

Poster presentation | 11 Superconductivity : 11 Superconductivity (Poster)

📅 Tue. Sep 17, 2024 1:30 PM - 3:30 PM JST | Tue. Sep 17, 2024 4:30 AM - 6:30 AM UTC 🏢 P03
(Exhibition Hall A)

[17p-P03-1~18] 11 Superconductivity (Poster)

[17p-P03-1]

Chaos generation condition in Josephson junction irradiated RF electromagnetic wave at 77K

○Sota Kimura¹, Dai Oikawa¹, Keita Tsuzuki¹, Toko Sugiura¹, Hiroya Ando¹, Takehiko Tsukamoto¹, Hirokazu Komatsu¹ (1.NIT Toyota College)

[17p-P03-2]

Numerical simulation of synchronization properties in intrinsic Josephson junction THz emitters

○Akito Takahashi¹, Dai Oikawa¹, Keita Tsuzuki¹, Toko Sugiura¹, Hiroya Andoh¹, Takehiko Tsukamoto¹ (1.Toyota Kosen)

[17p-P03-3]

Single crystal growth of Pr-cuprate under several conditions

○Tomoyuki Muraoka¹, Ryosuke Sato¹, Yuta Takeda¹, Ayako Ohmura¹, Fumihiro Ishikawa¹ (1.Niigata Univ.)

[17p-P03-4]

Effect of Pr Deficiency on the Superconductivity of $\text{Pr}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15-\delta}$

○Yuta Takeda¹, Ryosuke Sato¹, Tomoyuki Muraoka¹, Ayako Ohmura¹, Fumihiro Ishikawa¹ (1.Niigata Univ.)

[17p-P03-5]

Hydrostatic pressure treatment of $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ bulk fabricated using insert casting method

○Kenji Kawashima¹, Yoshihisa Kamiya¹, Shigeyuki Ishida², Hiraku Ogino², Hijiri Kito², Akira Iyo², Hiroshi Eisaki², Yoshiyuki Yoshida² (1.IMRA JAPAN Co., Ltd., 2.AIST)

[17p-P03-6]

Preparation of NiN_x thin films for barriers in magnetic Josephson junctions

○Hiroyuki Akaike¹, Kazuma Kajita¹, Ibuki Nomura¹ (1.Daido Univ.)

[17p-P03-7]

Hetero-epitaxial Growth of Cubic Al/AlN/Al/TiN for Superconducting Qubits

○Junichi Yamaguchi¹, Kenjiro Hayashi¹, Daiyu Kondo¹, Yoshiyasu Doi¹, Shintaro Sato¹ (1.Fujitsu Limited)

[17p-P03-8]

Metal-Insulator Transition Property of KOH flux- $(\text{Pr}_{1-y}\text{RE}_y)_{1-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_3$ Films for Buffer Layer of REBCO-CC

○Shuhei Funaki¹, Itsuki Yamamoto¹, Yasuji Yamada¹, Masahiro Tahashi², Yutaka Yoshida³, Yusuke Ichino⁴ (1.Shimane Univ., 2.Chubu Univ., 3.Nagoya Univ., 4.Aichi Inst. of Technol.)

[17p-P03-9]

Fabrication and Characterization of Epitaxial YBCO superconducting thin films grown on LaNiO_3 conductive buffer layer by pulsed laser deposition method

ORyuya Sakamoto¹, Noriyuki Taoka¹, Yoshiyuki Seike¹, Tatsuo Mori¹, Yusuke Ichino¹ (1.Aichi Inst. of Tech.)

[17p-P03-10]

State dependence of MOD solution in GdBCO-thin-film fabrication using FF-MOD method

ORyosuke Yamamoto¹, Ryusuke Kita², Masanori Takeda¹ (1.Shizuoka Univ., 2.Shizuoka Univ. Innov.)

[17p-P03-11]

Anisotropy of electrical resistance in copper oxide superconducting GdBa₂Cu₃O_{7-δ} thin films

O(M1C)Kouse Morinaga¹, Takafumi Hatano², Hiroshi Ikuta^{2,3}, Kazumasa Iida¹ (1.Nihon Univ., 2.Dept. Mater. Phys., Nagoya Univ., 3.RCCME Nagoya Univ.)

