液体窒素の温度を上回る T_c を持つ高温超伝導体である。加えて、ニッケル系超伝導体は銅酸化物系の CuO_2 面に相当する NiO_2 面を持つことから注目を集めており、 NiO_2 面を持つ物質の超伝導探求が進んでいる。同年2023年には、我々が類似層状構造を持つ $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10}$ の超伝導を発見した^[2]。これら $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ と $\text{La}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10}$ は、それぞれ2層および3層に積層した NiO_2 面を持つ。一方、1層の NiO_2 面を持つ $\text{Sr}_2\text{NiO}_2\text{Cl}_2$ (Fig. 1)でも、高圧下での超伝導発現が予測されている^[3]。我々は本物質を実験的に合成し、高圧下で電気抵抗測定を行い超伝導の有無を調べた。

キュービックアンビル高圧装置を用いて、3 GPa の高圧下で高温高圧合成を行った。単相試料を得るために、合成温度を $900\sim 1400\text{ }^\circ\text{C}$ まで変化させて最適な条件を探索した。得られた試料を、電極を微細加工したダイヤモンドアンビルセル(DAC)高圧装置^[4]に封入することで、高圧下電気抵抗測定を行った。

合成試料の粉末X線回折(XRD)パターンを Fig. 2 に示す。目的相である $\text{Sr}_2\text{NiO}_2\text{Cl}_2$ のシミュレーションとの比較から、 $1000\text{ }^\circ\text{C}$ で最も単相に近い試料を得た。二端子法による電気抵抗測定より $\text{Sr}_2\text{NiO}_2\text{Cl}_2$ は常圧で少なくとも $100\text{ M}\Omega$ 以上の絶縁体であることが分かった。超伝導化を期待して圧力を印加すると、電気抵抗は減少傾向を示した(Fig. 3)。先行研究の磁化測定によると、ニッケルは高スピン状態である一方^[5]、超伝導を予測した理論研究では低スピン状態を前提としている^[5]。圧力印加により低スピン状態への転移が期待されるため、今後は更なる高圧力下での測定と、元素置換による電荷量の最適化を目指す。

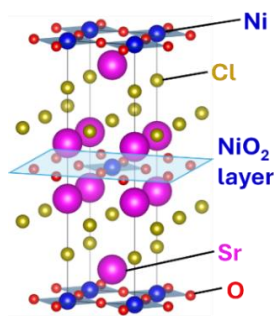


Fig.1 Crystal structure of $\text{Sr}_2\text{NiO}_2\text{Cl}_2$

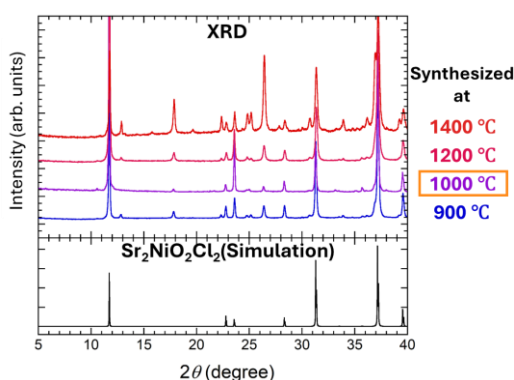


Fig.2 XRD results of synthesized samples and simulated pattern of target phase

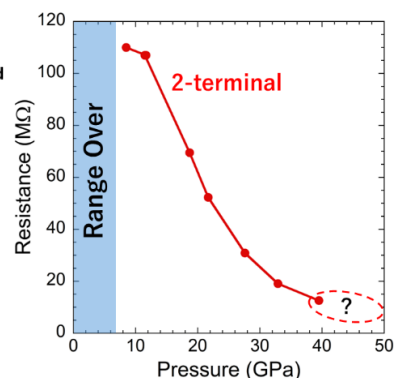


Fig.3 Pressure-dependent electrical resistance of $\text{Sr}_2\text{NiO}_2\text{Cl}_2$ at room temperature

[1] H. Sun, *et al.* Nature **621**, 493–498 (2023).

[2] H. Nagata, *et al.* J. Phys. Soc. Jpn. **93**, 095003 (2024).

[3] N. Kitamine, *et al.* arXiv:2308.12750. (2023).

[4] R. Matsumoto, *et al.* Rev. Sci. Instrum. **87**, 076103 (2016).

[5] R. Smyth, *et al.* Solid State Sciences. **144**, 107293 (2023).

Ag 元素置換効果によるミスフィット層状化合物の物性評価

Evaluation of Physical Properties in Misfit Compounds with Ag Element Substitution

日大理工, ^{○(M1C)}中田 涼之助, 内野 瑠海, ^{○(DC)}桑原 彰梧,

渡辺 忠孝, 出村 郷志

CST Nihon Univ., ^{○(M1C)}Ryonosuke Nakata, Rumi Uchino, ^{○(DC)}Shogo Kuwahara,

Tadataka Watanabe, Satoshi Demura

E-mail: csry24021@g.nihon-u.ac.jp

ミスフィット層状化合物 $[(MX)_{1+\delta}]_n(TX_2)_m$ (M : Pb, Bi, Sn, rare earth, T : 遷移金属, X : S, Se) は絶縁性をもつ MX 層 n 層と伝導性をもつ TX_2 層 m 層がファンデルワールス力により交互に積層した結晶構造をもつ物質である。この物質群の一部は超伝導を示し、その層数 n, m を制御することで超伝導転移温度 (T_c) が変化する。 $(BiSe)_{1.10}(NbSe_2)_m$ は $m = 1$ の時、 T_c は約 2.7 K であり、面内の結晶軸方向に上部臨界磁場 ($\mu_0 H_{c2}$) の異方性がある[1]。また、 $NbSe_2$ 単体の T_c は約 7 K であり $(BiSe)_{1.10}(NbSe_2)_m$ の T_c と比較すると T_c は低いため、さらなる転移温度の向上が期待できる。

本研究では、元素置換による $NbSe_2$ 層へのホールキャリアドーピングにより、 T_c の制御を試みた。具体的には、 $(BiSe)_{1.10}(NbSe_2)_m$ の Bi サイトに Ag を置換した $(Bi_{1-x}Ag_xSe)(NbSe_2)_m$ の単結晶試料を育成し、その超伝導特性の変化を調査した。単結晶は石英管内での熔融塩フラックス法で育成した。その結果、ミスフィット層状化合物由来の筋状模様を持つ、0.5~1.5mm 角の単結晶育成に成功した。また、Ag の置換量 (x_{Ag}) を増やしていくと、 $x_{Ag} = 0.3$ 付近から、 m の層数の異なる結晶が得られることも新たにわかった。伝導層が 1 層 ($m = 1$) で $x_{Ag} = 0.3$ の試料では、 T_c が約 6 K と向上した。電気抵抗率の磁場依存性測定では、面内の各方向に異方性があり、両者ともパウリ限界を超える値を示し、母相と比較して磁場に対して強くなることが確認された(Fig 1.)。

講演では、 $(BiSe)_{1.10}(NbSe_2)_m$ の測定結果から Ag 置換効果による超伝導特性の変化を議論する。

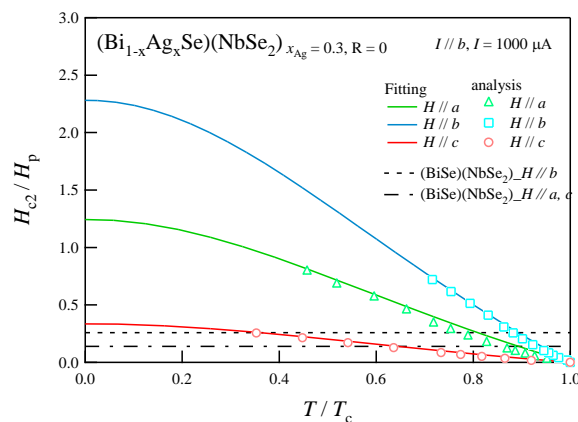


Fig 1. Temperature dependence of H_{c2} of $(Bi_{1-x}Ag_xSe)(NbSe_2)_m$, ($x_{Ag} = 0.3$)

[1] S. Matsuzawa *et al.*, J. Phys. Conf. Ser. 2545 012002 (2023).

Pb 置換した BiS₂ 系化合物の熱電特性と超伝導特性Superconducting and Thermoelectric Properties of La(O,F)(Bi,Pb)S₂日大理工¹, 物材機構² ^{○(MIC)}三輪 陽太¹, 村松 麗奈¹, 桑原 彰梧¹, 山根 和樹²,松本 凌², 寺島 健成², 高野 義彦², 渡辺 忠孝¹, 出村 郷志¹CST., Nihon Univ.¹, NIMS², ^{○(MIC)}Yota Miwa¹, Rena Muramatsu¹, Shogo Kuwahara¹,Kazuki Yamane², Ryo Matsumoto², Kensei Terashima², Yoshihiko Takano², Tadataka Watanabe¹
and Satoshi Demura¹

E-mail: demura.satoshi@nihon-u.ac.jp

BiS₂系化合物 LaOBiS₂は電荷供給層である1枚のLaO層と、伝導層である2枚のBiS₂層が交互に積層した結晶構造を有しており、Oサイトを部分的にFで置換することにより電子キャリアがBiS₂層にドーピングされ約3 Kで超伝導転移を示す[1]。近年、Biサイトを数%のPbで置換することにより超伝導転移温度は5 Kまで上昇することが報告された[2]。この際、電気抵抗率の温度依存性において異常な振る舞いが観測されており、最近の放射光粉末X線回折測定の結果からこの異常な振る舞いは低温で低対称な構造が出現したことによるものであるとわかっている[3]。しかし、構造相転移がどのような物性の変化を引き起こし、超伝導に対して影響を与えているかはわかっていない。そこで我々は、Pb置換したBiS₂系化合物La(O,F)(Bi,Pb)S₂の熱・電氣的な輸送特性を評価し、構造相転移が各物理量に与える影響を調査した。

Pb置換量 $x=0.08$ から $x=0.12$ にかけて構造相転移と超伝導が出現したが、超伝導転移は $x=0.18$ で消失した (Fig. 1(a))。また、 $x=0.18$ にかけて室温におけるゼーベック係数は負の方向に増加したため電子キャリアが減少し、熱伝導率が低下しているため結晶内部の乱れが増加していることがわかる (Fig. 1(b), (c))。したがって、キャリア量や構造の乱れが超伝導に影響を与えていると推察される。講演では、Pb置換量に対する物性の変化をより詳細に議論する予定である。

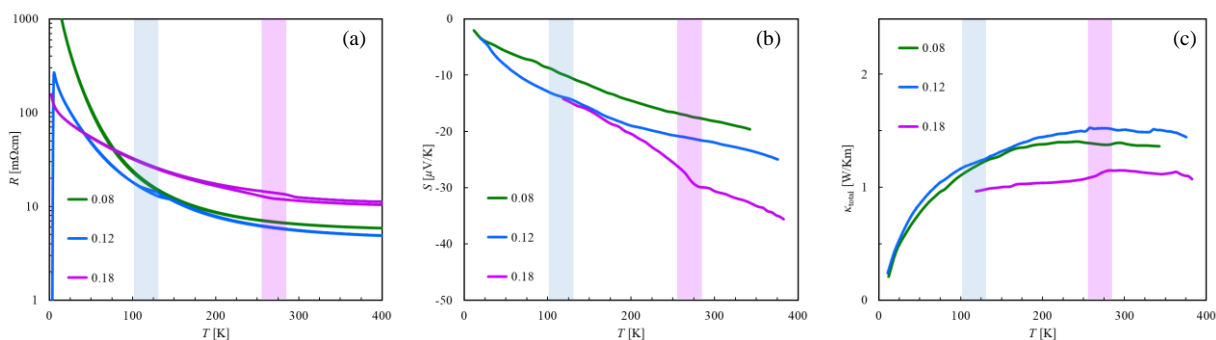


Fig. 1 Temperature dependence of the (a) electrical resistivity, (b) Seebeck coefficient and (c) thermal conductivity for LaO_{0.4}F_{0.6}Bi_{1-x}Pb_xS₂. The colored points indicate structural phase transition.

[1] Y. Mizuguchi et al, J. Phys. Soc. Jpn. **81**, 114725 (2012).

[2] S. Otsuki et al, Solid. State. Commun. **270**, 17-21 (2018).

[3] S. Okada et al, J. Phys. Soc. Jpn. **93**, 064701 (2024).

超小型加圧炉を用いたルテニウム系銅酸化物 RuEu-1212 の合成

Synthesis of Ruthenocuprate RuEu-1212 under Several Oxygen Pressures

宇都宮大工¹,[○]藤野 拓実¹, 八巻 和宏¹, 入江 晃亘¹

Utsunomiya Univ.¹, [○]Takumi Fujino¹, Kazuhiro Yamaki¹, Akinobu Irie¹

E-mail: mc246811@s.utsunomiya-u.ac.jp

我々のグループでは磁性と超伝導の共存への関心から、融点直下で焼成する部分溶融法を適用し、ルテニウム系銅酸化物 (RuRE-1212, RE は希土類) 単結晶の合成とその評価に取り組んできた。本研究では CuO₂ 面間の希土類に着目し、Gd に比べ磁気モーメントの小さい Eu を含む RuEu-1212 の合成を進めている。希土類を Eu とすることで、この系の磁性を担う Ru の磁化についてより詳細な評価が期待できる。Eu は Gd に比べイオン半径が大きく、RuEu-1212 の単結晶合成は困難であるが、これまでにシリコニット管状炉を用いた部分溶融法により、80 μm 大の EuSr₂RuCu₂O_{8-δ} (RuEu-1212) 単結晶が報告されている[1]。この物質は多結晶試料の場合、約 30 K で超伝導を示すことが知られているものの、合成した単結晶試料は超伝導転移を示さなかった。多結晶試料を用いた RuGd-1212 では、高压合成で $T_{c-onset} \approx 73$ K の超伝導転移温度上昇が報告されている[2]。そこで本研究では、部分溶融法に、数気圧の物理圧力効果を付与することで、より伝導特性が高く、単結晶粒の大きな RuEu-1212 試料の合成を期待し、焼成時間、圧力値を検討した。

図 1 は、本研究で酸素 3 気圧下の条件で合成した RuEu-1212 多結晶試料の抵抗温度特性である。温度の低下に伴い抵抗値は金属的に減少するものの、100 K 以下で抵抗値は半導体的に上昇、その後 30.9 K で急激な抵抗の減少を確認した。この試料の電流電圧特性を図 1 挿入図に示すが 4.2 K で臨界電流、3.5 mA を観測した。SEM による表面観察の結果から、この試料は 1 辺 20 μm 大の微小な単結晶を含んでいることが確認できた。従って、単結晶粒を含む多結晶塊で RuEu-1212 系として初めてゼロ抵抗の確認に成功した。単結晶粒が 20 μm 大と小さく、表面形状も立方体が丸みを帯びている点などが課題である。現在、単結晶の大型化ならびに超伝導性の発現の両立に向けた焼成条件の探索を進めている。

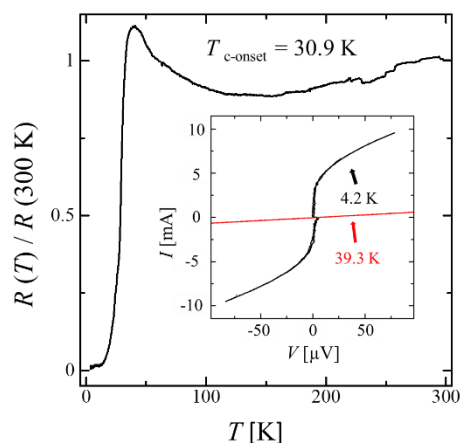


Fig1. Temperature dependence of normalized resistance and (Inset) I - V characteristics of a RuEu-1212 polycrystalline sample prepared by partial melting at 3 atm oxygen.

[1] K. Yamaki, N. Kitagawa, T. Mochiku, Y. Matsuhita, S. Funahashi, A. Irie, J. Supercond. Nov. Magn. **34**, 2207–2215 (2021).

[2] P. W. Klamut, B. Dabrowski, S. Kolesnik, M. Maxwell, J. Mais, Phys. Rev. B **63** 2245 (2001).

MOD 法により半導体とヘテロ接合を形成した BSCCO の超伝導特性

Superconducting Properties of BSCCO

Forming Heterojunctions with Semiconductors by MOD Method

小山高専¹ ○山田 靖幸¹, 延島 聖人¹, 伊倉 秀羽¹, 笠井 大夢¹

NIT, Oyama College¹, °Yasuyuki Yamada¹, Masato Nobushima¹, Shu Ikura¹, Hiromu Kasai¹

E-mail: yyamada@oyama-ct.ac.jp

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (BSCCO) は、固有ジョセフソン接合に起因するジョセフソンプラズマモード (JP モード) を示し、これを用いたテラヘルツデバイスや量子ビットの実現が期待されている。従来の JP モードの励起方法は、直流電流によるキャリア注入による励起[1]や、テラヘルツ波照射による励起[2]であるが、ジュール熱に伴う熱管理の問題や、空間分解能の問題がある。本研究では、JP モードの新規励起方法として可視光線や紫外線による光励起を提案する。この方法では、BSCCO/半導体ヘテロ接合や BSCCO/pn 接合を作製し、光起電力効果を利用して BSCCO にキャリア注入を行う。これにより局所的かつ高効率な JP モード励起が可能になると期待される。

これまでに、薄膜作製法として有機金属分解 (MOD) 法を採用し、BSCCO/半導体ヘテロ接合の作製を行ってきた[3-5]。MOD 法は材料の多様性に富み、組成の精密制御が可能である。半導体薄膜へのドーパント添加も容易である。しかし、多層構造作製時の熱処理による下層への影響を考慮したプロセス最適化が重要である。p 型半導体については、BSCCO/ Cu_xO 接合を作製し、良好なオーミック接触となることを確認している[3,5]。n 型半導体については、BSCCO/ ZnO 接合を作製し、 ZnO 層の高抵抗性により信頼性の高い I-V 特性は得られなかったものの、BSCCO 層の液体窒素温度以上での超伝導遷移を確認した。しかし、完全なゼロ抵抗状態は達成されず、Zn による BSCCO の超伝導性抑制の可能性が示唆された (図 1) [4,5]。そこで、本研究では MOD 法により半導体 (Cu_xO , ZnO) とのヘテロ接合を形成した BSCCO の超伝導特性の作製条件との相関について検証を行う。

BSCCO, Cu_xO , ZnO の各薄膜の成膜には、各々 (株)高純度化学研究所製の原料溶液 SK-BSCCO008, Cu-03A, Zn-05 を用いた。使用基板には、サイズ $10 \times 10 \times 0.5$ mm の $\text{SrTiO}_3(100)$ 基板を用いた。溶液のスピコートには、(株)エイブル製のスピコーター (ASC-300) を用いた。熱処理は(株)デンケン製のマッフル炉 (KDF-P70) により行った。図 2 に試料の概形を示す。1 層目の BSCCO 薄膜を作製したのち、2 層目として各半導体薄膜の作製を行った。2 層目の原料溶液塗布の際にはメンディングテープを用いて簡易的に原料溶液のパターニングを行った。1 層目の BSCCO が露出している領域に電極を配置し、作製条件と超伝導特性との相関を調査する。これらの詳細については、講演にて報告する予定である。

参考文献

- [1] L. Ozyuzer et al., Science 318, 1291 (2007)
- [2] Singley et al. Phys. Rev. B 69, 092512 (2004)
- [3] 山田 他, 2023 年 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 20a-C401-3
- [4] 山田 他, 2024 年 第 85 回応用物理学会秋季学術講演会, 16p-P07-19
- [5] Y. Yamada et al., The 37th International Symposium on Superconductivity, EDP2-12 (2024)

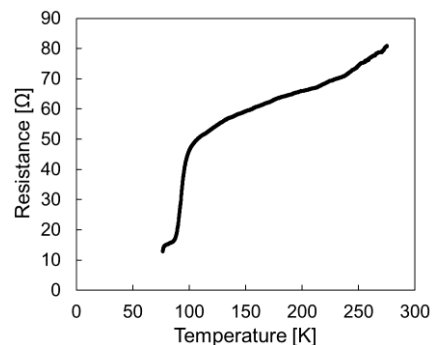


Figure 1. Resistance-temperature characteristics of BSCCO layer. Superconducting transition of the first layer confirmed above liquid nitrogen temperature. A completely zero-resistance state was not achieved [4,5].

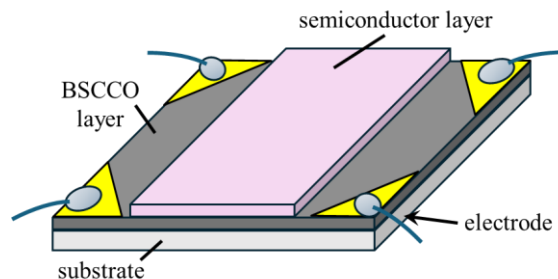


Figure 2. Schematic diagram of BSCCO/Semiconductor junction.