[17p-P03-12]

Study on Synthesis of Bi-based Oxide High-T_c Superconductors

Bi_{1.75}Pb_{0.35}Sr_{1.9}Ca_xCu_{x+1}O_y (x≥2)

OShunsuke Omori¹, Marina Mendoza¹, Yumeng Zheng^{2,1}, Kenji Sakai¹, Yuki Satou¹, Sinzo Yoshikado¹, Ryo Matsumoto³, Yoshihiko Takano³ (1.Doshisha Univ., 2.Tokyo University of Science, 3.NIMS)

[17p-P03-13]

Construction of a monitoring system for ablation plume in the PLD method

ORyotaro Matsuda¹, Fumiya Sassa¹, Tatsuya Fujita¹, Noriyuki Taoka¹, Yoshiyuki Seike¹, Tatsuo Mori¹, Yusuke Ichino^{1,5}, Keiichi Horio^{3,5}, Ataru Ichinose^{4,5}, Tomoya Horide^{2,5}, Kaname Matsumoto^{2,5}, Yutaka Yoshida^{2,5} (1.Aichi Inst. of Tech., 2.Nagoya Univ., 3.Kyushu Inst. of Tech., 4.CRIEPI, 5.JST-CREST)

[17p-P03-14]

Fabrication and evaluation of niobium thin films on R-plane sapphire substrates

O(D)Tomohiro Hirama¹, Yasushi Ishiguro¹, Takashi Tachiki¹ (1.NDA)

[17p-P03-15]

Parameter optimization of crystal growth simulation focusing on density of initial crystal growth islands in YBCO thin films.

OEijiro Okumura¹, Haruto Uchida¹, Takumi Takamura¹, Noriyuki Taoka¹, Yoshiyuki Seike¹, Tatsuo Mori¹, Yuusuke Ichino^{1,5}, Keiichi Horio^{3,5}, Ataru Ichinose^{4,5}, Tomoya Horde^{2,5}, Kaname Matsumoto^{2,5}, Yutaka Yoshida^{2,5} (1.Aichi Inst. of Tech., 2.Nagoya Univ., 3.Kyushu Inst. of Tech., 4.CRIEPI, 5.JST-CREST)

[17p-P03-16]

Evaluation of transmission efficiency of HTS bulk resonator antenna with director for wireless power transfer

OHiroyuki Akimoto¹, Yuki Ikezu¹, Ikuto Shindou¹, Masafumi Shibata², Shunya Suzuki¹, Yuzuru Narita¹, Takao Oto¹, Atsushi Saito¹ (1.Yamagata Univ., 2.Fuji Electric Co., Ltd.)

[17p-P03-17]

Study on two-dimensional imaging of terahertz waves with spiral-MKIDs array

OShunya Suzuki¹, Yuya Suga¹, Hiroyuki Akimoto¹, Kensuke Nakajima¹, Yuzuru Narita¹, Takao Oto¹, Atsushi Saito¹ (1.Yamagata Univ.)

[17p-P03-18]

Gain analysis of kinetic-inductance traveling-wave parametric amplifier using microwave circuit simulator

○Sota Ishida¹, Masanori Takeda¹ (1.Shizuoka Univ.)



数値解析を用いた高周波照射ジョセフソン接合に 生じるカオス現象と乱数発生器

Numerical analysis of chaotic behaviors in Josephson junction
under irradiated with RF wave and random numbers generations

○木村壮汰¹, 及川大¹, 小松弘和¹, 都築啓太¹,
安藤浩哉¹, 杉浦藤虎¹, 塚本武彦¹ (1.豊田高専)

○Sota Kimura¹, Dai Oikawa¹, Kazuhiro Komatsu¹, Keita Tsuzuki¹,
Hiroya Ando¹, Toko Sugiura¹, Takehiko Tsukamoto¹ (1.NIT Toyota College)

近年の急速な IT 業界の発展により高セキュリティシステムの需要が高まっている.その高セキュリティ暗号システムの構築には良質な乱数(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内に生じるカオス現象を乱数発生器に応用した場合, 小型, 省電力及び高速応答の発振器が期待される.また応用を考え, 高温超伝導体を用い, 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 RSCJ モデルにより等価回路化し, カオスが発生する条件を数値解析的に求めた. 比較的簡単に作製可能な Bi-2212 固有ジョセフソン接合を想定したパラメータを用いた. カオスの判定はリアプノフ指数を用いて定量的に行う. リアプノフ指数とは初期値の異なる 2 つの軌道の発散具合を定量化した量である. 本研究ではリアプノフ指数が正を示すときカオスが発生していると定義した.

Fig.1(a)は77K 環境下の照射電磁波の周波数及び振幅に対するリアプノフ指数が正值を示した領域をマッピングした図である. オレンジ領域内でカオスが発生していることを示している. 電磁波照射したジョセフソン接合に生じるシャピロステップ領域ではカオスは生じなかった. また Fig.1(b)にカオス領域における接合の位相差 γ とその時間微分値を用いたアトラクタを示す. カオス現象特有のいわゆるストレンジアトラクタを示しておりリアプノフ指数が正であることと矛盾しない. さらに計算されたカオスからバイナリの乱数を生成し, その乱数の品質の統計学的評価を講演では発表する予定である.