一般型高精度万能旋光計による $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ 単結晶の 擬ギャップにおける時間反転対称性の評価

Evaluation of time-reversal symmetry in pseudogap of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ single crystals
using generalized-high accuracy universal polarimeter

早大理工¹, 早大総研機構², 東北大金研³

○(B)岡野 洸明¹, チョウ コン¹, (M2)時田 桂吾¹, 中川 鉄馬², 中西 卓也²,
藤田 全基³, 朝日 透^{1,2}

Faculty of Adv. Sci. & Eng., Waseda Univ.¹, Comprehensive Research Organization, Waseda Univ.²,
Institute for Materials Research, Tohoku Univ.³

○(B) Komei Okano¹, Kun Zhang¹, (M2) Keigo Tokita¹, Kenta Nakagawa², Takuya Nakanishi²,
Masaki Fujita³, Toru Asahi^{1,2}

E-mail: tasahi@waseda.jp

常温常圧超伝導体を実現するために銅酸化物高温超伝導体は精力的に研究が行われているが、その発現機構解明には至っていない。銅酸化物高温超伝導体は、BCS 理論によって発現機構が解明されている従来型超伝導体と異なり、擬ギャップと呼ばれる特殊なバンド構造を持つ。擬ギャップとは、逆空間において部分的なエネルギーギャップを持つ構造であり、超伝導転移温度 T_C と擬ギャップへと突入する温度 T^* の間の特定の温度領域 $T_C < T < T^*$ で形成される^[1]。この擬ギャップの起源については、研究者の間で解釈が一致していない。そして、本研究では特に擬ギャップの解釈の一つである相転移仮説を検証した^[2]。この相転移仮説では、擬ギャップが超伝導状態と競合する秩序（磁気秩序、環状電流）を持った独立した相であり^[2-3]、系の時間反転対称性の破れを仮定している。

一般型高精度万能旋光計 (G-HAUP) は微小な系統誤差を定量的に評価することで、光学的異方性 (LB、LD) に加えて、非常にシグナルが小さい円複屈折 (CB)、円二色性 (CD) の同時測定が可能である^[4-5]。我々は、相転移仮説を検証するために、低温冷却可能な G-HAUP を新たに開発・構築し、銅酸化物高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (Bi2212) の擬ギャップにおける時間反転対称性の存否を、相反・非相反的な CB・CD^[4,6]を測定することにより、評価した。本研究では、新たに構築した G-HAUP の測定分解能を定量的に評価し、測定した相反・非相反的な CB・CD と、時間反転対称性の破れの存否を定量的な観点から考察したので、報告する。

本研究は、みずほ学術振興財団 (旧河上記念財団) 工学研究助成及び東北大金研における共同研究 (課題番号: 202303-RDKYA-0089, 202312-RDKYA-0034) の援助の下、実施された。

参考文献

- [1] T. Timusk *et al.*, *Rep. Prog. Phys.*, **62**, 61 (1999). [2] A. Kaminski *et al.*, *Nature*, **416**, 610 (2002). [3] C. M. Varma, *Phys. Rev. B*, **55**, 14554 (1997). [4] J. Kobayashi *et al.*, *Phys. Rev. B*, **53**, 11784 (1996). [5] M. Tanaka *et al.*, *J. Phys. D*, **45**, 175303 (2012). [6] A. Kapitulnik, *et al.*, *New. J. Phys.*, **11**, 055060 (2009).

コロイドプロセスによる $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 成形体の作製

Fabrication of $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ green compacts by a colloidal process

¹京都先端科学大・工, ²物材機構

福山風人¹, 足立伸太郎¹, 木村史子¹, 廣田憲之², 鈴木達², 打越哲郎², 堀井滋¹

¹Kyoto Univ. Adv. Sci., ²NIMS

F. Fukuyama¹, S. Adachi¹, F. Kimura¹, N. Hirota², T. Suzuki², T. Uchikoshi² and S. Horii¹

E-mail: 2024mm18@kuas.ac.jp

1. Introduction

To achieve the high critical current density of $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (RE123) superconductors (SCs) for practical use, bi- or tri-axial grain alignment is essential. Our group focuses on the magnetic alignment technique to improve critical current by fabricating the thick RE123 films ($> 100 \mu\text{m}$) with biaxial microstructures. Biaxial alignment of RE123 grains with twinned microstructure has been achieved under the modulated rotating magnetic field of solenoidal SC magnet (SC-MRF) in an epoxy resin [1, 2]. Recently, our group developed the linear drive type MRF (LDT-MRF) equipment[3], and aim at development of the biaxial aligned RE123 ceramics by the colloidal process and LDT-MRF. In the previous JSAP meeting, we reported viscosity dependence of biaxial orientation degrees in $(\text{Y}_{1-x}\text{Dy}_x)\text{123}$ using two different types of epoxy resins with $\sim 500 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ of initial viscosity[4]. Requirements of a colloidal solution having the appropriate viscosity with considering magnetic alignment time, which is depending on magnetic anisotropy, was strongly suggested for fabrication of the biaxial aligned ceramics. In this study, we tried to prepare Dy123 colloidal solutions with various initial viscosities.

2. Experimental

Dy123 ($y \sim 7$) polycrystals were synthesized by the standard solid-state reaction and oxygen annealed. Incidentally, averaged particle size is $\sim 0.5 \mu\text{m}$. Dispersant (polyethyleneimine, 1 wt%, PEI) mixed with the solvent (ethanol and/or butanol). Then, the binder (Hydroxypropyl Cellulose H type, HPC-H) was added in 0 - 2 wt% to the PEI mixtures. Fined Dy123 powders with 5 - 15 vol% as dispersoid was mixed with HPC-H mixtures. Prepared Dy123 colloidal solutions were dried in a mold under ambient pressure. Viscosities of HPC-H mixtures and Dy123 colloidal solutions were measured by the rheometer.

3. Results and Discussion

Fig. 1 shows the relationships between the amount of HPC-H and the viscosities of HPC-H mixtures with ethanol or butanol. Viscosities of the two different HPC-H mixtures were increased exponentially with the increases in HPC-H

concentration in common. When the HPC-H concentration is 1.4 wt%, the HPC-H mixture showed $500 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ as the initial viscosity. This viscosity is almost equivalent to that of the epoxy resin we used in the previous work[4].

Prepared Dy123 colloidal solution (Dy123: 5 vol%, HPC-H: 1.4 wt%, PEI: 1 wt%) with $500 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ was dried in the mold under ambient pressure. We successfully fabricated a green compact of Dy123 with $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 200 \mu\text{m}$ in size.

In this study, we will report details of the fabrication process of $(\text{Y}_{1-x}\text{Dy}_x)\text{123}$ colloidal solution and the microstructures of dried/sintered $(\text{Y}_{1-x}\text{Dy}_x)\text{123}$ thick films.

References

- [1] S. Horii *et al.*, SuST **29** (2016) 125007.
- [2] W. B. Ali *et al.*, J. Appl. Phys. **134** (2023) 163901.
- [3] S. Horii *et al.*, J. Ceram. Soc. Jpn. **126** (2018) 885.
- [4] F. Fukuyama *et al.*, JSAP2024, Spring Meeting, 24p-12P-7

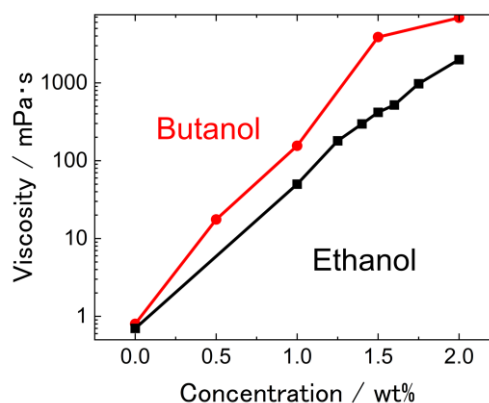


Fig. 1 The relationships between the amount of HPC-H and the viscosities of the HPC-H mixtures using ethanol or butanol as solvent.

試料搬送型の変調回転磁場印加による REBa₂Cu₃O_y 磁場配向の検討(II)

Study of magnetic alignment in REBa₂Cu₃O_y through sample-transport-based modulated rotating magnetic field application (II)

京都先端科学大・工：○足立 伸太郎, 木村 史子, 堀井 滋

Kyoto Univ. Adv. Sci (KUAS): ○Shintaro Adachi, Fumiko Kimura, and Shigeru Horii

E-mail: adachi.shintaro@kuas.ac.jp

To achieve high critical current densities (J_c) in both self-field and in-field conditions for high- T_c cuprate superconductors like REBa₂Cu₃O_y (RE123), it is essential to densify and orient large number of grains. Our research is focused on magnetic alignment methods to achieve biaxial grain orientation of RE123, aiming to enhance the practical application of RE123 as a superconducting wire. Since magnetic alignment does not need highly oriented templates and works at room temperature, it is useful for the enhancement of performance of functional anisotropic materials. These characteristics of magnetic alignment create new opportunities for fabricating thicker films of RE123, a goal that is challenging to achieve using epitaxial technology.

In the magnetic alignment method, the expectation is that the easy and hard axes align perpendicular to the static magnetic field and the modulated rotating magnetic field, respectively. When the grain shape is approximately spherical, the following formula can be used to estimate the required magnetic alignment time τ [1]: $\tau^{-1} = \chi_a B^2 / 6\eta\mu_0$, where χ_a is the dimensionless difference between the magnetic susceptibility along the easy axis and that perpendicular to the easy axis, B is the magnetic flux density, η is the medium viscosity, and μ_0 is the vacuum permeability. In the past, biaxial magnetic alignment of several RE123s required a superconducting magnet [2]. Recently, our group developed an original equipment that can generate a linear drive type of modulated rotating magnetic fields (LDT-MRF) using the permanent magnet arrays [3]. This magnetic alignment equipment is compact and has low (capital investment and operational) costs. Up to now, this LDT-MRF equipment had achieved a static magnetic field of 0.9 T and a rotating magnetic field of 0.8 T. Furthermore, by expanding the width of magnet arrays perpendicular to the LDT direction, we have succeeded in suppressing the tilt of the sample grains in the direction of the hard magnetization axis, thereby achieving the high degrees of orientation of each grain [4-5]. To date, such research has been carried out using batch processes, but the application of this magnetic alignment technology requires a

continuous process.

The concept of our magnetic alignment technique is illustrated in Figure 1. As shown on the left of FIG. 1, the sample (in this case, orthorhombic Dy123 grains) initially shows a random orientation, which is then magnetically aligned in bi- or tri-axial through the central LDT-MRF region. The goal of this study is to continuously extract the sample in the state shown on the right of FIG. 1. At the JSAP Autumn meeting 2024, we demonstrated that the Dy123 ($y \sim 7$) grains of high- T_c cuprate superconductors can be continuously magnetically aligned using an LDT-MRF equipment with sample-transport system [6]. However, as suggested in our report for the JSAP Autumn meeting 2024, one of the current challenges is that the first easy magnetization axis of the Dy123 ($y \sim 7$) grains follow the direction of the leakage magnetic flux lines when sample exits the LDT-MRF equipment. To maximize the J_c of Dy123 ($y \sim 7$), it is necessary to achieve the state of the linear transport direction // a -axis (or b -axis). However, there is a clear lack of understanding regarding the alignment of the magnetic flux lines in the target direction (in the case shown in FIG. 1, X // a -axis, Y // b -axis, Z // c -axis) through the linear sample-transport system (along the X direction in FIG. 1). Therefore, we will collect basic data about the degree of orientation for Dy123 grains with epoxy resin, when the samples are magnetically aligned at various transport speeds using the present magnet array and the sample-transport system of the LDT-MRF equipment. The evaluation of the magnetically aligned Dy123 sample will be performed using the (103) pole figure of the sample's bottom surface. In this presentation, we will provide details of the experimental methods and results.

References

- [1] Kimura, *Polym. J.* **35**, 823 (2003).
- [2] Horii *et al.*, *SuST* **29**, 125007 (2016).
- [3] Horii *et al.*, *J. Cer. Soc. Jpn.* **126**, 885 (2018).
- [4] Ali *et al.*, *JAP* **134**, 163901 (2023).
- [5] Adachi *et al.*, JSAP Spring MTG 2024, 24p-12P-8.
- [6] Adachi *et al.*, JSAP Autumn MTG 2024, 17a-C31-10.

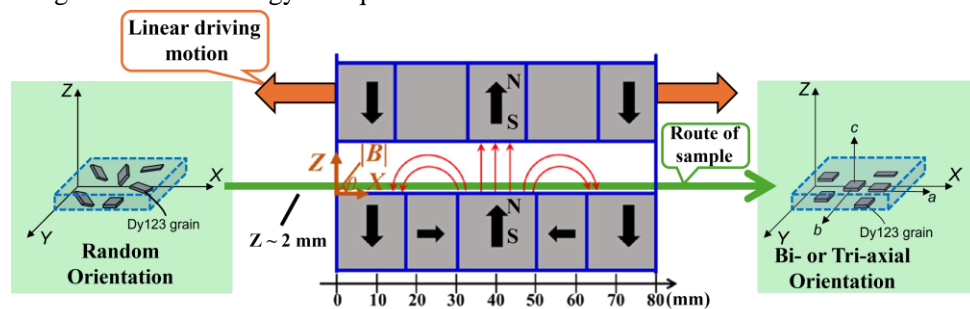


FIG. 1. Concept of the magnetic alignment system through sample-transport-based modulated rotating field.

首振り回転磁場下における REBa₂Cu₃O₇ 粉末(RE=Y, Er)の 配向度と首振り角度の関係(II)

Relationship between bi-axial orientation degrees and oscillation angle for REBa₂Cu₃O₇ (RE=Y, Er) powder samples aligned under oscillation type of modulated rotating magnetic fields (II)

¹京都先端科学大学・工, ²京大院エネ科 : °堀井滋¹, 野津乃祐², 土井俊哉²

¹Kyoto Univ. Adv. Sci., ²Kyoto Univ.: °S. Horii¹, D. Notsu² and T. Doi²

E-mail: horii.shigeru@kuas.ac.jp

1. Introduction

REBa₂Cu₃O₇ (RE123) superconductors with $T_c \sim 90$ K require formation of biaxial/triaxial grain orientation for practical application due to the weak link at grain boundary. Biaxial/triaxial magnetic alignment by modulated rotating magnetic field (MRF) is a possible candidate as a room-temperature process. Many types of MRF have been reported and the static field (SF) and rotating field (RF) components are included in any type. The most typical MRF in our group is the intermittent type MRF[1]. However, in the present study, our group focuses on another type of MRF, the oscillation (OS) type MRF[2]. Fig. 1 shows a schematic of the OS type MRF and its advantages are that the OS process includes both SF and RF components simultaneously and these can be systematically controlled by the oscillation angle (θ). We examined the biaxial orientation degrees of twinned RE123 (RE=Y and Er) powder samples aligned under the OS type MRF with controlling θ and magnetic field (B_a) and clarified the roles of SF and RF.

2. Experimental

Oxygen-postannealed Y123 ($\chi_c > \chi_a > \chi_b$) and Er123 ($\chi_b > \chi_a > \chi_c$) polycrystals were pulverized in a agate mortar. The powders were mixed with epoxy resin (Araldite Standard, $\eta_{\text{ini}}=40$ Pas) in a weight ratio with powder : resin = 1:10, and were cured in the OS type MRF. The curing time is about 2 h. As shown in Fig. 1, θ is the maximum OS angle created by the normal direction to the α plane and the horizontal B_a direction of the superconducting solenoidal electromagnet. In this study, rotation speed (Ω) is 5 rpm and θ is $1.8^\circ \sim 90^\circ$. (103) pole figure measurement is examined to determine the biaxial orientation degree (F) of the magnetically aligned RE123 powder samples.

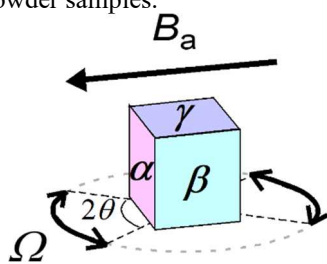


Fig. 1 Experimental configuration in oscillated rotation magnetic fields.

3. Results and discussion

For $\theta < 90^\circ$, the first easy, second easy and hard axes are aligned normal to the α , β and γ planes (see Fig. 1), respectively. Fig. 2 shows relationship between F and θ for the magnetically aligned Y123 and Er123 powder samples with $B_a = 5$ T. Incidentally, due to the different directions on the first easy axis in Y123 and Er123, the α and γ planes were used for the (103) pole figure measurement in the Y123 and Er123 powder samples, respectively.

The F values of Y123 showed $\sim 10\%$ for $\theta < 20^\circ$, and F was increased monotonically with θ for $\theta > 30^\circ$. However, the F values of Er123 showed $F > 30\%$ in a whole θ region with $1.8^\circ < \theta < 90^\circ$. Theoretically, the increase in θ means the increase in the RF component and the decrease in the SF component. It is strongly suggested in Fig. 2 that magnetic anisotropy of Er123 is higher than that of Y123 and the biaxial orientation degrees of Y123 under 5T of OS-MRF were improved by providing RF component of magnetic orientation energy. In this presentation, the results of the F - θ curves under different B_a are shown. Relationships between F and θ will be theoretically discussed from the viewpoints of magnetic orientation energies of SF and RF.

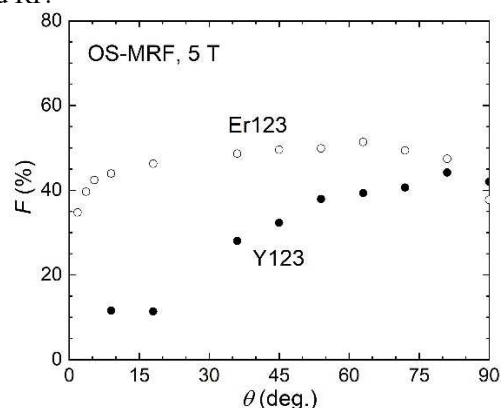


Fig. 2 θ -dependence of F for the magnetically aligned powder samples ($B_a = 5$ T) of Y123 and Er123.

Acknowledgments

This work was partly supported by JST-ASTEP (Stage I) and KAKENHI (17H03235).

References

- [1] Horii *et al.*, SuST 29 (2016) 125007.
- [2] Horii, Notsu, Doi, J. Cer. Soc. Jpn. 132 (2024) 675.

共晶ハイエントロピー合金 NbScTiZr の不可逆磁場と臨界電流密度

Irreversibility field and critical current density

in eutectic high-entropy alloy NbScTiZr

九産大¹, 福工大², 大阪公大³, 東北大⁴ ○(M1)上田 遥翔¹, 西寄 照和¹, 末吉 哲郎¹,

関 武留², 北川 二郎², 加藤 勝³, 野島 勉⁴, 淡路 智⁴, 佐々木 孝彦⁴

Kyushu Sangyo Univ.¹, Fukuoka Institute of Technology², Osaka Metropolitan Univ.³, Tohoku Univ.⁴

○Haruto Ueta¹, Terukazu Nishizaki¹, Tetsuro Sueyoshi¹, Takeru Seki², Jiro Kitagawa²,

Masaru Kato³, Tsutomu Nojima⁴, Satoshi Awaji⁴, Takahiko Sasaki⁴

E-mail: k24gti02@st.kyusan-u.ac.jp

1. はじめに

これまでに、共晶ハイエントロピー合金であるNbScTiZr [1, 2] に着目し、磁化測定の結果をもとに超伝導特性を調べてきた[2, 3]. その結果、非熱処理のas-cast試料でも臨界電流密度 J_c ($T = 2\text{K}$) が 10^6 A/cm^2 を超え、さらに熱処理により特性が大きく変化することを報告した[3]. 本研究では、不可逆磁場 $H_{\text{irr}}(T)$ と J_c の熱処理温度 T_{an} 依存性を詳細に調べたので報告する。

2. 実験および結果

NbScTiZr 試料はアーク溶解法で作製した [2]. 共晶組織構造が超伝導特性に与える影響を調べるために、as-cast試料と熱処理試料 ($T_{\text{an}} = 200^\circ\text{C}$, 300°C , 400°C , 500°C , 600°C , 800°C , 1000°C) について、SQUID磁束計 (MPMS3, MPMS-XL) を用いて磁化を測定した。

各熱処理温度における磁化の温度依存性から求めた $H_{\text{irr}}(T)$ を Fig.1(a) に示す. $T_{\text{an}} \leq 300^\circ\text{C}$ での $H_{\text{irr}}(T)$ はas-cast試料よりも低い、 $T_{\text{an}} \geq 400^\circ\text{C}$ では増加し $T_{\text{an}} = 600^\circ\text{C}$ で最大値を示した. 熱処理によって $H_{\text{irr}}(T)$ の傾きは大きく変わらないため、 $H_{\text{irr}}(T)$ の振舞いは主に臨界温度 T_c の熱処理依存性を反映していると考えられる. 磁束ピン止め特性を議論するために、低温領域($T = 2\text{K}$) の J_c の磁場依存性をFig.1(b) に示す. J_c は

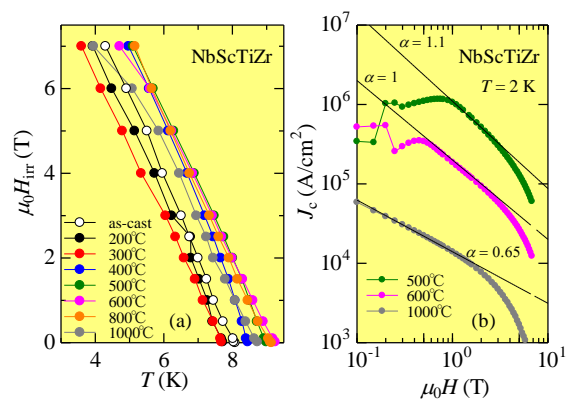


Fig.1 (a) Irreversibility field $H_{\text{irr}}(T)$. (b) Magnetic field dependence of $J_c(H)$.