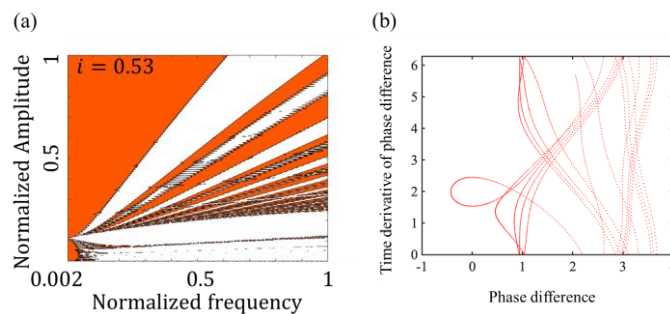


Fig.1 (a) RF parameter dependence of chaos region mapping, i.e. Lyapunov exponent were positive in the orange region. (b) A typical attractor in our study.

固有ジョセフソン接合を用いた THz 発振器における 同期現象の数値解析



Numerical simulation of synchronization properties in intrinsic Josephson junction THz emitters

高橋晃叶¹, 及川大¹, 都築啓太¹, 杉浦藤虎¹, 安藤浩哉¹, 塚本武彦¹ (1.豊田高専)

Akito Takahashi¹, Dai Oikawa¹, Keita Tsuzuki¹, Toko Sugiura¹,

Hiroya Andoh¹, Takehiko Tsukamoto¹ (1.NIT Toyota College)

E-mail:d2304@toyota.kosen-ac.jp

テラヘルツ電磁波(THz 波)は様々な応用が期待されており, THz 発振器の開発が望まれている. Bi-2212 固有ジョセフソン接合を用いた THz 発振器は高出力化のため複数のジョセフソン接合を同期動作させる必要がある. 一方, その同期度を定量的評価された例はない. そこで, 本研究では数値解析的に各接合のジョセフソン電流を求め, その時空間的な同期度を定量的に評価した. また, ジョセフソン発振器は自己発熱効果が大きく, 素子内部で著しい温度分布が生じ, 同期度及び出力の抑制の懸念がある. 本研究では, 発熱効果をジュール熱による発熱項を考慮した非線形拡散方程式, 及び発振器内部の電磁場を接合同士の相互作用を考慮した結合 Sine-Gordon 方程式を用いた. これらを矛盾なく解くことによってジョセフソン発振器の I - V 特性を数値解析的に求めた. さらに, 相互相関係数を拡張する形で, 同相モードが 1, 及び逆相モードが 0 と定義される同期度 C_{sync} を考案し, 各接合のジョセフソン電流の同期度を定量的に評価した. つまり C_{sync} が 1 に近いほど強い発振が期待できる. 今回は $300 \times 50 \mu\text{m}^2$ のメサ形発振素子を仮定し, 接合数は計算負荷の関係から 5 接合としたが, パラメータは 700 接合と等価となるように調節しており, 一般性は失われたいと考える. Fig.1(a)に環境温度 20K での I - V 特性を示す. 高バイアス領域において, 自己発熱が大きい場合特有の負性抵抗を含む特性が得られた. また, 拡散方程式のみの解析では得ることのできない, リターン電流がゼロでない実験的に矛盾ない特性が得られた. また Fig.1(b)に電流-同期度特性を示した. C_{sync} が 1 に近い同相モードは得ることができなかったが, バイアス電流に依存して同期度が大きく変化していることがわかる. 講演では特に, 同期度が大きくなる条件を議論する予定である.

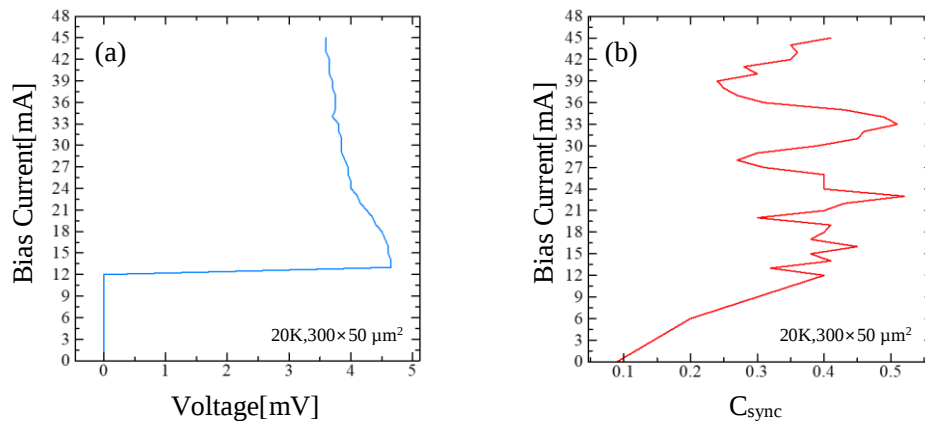


Fig.1 (a) Calculated current-voltage (I - V) characteristic of the Josephson oscillator at 20K.(b) Current dependence of time averaged synchronization factor C_{sync} .