$J_c(H) \propto H^{-\alpha}$ で記述でき、 J_c が低い $T_{\text{an}} = 1000^\circ\text{C}$ の試料では $\alpha = 0.65$ 、 J_c が高い $T_{\text{an}} = 500^\circ\text{C}$ の試料では $\alpha = 1.1$ となり、どちらも弱い集団のピン止め理論には一致せず、強いピン止め理論の範囲で説明できる[4]. 発表では、 α の T_{an} 依存性に加えて、ピン止め力密度 $F_p(H)$ と共晶組織構造との相関についても報告する。

参考文献

- [1] M. Krnel et al., Materials 15 (2022) 1122.
- [2] J. Kitagawa et al., Mater. Today Commun., 40 (2024) 109690.
- [3] 上田遥翔 他, 第71回応用物理学会春季学術講演会 (2024) [講演番号: 22a-P01-9].
- [4] G. Blatter et al., Rev. Mod. Phys. 66 (1994) 1125.

複数サイト置換したハイエントロピー型 REBCO 超伝導体の開発

Development of High-Entropy-Type REBCO Superconductor with Multiple Sites Substitution $(Y, Gd, Dy, Yb)_{0.25}Ba_{2-x}Sr_xCu_3O_{7-\delta}$

都立大¹, 横国大² ◯(M1)室井 孝太¹, 山下 愛智¹,
山中 慎大¹, 金子 卓人², 大野 直子², 水口 佳一¹

Tokyo Metropolitan Univ.¹, Yokohama National Univ.², ◯Kota Muroi¹, Aichi Yamashita¹,
Mahiro Yamanaka¹, Takuto Kaneko¹, Naoko Oono², Yoshikazu Mizuguchi¹,

E-mail: muroi-kouta@ed.tmu.ac.jp

ハイエントロピー合金 (HEA) とは 5 種類以上の元素が固溶した合金のことを言い、局所的な格子の歪みの効果で固溶強化に大きく寄与し、優れた力学特性の発現が報告されている [1]。我々は、HEA の概念を取り入れた HE 型化合物において、HE 化による乱れの導入が超伝導特性の向上に寄与することを期待して研究を行っている。また、HEA においては、格子の歪みの効果から粒子線照射耐性の向上が報告されている [2] ことから HE 化合物においても同様に照射耐性の向上を期待している。

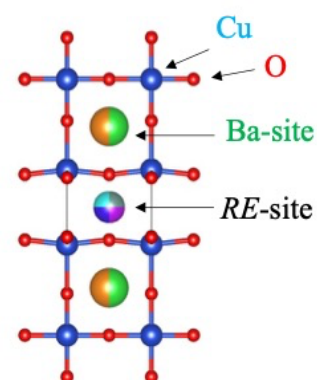


Fig. 1 Crystal structure of HE-type

我々は、次世代型の核融合炉における超伝導マグネット候補である銅酸化物高温超伝導体 $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ のさらなる性能向上と中性子照射に対する照射耐性獲得を目指し、RE サイトを多元素固溶した HE 型 $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ の開発を行っている [3–6]。本研究では、従来の RE サイトの多元素固溶に加え、Ba サイトの Sr 置換も同時に行うことで、さらなる乱れの導入を試みた。バルク多結晶試料の合成とパルスレーザー堆積 (PLD) 法を用いた薄膜作製を行い、得られた試料の超伝導特性等を評価した。本講演では、バルクと薄膜試料において、複数サイト置換による HE 化が超伝導特性等に及ぼす影響について議論する。

引用文献

- [1] M.-H. Tsai *et al*, *Mater. Res. Lett.* **2**, 107 (2014).
- [2] Q. Xu *et al.*, *Sci. Rep.* **11**, 608 (2021).
- [3] A. Yamashita *et al.*, *R. Soc. Open Sci.* **9**, 211874 (2022).
- [4] Y. Shukunami *et al.*, *Physica. C.* **572**, 1353623 (2020).
- [5] A. Yamashita *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **61**, 050905 (2022).
- [6] 「超伝導体及び超伝導体の製造方法」 山下愛智等, 特願: 2023-087946, 出願日: 2023/5/29.
- [7] 「ハイエントロピー型 $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ 高温超伝導体の物性と機能性」 山下愛智, 材料の科学と工学 (総合論文) 60 巻 5 号 (2023).

酸素量制御による KOH フラックス法 Nd123 膜の超伝導特性改善に向けた検討

Improvement of superconductivity in Nd123 films by oxygen-controlled KOH flux method

島根大自然¹, °(M1)重信 明希¹, 船木 修平¹, 山田 容士¹Shimane Univ.¹, °Haruki Shigenobu¹, Shuhei Funaki¹, Yasuji Yamada¹

E-mail: n24m207@matsu.shimane-u.ac.jp

【研究背景】溶融 KOH に原料を溶かし結晶成長させる KOH フラックス法は、NdBa₂Cu₃O_{7-δ} (Nd123)結晶膜を 500 ~ 700°C の低温下で作製できる。しかし、同手法を用い大気中で Nd123 膜を作製した場合、Nd/Ba 置換により T_c が大幅に低下する¹⁾。そこで、Nd/Ba 置換抑制に向け低酸素分圧下で作製することで、Nd123 膜の T_c^{onset} は 90 K 級に向上したが、異なる軸長をもつ複数の Nd123 相が混在し多段転移を示した。これは、原料に含まれる酸素の影響により、溶液内部で部分的に Nd/Ba 置換量の多い Nd123 相が生成したことが原因であると考えられる。そこで本研究では、温度に対して急峻に超伝導転移する Nd123 膜の作製を目的とし、原料の酸素量を減らすことによる Nd123 特性の影響を調査した。

【実験方法】出発原料に Nd₂O₃, BaCO₃ および CuO, Cu₂O, Cu のいずれかを用い、金属モル比が Nd : Ba : Cu = 1 : 2 : 3 となるよう秤量・混合した。アルミナるつぼに KOH を 5 g 充填し、脱水熱処理後、合成温度 600 ~ 700°C に調整し、SrTiO₃ (100)単結晶(STO)基板と原料 2.5 g を KOH 融液内に投入し、12 h 保持した。これらの工程を大気中および低酸素分圧下 ($p_{\text{O}_2} < 10^{-3}$ atm)で行った。得られた膜試料と粉末試料に酸素アニールを施した後、結晶相を XRD 2θ - θ 測定により同定し、超伝導特性を超伝導量子干渉計(SQUID)による磁化率の温度依存性により評価した。

【実験結果】粉末の XRD 2θ - θ 測定から、低酸素分圧下で CuO を原料に用いた場合には Nd123 相が確認されたが、Cu₂O および Cu を用いた場合には Nd123 相ではなく、原料および洗浄過程で生成した Nd(OH)₃ 相が確認された。このことから、KOH フラックス法による Nd123 相の合成には、一定以上の酸素が必要であることが分かった。一方、大気中で作製した場合には CuO, Cu₂O, Cu 原料すべてにおいて Nd123 相が確認され、Cu に含まれる酸素が少ないほど、Nd123 膜のピークの割れは低減された。図 1 に大気中 700°C で作製した Nd123 粉末の規格化した磁気モーメントの温度依存性を示す。Nd123 粉末では原料に含まれる酸素量が少ないものほど T_c は向上した。したがって、KOH フラックス法によって Nd123 を合成する場合、原料に含まれる酸素量は Nd/Ba 置換量に影響していると考えられる。

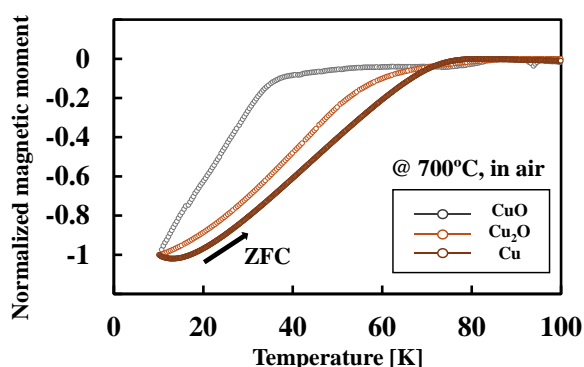


Fig. 2 Normalized magnetic moment of Nd123 powder fabricated at 700°C in air using CuO, Cu₂O or Cu as raw materials.

【参考文献】

[1] S. Funaki, et al: *Phys. Proc.* **65** (2015) 125–128

フッ素フリーMOD法を用いたGdBCO薄膜作製と MOD溶液の分光透過率測定

GdBCO-thin-film fabrication using FF-MOD method and spectral transmission measurement of MOD solution

静大院総合¹, 静大イノベーション社会連携機構²

○(M1)遊佐 俊哉¹, 山本 涼介¹, 山川 薫¹, 喜多 隆介², 武田 正典¹

Shizuoka Univ.¹, Shizuoka Univ. Organization for Innovation and Social Collaboration.²

○Toshiya Yusa¹, Ryosuke Yamamoto¹, Yamakawa Kaoru¹, Ryusuke Kita², Masanori Takeda¹

E-mail: yusa.toshiya.20@shizuoka.ac.jp

有機金属塗布法(Metal Organic Deposition:MOD法)は、ナノ構造制御や磁場中特性ではPLD法より劣るが、非真空プロセスで設備コストが安いこと、大面積基板上に原料を塗布・熱処理する比較的簡易な方法であるため、量産化に適したプロセスとして期待されている。本研究で使用しているフッ素フリーMOD法(FF-MOD法)は、主に使用されているTFA-MOD法と比べてフッ素を使用していないため、低コスト、環境負荷が少ない、成膜時にフッ素を除去する必要がなくプロセスが簡単であるという利点がある。しかし、FF-MOD法で使用する前駆体溶液は時間の経過とともに硬化するという問題点があり、これに関する報告がない。そこで我々はFF-MOD法の溶液の経時変化による濃度増加に関する研究を行った。

前駆体溶液の赤外線透過率と結晶成長、超伝導特性の関係を調べる実験を行った。まず始めに、無添加のGdBCO溶液とZrを添加した溶液をそれぞれ14400 μl 用意し、2400 μl ずつ6等分してその中の1本を使用して薄膜を作製する。その後、Uv-vis分光光度計を使用して溶液の赤外線透過率を測定した。この作

業を1週間経過する度に1本の溶液を使用して行った。

図1に6本の無添加の溶液の透過率を測定した結果を示す。凡例は溶液をエージングした時間を示している。図1より、溶液のエージング時間が長いほど赤外線の透過率は低下していることがわかる。Zrを添加した溶液も同様にエージング時間が長くなるほど透過率が低下した。

図2に、図1の溶液から作製した薄膜を θ -2 θ 測定した結果を示す。図2の縦軸は対数目盛になっている。図2内のGdBCO(006)のピークの高さを比較すると、エージング時間が0週間から2週間の期間ではLAO(002)とほぼ同じ高さになっているが、3週間4週間ではピークが低くなっていることがわかる。これは他のGdBCOのピークでも同様のことが言える。また、Zrを添加した溶液で作製した薄膜も同様の傾向を得た。以上のことより溶液の濃度が薄膜の結晶成長度に影響を与えていることがわかる。詳細は当日報告する。

【謝辞】本研究の一部は、科研費23K03955の助成により実施した。

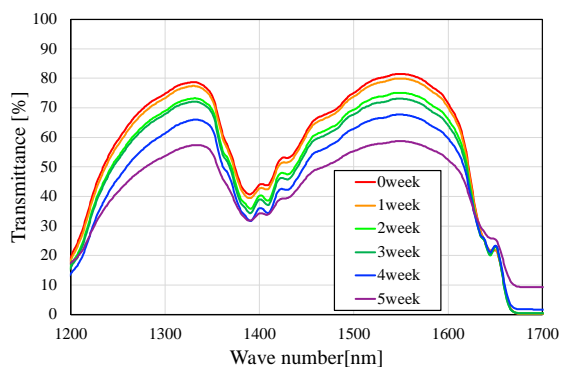


Fig. 1 UV-vis transmission spectrum of each MOD solution

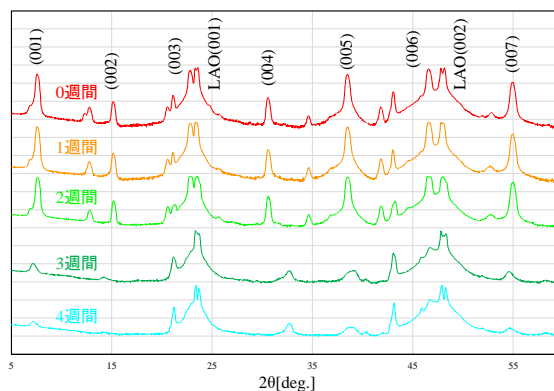


Fig. 2 θ -2 θ scans of GdBCO films prepared at different aging time

R 面と C 面サファイア基板上の Nb 薄膜の特性比較

Comparison of properties of Nb thin films on R-plane and C-plane sapphire substrates

防衛大 電気電子 ○(D)平間 友博, 石黒 康志, 立木 隆

National Defense Academy, °Tomohiro Hirama, Yasushi Ishiguro, Takashi Tachiki

E-mail: ed24007@nda.ac.jp

【はじめに】

テラヘルツ帯で動作する高出力磁束フロー発振器 (FFO) を実現するために、FFO や高周波回路を構成する Nb 薄膜の特性向上を目指している。前回、R 面サファイア基板を 800 °C に加熱して DC マグネトロンスパッタにより作製した Nb 薄膜において良好な配向性と高い残留抵抗比 RRR が得られることを報告した[1]。ただし、Nb 薄膜がサファイアの R 面に対し 2.9° 傾斜して (100) 配向していることを示唆する面内配向性を示した。一方、C 面サファイア基板に Nb 薄膜は傾斜せず (111) 配向することが知られており、同薄膜は、R 面サファイア基板に Nb 薄膜と同様に高品質に作製できる可能性がある。しかし、これらの基板に Nb 薄膜のどちらが FFO 等のデバイスに適しているかは不明である。そこで、本研究では R 面と C 面サファイア基板それぞれに Nb 薄膜を成膜し、表面モフォロジーや電気的特性を比較することとした。

【実験および結果】

Nb 薄膜は、SiC ヒーターで R 面あるいは C 面サファイア基板を 800 °C に加熱しながら、DC マグネトロンスパッタにより膜厚 100 nm で成膜した。Fig. 1 はこれらの薄膜の AFM 像である。R 面サファイア基板に Nb 薄膜では、 $[11\bar{2}0]_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ 方向に対して面内に約 45° 回転した矩形の結晶粒 (粒径約 50~100 nm) が多く観察された。

一方、C 面サファイア基板に Nb 薄膜は、 $[111]_{\text{Nb}}$ が 3 回対称軸方向であることを反映して三角形の結晶粒 (粒径約 60 nm) が形成されているように見える。各 Nb 薄膜の表面粗さ (RMS 値) は 0.93 nm (R-plane sub.) に対して 0.74 nm (C-plane sub.) であり、ジョセフソン接合に用いられる超伝導薄膜と比べても遜色ない。また、それぞれの抵抗率の温度依存性から見積もられる RRR ($= R(300\text{ K}) / R(10\text{ K})$) は、75.36 (R-plane sub.) であるのに対して 19.26 (C-plane sub.) であった。

以上より C 面サファイア基板よりも R 面サファイア基板を用いた Nb 薄膜のほうが、RRR が高いことから良好な接合特性や表面抵抗が予想されるため、高出力な FFO の実現が期待できる。

【参考文献】

[1] 平間友博他, 第 85 回応用物理学会秋季学術講演会 (2024.9) 17p-p03-14.

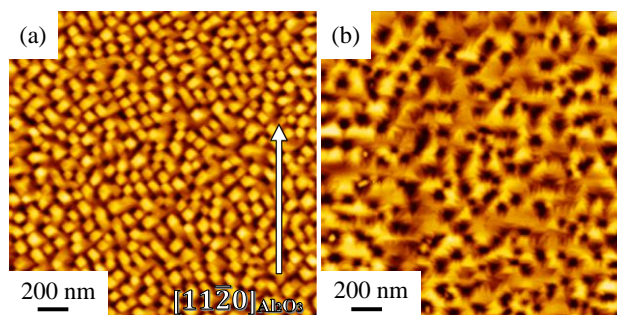


Fig. 1 AFM images of Nb thin films sputtered at 800 °C.

(a) R-plane substrate (b) C-plane substrate

REBa₂Cu₃O_{7-δ} coated conductor の超伝導特性の磁場角度依存性に与える曲げひずみの影響
 Influences of bending strains for angular dependences of superconducting properties
 for REBa₂Cu₃O_{7-δ} coated conductor

東海大 ○中村 健人, 小川 琴子, 長谷川 凌也, 小黑 英俊

Tokai Univ. ,[○]Kento Nakamura, Kotoko Ogawa, Ryoya Hasegawa, Hidetoshi Oguro

E-mail: 4CAJM049@tokai.ac.jp

1. 背景

REBa₂Cu₃O_{7-δ}(REBCO、RE は Y または希土類元素) coated conductor は、磁場角度の変化およびひずみの印加で、臨界電流密度が変化することが知られている。本研究では REBCO 線材の曲げひずみ下での臨界電流の磁場角度依存性評価を行ってきた。その中で、ひずみを印加した際に異方性が変化する可能性があることがわかってきた[1]。そのため、本研究では REBCO 線材の上部臨界磁場(B_{c2})を確認することで、ひずみによる異方性変化の傾向と条件を調べることを最終目的とする。本発表では、曲げひずみ下において、一定磁場中における超伝導特性を測定した結果を報告する。

2. 実験方法

試料として、GdBa₂Cu₃O_{7-δ}(GdBCO)線材 (FTSC-SCH04)を用いた。GdBCO 線材にはエッチング法により、幅 0.3 mm、長さ 1.0 mm のブリッジを作成した。この試料に対し、直径 50 mm(0.15%)、25 mm(0.3%)、20 mm(0.37%)の曲げジグを使用し、曲げひずみを加えた状態で臨界電流の磁場角度依存性を評価した。測定は、液体窒素浸漬冷却で行い、磁場は 0.4 T 以下で行った。磁場角度は c 軸と平行方向を 0 として、 -20° から 110° まで 10° おきに測定した。

3. 実験結果と考察

図 1 に、GdBCO 線材の各ひずみにおける臨界電流の磁場角度依存性を示した。90°付近での測定を細かく行う必要はあるが 50°付近の臨界電流の最小値は曲げひずみを加えると大きくなる傾向があった。これまでの結果と同様にひずみにより、臨界電流の最大値と最小値の比がひずみで変化する結果となった。当日は、これを上部臨界磁場で測定した結果を示し、異方性を評価した結果を含めて報告する。

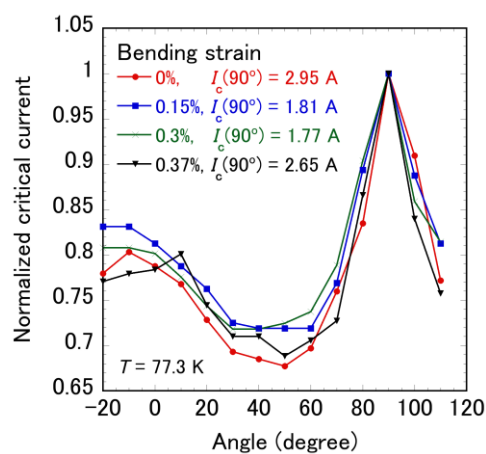


Fig. 1 Normalized critical current as a function of magnetic field angle for GdBCO coated conductor at 77 K and 0.4 T.

参考文献

[1] 渡邊ら、2021 年第 68 回応用物理学会春季学術講演会、16p-P04-12 (2021)

窒化物超伝導体の尖端型ナノ SQUID を探針とした走査磁気顕微鏡の開発

Development of a scanning magnetic microscope using a nitride SQUID fabricated at the tip of a fused glass tube as a probe

電通大基盤理工[○](B)岡澤 智, (B)島田 祥汰, 小久保 伸人

Dept. of Eng. Sci, Univ. of Electro-Comm, [○]S. Okazawa, S. Shimada, N. Kokubo

E-mail: o2110709@uec.ac.jp

鋭利な石英ガラス管尖端に超伝導膜を成膜した超伝導量子干渉計は、高いスピン感度と空間分解能とを両立した走査プローブ顕微鏡の磁気探針として注目を集めている(図1)。これまで我々の研究室では、超伝導転移温度/臨界磁場が比較的高く、化学的に安定な窒化物超伝導薄膜(NbTiN)に着目し、絞りを入れた反応性スパッタ成膜で、尖端型ナノ SQUID を作製してきた[1]。

本発表では、窒化物超伝導体の尖端型ナノ SQUID の特徴を活かした走査磁気顕微鏡の開発状況を報告する。顕微鏡の本体の概略図を図2に示す。試料ステージをXYZのポジショナーとスキャナーで駆動し、音叉型水晶振動子に取り付けた探針に近づける。試料-探針間の距離は音叉型水晶振動子の共振周波数のシフト量とステージのエンコーダから見積もった。僅かなヘリウム交換ガスで満たされた容器に顕微鏡本体をおさめ、超伝導状態となったNb膜のミアンダ配線パターン(2.5 μm幅のLine & Space)の表面の磁場分布を液体ヘリウム温度で調べた結果を報告する予定である。

Nb膜の試料は原研先端基礎の岡安悟氏より提供いただいた。本研究の一部は科研費(JP21K04819)及び公益財団法人精密測定技術振興財団の補助を受けて行われた。

[1] N. Kokubo, and B. B. Gerelkhuu, NbTiN SQUID-on-Tip Fabricated by Self-Aligned Deposition Using Reactive DC Magnetron Sputtering, Appl. Phys. Lett. Vo. 124, pp.262601-1–262601-5, 2024.

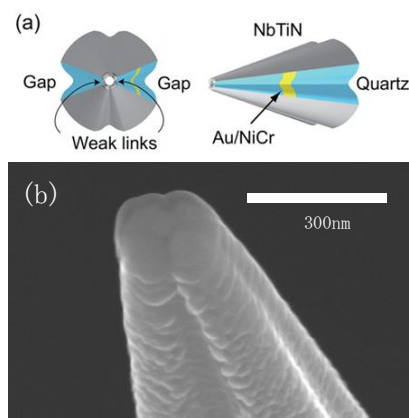


図1. a 窒化物探針の概念図[1].

b 尖端のSEM画像。

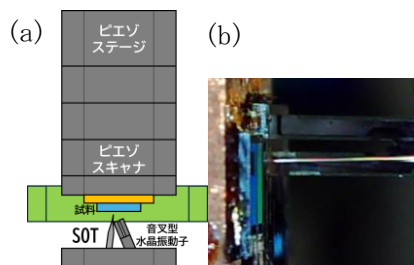


図2. a 顕微鏡本体の概略図。b 尖端型ナノ SQUID を音叉型水晶振動子に取り付け、試料へ近づけた光学顕微鏡写真。

He イオン照射した自己整合型超伝導ナノストリップ光子検出器の作製 Fabrication of self-aligned superconducting nanostrip photon detector with He ion irradiation

北見工大¹, 北大電子研² 川口 真¹, 浮田 桂子², 佐々木 仁², 中村 圭佑², 松尾 保孝²,
柴田 浩行¹

Kitami Inst. Tech.¹, Hokkaido RIES², Shin Kawaguchi¹, Keiko Ukita², Jin Sasaki², Keisuke Nakamura², Yasutaka Matsuo², Hiroyuki Shibata¹,
E-mail: m3235400130@std.kitami-it.ac.jp

最近、He イオンを照射することによって超伝導ナノストリップ光子検出器 (SNSPD) の性能が向上することが報告されている[1]。デバイス作製後に He イオンを照射するためには、裏入射型ではなく表入射型の SNSPD 素子が必要となる。今回、光アライメントの容易な自己整合表入射型 SNSPD を作製し、He イオン照射の効果について調査した。

DC マグネトロンスパッタ法により熱酸化 Si 基板上に NbTiN および MoN 薄膜を 7-10nm 堆積した。次に、電子線描画装置および反応性ドライエッチング装置を用いて線幅 80-140 nm、直径 15 μm のメアンダ細線を作製した。最後に、Si 深掘りエッチング装置により Si 基板から直径 2.5mm の円形に切り出した (図 1)。作製したデバイスを内径 2.5mm のスリーブに挿入することにより、光ファイバ出射光と検出器の受光部を同軸上に固定した。He 冷凍機で冷却・特性評価後に光ファイバを取り外して、デバイスに He イオンを照射した後、再度特性を評価した。He イオン照射により I_c は低下、抵抗率は上昇すると共に、検出効率の飽和領域が拡大することが判った (図 2)。

[1] W. Zhang et al., Phys. Rev. Applied 12, 044040 (2019).

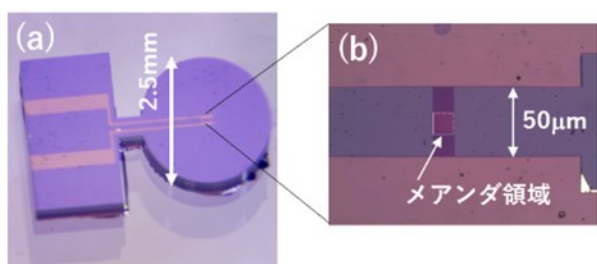


図 1 (a) SNSPD 素子写真
(b) 集光部光学顕微鏡拡大図

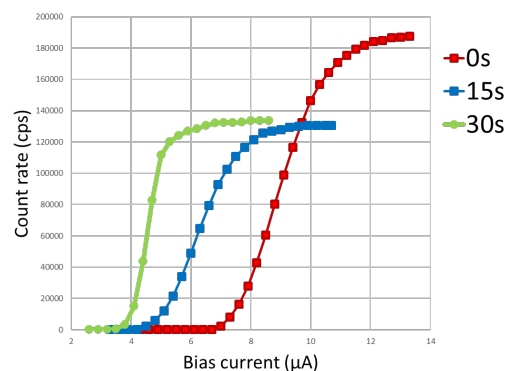


図 2 Count rate—Bias 電流の He イオン照射時間依存性

謝辞：本研究は JSPS 科研費 (JP21K04170, JP24K07602) および物質・デバイス領域共同研究拠点の助成により実施された。

超伝導伝送線路による周波数カウンターの原理検証

Frequency counters relying on a superconducting transmission line

埼玉大院 ○成瀬 雅人, 宮崎 大地, 山口 滉太, 明連 広昭

Saitama Univ., ○Masato Naruse, Daichi, Miyazaki, Kohta Yamaguchi, Hiroaki Myoren

E-mail: naruse@super.ees.saitama-u.ac.jp

1. はじめに

宇宙の全エネルギーの 20%以上を占めるとされているにも関わらず、未だ観測されていない暗黒物質を探索する実験が行われている。暗黒物質を観測することは、宇宙の成り立ちの謎を解明する重要な手がかりであり、探索が望まれている。暗黒物質の候補の一つとして Hidden Photon (HP)[1]があるが、HP は金属を通過した際に自由電子を揺らし、暗黒物質の質量に対応した特定の電磁波を金属表面から発生させる。HP 由来の電磁波の周波数を精度よく求めるために、サブミリ波帯で高感度かつ高周波数分解能を持つ検出器が必要となる。これらの条件を満たす検出器として超伝導伝送線路を用いたオンチップフーリエ分光計(オンチップ FTS)がある[2]が、FTS を構成する超伝導線路上の意図しない共振構造によって性能向上を阻まれている[3]。そこで、本研究ではオンチップ FTS と同様の構造を持つが、広い帯域のスペクトルを得るのではなく、その帯域内で一番強い信号強度をもつ周波数を同定するカウンターとしてデバイスを動作させることを提案する(Fig.1)。

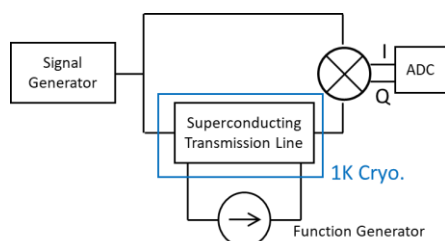


Fig.1 Measurement set-up for a frequency counter relying on a superconducting transmission line

2. 実験結果

超伝導伝送線路上にバイアス電流 I を印加し力学インダクタンス $L_k(I) \propto 1 + A(I/I^*)^2$ で変化させることで、線路上の位相速度 $v_p = 1/\sqrt{(L_k + L_g)C}$ を制御し位相遅延を作り出すことができる。ここで A は超伝導の特性で決まる比例係数で 1 以下、 I^* は対破壊電流、 L_k は力学インダクタンス、 L_g は幾何学的インダクタンスである。超伝導体には窒化ニオブ(TiN)を用いて、長さ 290mm、線幅 4-6-4 μm のコプレーナ線路(CPW)に 10Hz の直流バイアスを印加しながら 4.999, 5.000, 5.001 GHz の周波数に対する透過損失を時間領域で測定した。その結果、透過損失の位相・強度ともにそれぞれの周波数でことなる応答をすることがわかった(Fig.2)。そこから最大分解能を見積もると 100000 程度の精度で周波数を同定できることが示唆された。

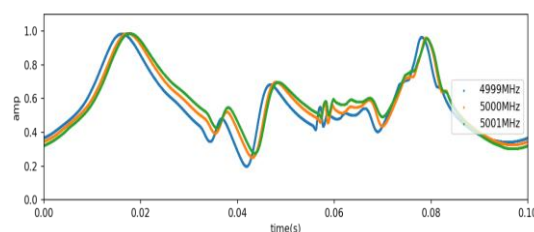


Fig.2 Amplitude shift of S21 under the 10Hz bias current

謝辞：本研究の一部は科研費 (19H05499) の支援を受けています。

参考文献

- [1] S. Andreas, et al., AIP Conf. Proc. 1563, 114 (2013). [2] F. B. Faramarzi et al., "JLTP, 199, 867-874, (2020). [3]山口 他, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会 (2021).

超伝導・常伝導 (SN) 二層薄膜の転移温度に関する諸公式の関係とそれらの適用範囲についての注意: 超伝導デバイス研究者のために

Relationships Among the Formulas for Transition Temperatures in Superconducting-Normal (SN) Bilayer Thin Films and Notes on Their Applicability: For Researchers in Superconducting Devices

KEK¹, 総研大² ○久保 毅幸^{1,2}

KEK¹, Sokendai², ○Takayuki Kubo^{1,2}

E-mail: kubotaka@post.kek.jp

Introduction: SN 近接効果の研究は 1960 年代から 2000 年頃まで徹底的に行われ、現在では TES、KID、SNSPD などの超伝導デバイスのパラメータ調整に重要な役割を果たしている [1]。Pearl 長の制御による超伝導ダイオードへの応用 [2] も可能である。また、超伝導表面の低級酸化物が常伝導的である場合にはデバイス性能に近接効果を通じて影響する [3]。このように、近接効果は幅広い応用で重要性を増しているが、その転移温度 T_c 公式が誤用されることも多い。本発表では、Ref. [1] に基づき、SN 二層薄膜の T_c 公式間の関係を整理し、適用範囲について注意を喚起する。

Results: 本予稿では、紙面の都合上、最も重要な点だけを述べる。SN 二層薄膜の転移温度の計算には、1968 年の McMillan の公式

$$\ln \frac{T_c}{T_{c1}} = -\frac{\alpha}{1+\alpha} u(T_c), \quad \text{ここで} \quad u(T_c) = \psi\left(\frac{1}{2} + \frac{1+\alpha}{2\pi(T_c/T_{c1})\alpha\beta}\right) - \psi\left(\frac{1}{2}\right),$$

を用いるのが良い。 T_{c1} は超伝導体単体の転移温度、 ψ はディガンマ関数、 $\alpha = N_2 d_2 / N_1 d_1$ と $\beta = 4(e^2/\hbar)R_B k T_{c1} N_1 d_1$ は近接効果を制御する無次元パラメータである。1, 2 はそれぞれ超伝導層と常伝導層を表し、 $N_{1,2}$ はフェルミエネルギーでの状態密度、 $d_{1,2}$ は膜厚、 R_B は層間の電気抵抗である。無次元膜厚比 α は N 層による BCS 結合定数の希釈を、 β は NS 間バリアの強さを表す。McMillan の公式は、一般公式から導出可能で、 β が一定範囲内で有効である。Cooper や Martinis らの公式も一般公式から導出されるが、それらの適用範囲は狭い。デバイスでは β が不明な場合が多く、McMillan の公式の使用が推奨される。Martinis らの公式など他の公式を使う場合は注意が必要である。詳細は Ref. [1] を参照されたい。SS 近接効果についても論じている。

Acknowledgment: 約 3 年に亘る長期の育児休業と専業主夫生活 [4] を支えてくださった全ての方々に感謝する。本研究 [1] は、休業中の趣味の研究活動に端を発し、その一部が、Kaori Hattori 氏ら超伝導デバイス研究者との有意義な議論を経て、短いノートとなったものである。

References :

- [1] T. Kubo, On the applicability ranges of T_c formulas for proximity-coupled thin SN and SS bilayers, Jpn. J. Appl. Phys. (in press, 2025, <https://doi.org/10.35848/1347-4065/ada74d>). Preprint available at arXiv:2410.13885 (<https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.13885>).
- [2] T. Kubo, Tuning Critical Field, Critical Current, and Diode Effect of Narrow Thin-Film Superconductors Through Engineering Inhomogeneous Pearl Length, Phys. Rev. Applied **20**, 034033 (2023).
- [3] A. Gurevich and T. Kubo, Surface impedance and optimum surface resistance of a superconductor with an imperfect surface, Phys. Rev. B **96**, 184515 (2017).
- [4] 久保毅幸, 育児休業のすすめ: ニューヨークで専業主夫になった物理学者, 加速器, **20**, 50 (2023).

超伝導デバイスにおけるヒッグスモード

Higgs mode in superconducting devices

KEK¹, 総研大² ○久保 毅幸^{1,2}

KEK¹, Sokendai², ○Takayuki Kubo^{1,2}

E-mail: kubotaka@post.kek.jp

Introduction : 素粒子物理では、ヒッグス場の真空期待値からのズレをヒッグス粒子と呼ぶが、超伝導では超伝導秩序パラメータ Δ の平衡状態からのズレ $\delta\Delta(t)$ が対応し、ヒッグスモードと呼ばれる。また、素粒子物理のヒッグス粒子 h が Z ボゾンと ZZh で相互作用するように、超伝導でもヒッグスモードと電磁場 A は $A \cdot A \cdot \delta\Delta$ で相互作用する。電磁場の二次以上の項としかカップルしないため、高強度テラヘルツ波が用いられる。ここで A の一つを DC バイアス (A_b)、もう一つを AC 電磁場 (A_ω) とすると、 $A_b \cdot A_\omega \cdot \delta\Delta$ という形になり、ヒッグスモード $\delta\Delta$ が電磁場に線形応答する。DC バイアスは調整のための操作ノブとなる。この状況を **dirty limit** で最初に理論的に示したのは Moor ら [1] で、直後に Nakamura ら [1] が実験で確認した。その後、Jujo [1] が任意のバイアス強度や平均自由行程に拡張した。ただし、これらの研究はヒッグスモードの共鳴周波数 $\hbar\omega = 2\Delta$ 付近に注目している。実際、複素伝導率への寄与が最大となるのはこの周波数であり、そこから外れると寄与は急激に小さくなる。では、多くのデバイスによって重要な $\hbar\omega \ll 2\Delta$ という低周波数領域でヒッグスモードの寄与が重要となることはあるか？本研究 [2] では、超伝導ストリップに対破壊電流以下の dc バイアス電流が流れる状況で、任意の周波数の ac 電流が平行に流れる (ac || dc) 場合の複素伝導率を調べた (力学インダクタンスの詳細は別発表で述べる)。

Results : 非平衡超伝導のミクロな理論、Keldysh-Eilenberger 理論を用いることで、任意の温度 ($0 < T < T_c$)、対破壊電流以下の任意のバイアス電流密度 ($0 < J_b < J_{dp}$)、および任意の平均自由行程 (mfp) における複素伝導率を計算することが可能である。次のことが明らかになった [2]。

(1) 低周波数 ($\hbar\omega \ll \Delta$) の複素伝導率の実部 σ_1 は、バイアスに依存して減少する (例えば $T/T_c = 0.2$ で $\hbar\omega \sim 0.1$ 程度の周波数までバイアスに依存した減少が見られる)。バイアスでデバイスの損失の抑制が可能であることを示唆する。ただしヒッグスの寄与は大きくない。

(2) 虚部 σ_2 の計算を通じて、clean から dirty limit までの力学インダクタンスのバイアス依存性を評価した。バイアス依存性は、平均自由行程が短くなるにつれて強くなり、dirty limit では驚くべきことにバイアス依存の大部分がヒッグスモードに起因する (詳細は著者による別の発表を参照)。

Acknowledgment : 本研究 [2] を完成させる上で育児休業の期間中 [3] に趣味で行っていた諸々の研究活動が重要な役割を果たした。3 年近くに亘る長期の育児休業と専業主夫生活を支えて下さった全ての方々に感謝する。また本研究の始まりは、休業前にやり取りした Anatoly Volkov 氏とのメールである。休業から復帰後この問題に再び目を向ける切っ掛けとなったのは Akira Miyazaki 氏との議論である。

References :

- [1] A. Moor et al., Phys. Rev. Lett. **118**, 047001 (2017); T. Jujo, J. Phys. Soc. Jpn. **91**, 074711 (2022); S. Nakamura et al., Phys. Rev. Lett. **122**, 257001 (2019).
- [2] T. Kubo, Phys. Rev. Applied **22**, 044042 (2024).
- [3] 久保毅幸, 育児休業のすすめ: ニューヨークで専業主夫になった物理学者, 加速器, **20**, 50 (2023).

磁性ジョセフソン接合障壁層に向けた窒化ニッケル薄膜の低温特性

Low-temperature properties of NiN_x thin films for barrier layers in magnetic Josephson junctions

大同大工 °赤池 宏之, 梶田 一真, 野村 伊吹

Daido Univ., °Hiroyuki Akaike, Kazuma Kajita, Ibuki Nomura

E-mail: h-akaike@daido-it.ac.jp

1. はじめに

磁性ジョセフソン接合は基底状態で位相シフト機能を有するため、この特徴を活かした各種応用が提案されている[1,2]。この接合の磁性障壁層としては、PdNi [3]や Ni[4]などが検討されている。我々はこれまでに磁性障壁層への応用を目的とし、組成比制御が不要な Ni 薄膜 [5]や、さらに磁気的特性を弱めることを目指して窒化ニッケル (NiN_x) を作製・評価してきた[6]。ただし、特性評価は室温で行っていた。そこで今回、低温での特性評価を試みたので報告する。

2. 実験及び考察

NiN_x 薄膜の作製には、反応性 RF マグネトロンスパッタ法を用いた[6]。Ar と N₂ の混合ガスにより Ni ターゲット上にプラズマを発生させ、石英基板上に膜厚 30 nm の薄膜を室温製膜した。また、保護膜として 50 nm 厚の SiO₂ を堆積させた。線幅 100 μm、長さ 1000 μm のホール素子に加工後、冷凍機を用いて測定温度を変化させ、抵抗率およびホール効果特性を評価した。

図 1 に全圧 3 Pa、Ar 流量 10 sccm、N₂ 流量 0.2 sccm、RF 電力 40 W で製膜した NiN_x (試料 A) のホール効果特性 (300 K 及び 11 K) を示す。図 2 には、N₂ 流量のみ 0.6 sccm に変更したときの NiN_x (試料 B) の特性を示す。前者では強い温度依存性が見られたが、後者ではほとんど見られなかった。前者の温度依存性は、磁性による異常ホール効果に起因するものと推測される。一方、抵抗率評価では、ともに温度依存は見られず、それぞれ 180 μΩcm および 220 μΩcm 程度であった。これらのことから、製膜時の N₂ 分圧を数%程度にすることにより、弱い磁気的特性を持つ NiN_x を実現できる可能性があることが分かった。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 22K04226 の助成を受けたものである。

参考文献 [1]. T. Kamiya et al: IEICE Trans. Electron., Vol. E-101-C (2018) 385. [2]. Y. Yamanashi et al: Supercond. Sci. Technol. Vol. 31 (2018) 105003. [3]. H. Ito et al.: Appl. Phys. Express 10, 033101 (2017). [4]. S. Tolpygo et al.: IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 29 (2019) 1101208. [5]. 赤池 他, 2024 春応物 22a-P01-15. [6]. 赤池 他, 2024 秋応物 17p-P03-6.

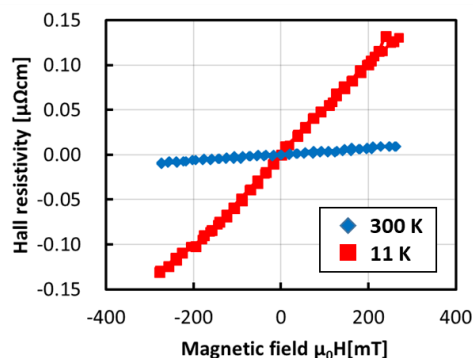


Fig.1. Hall resistivity at 300 K and 11 K of a NiN_x film (sample A) .

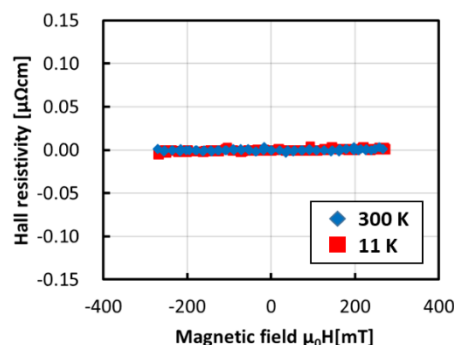


Fig.2. Hall resistivity at 300 K and 11 K of a NiN_x film (sample B) .