Pr 系銅酸化物における単結晶育成の温度過程と生成相に関する研究

Single crystal growth of Pr-cuprate under several conditions

新潟大 ○村岡智幸, 佐藤涼介, 武田祐汰, 大村彩子, 石川文洋

Niigata Univ. Tomoyuki Muraoka, Ryosuke Sato, Yuta Takeda, Ayako Ohmura, Fumihiro Ishikawa

E-mail: f23a057g@mail.cc.niigata-u.ac.jp

【はじめに】 $\text{Pr}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15-\delta}$ (Pr247) は、酸素欠損を生じると $T_c = 15 \text{ K}$ での超伝導転移が起こる[1]。一方、 $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (Pr123) では CuO_2 面付近における Pr-4f 軌道と O-2p 軌道の混成によるホール局在のため超伝導が抑制される[2]。このことから Pr247 における超伝導性は CuO 二重鎖で発現し、CuO 一重鎖での酸素欠損による電子キャリアドープが還元処理により生じると考えられ、Pr247 の超伝導機構は二重鎖の一次元伝導性と強く相関していると考えられる。本研究では二重鎖構造を持つ Pr247 及び $\text{PrBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ (Pr124) の物性測定可能なサイズの単結晶育成を目的とする。

【実験方法】 単結晶育成にはマグネシアるつぼを用いた。原料として Pr_6O_{11} 、 BaCO_3 、CuO を Pr:Ba:Cu = 1:2:3 のモル比で混合したものを用いた。まず原料を大気圧下 800°C 、24 時間の仮焼を行ったのちに、高圧酸素中で 1000°C に昇温し、徐冷開始温度まで急冷、その後、 20°C から 30°C の幅で -0.5°C/h の割合で徐冷し、単結晶育成をした。るつぼ内から結晶の採取を行い、これらを含んだ生成物の一部を粉末化し、X 線回折を用いた相同定を行った。

【結果と考察】 図に生成物を粉末化したものを試料とした X 線回折の結果を示す。試料名には徐冷温度範囲を示した。試料 A、B とともに PrBaO_3 や Pr123 の割合が多く、十分な大きさの Pr124、Pr247 単結晶を得られなかった。試料 C、D については、Pr247、Pr124 の割合が多く、特に Pr124 の $0.5 \sim 1.0 \text{ mm}$ 程度の単結晶を得られた。これらの結果は、 945°C 以下の領域で Pr124 が生成され、 965°C 以上の領域では不純物相の生成が多く占めることを示している。Pr247 単結晶のみを育成するためには、徐冷温度範囲を狭め、かつ、徐冷時間を長くする必要がある。

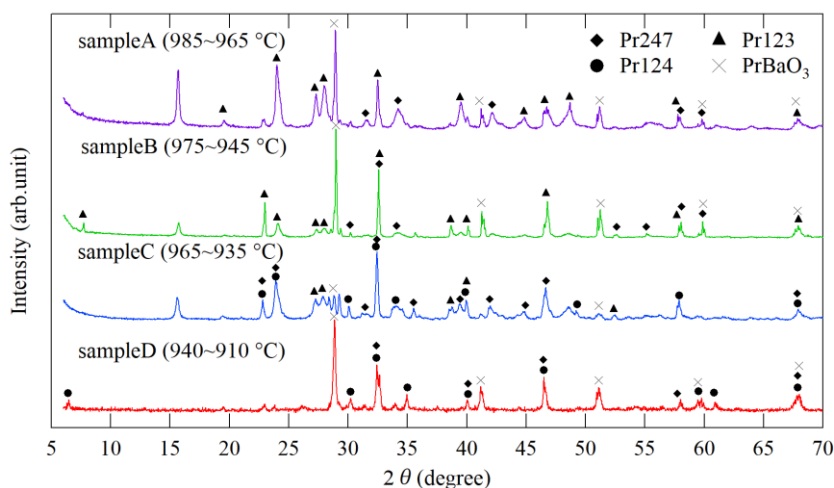


Fig. X-ray diffraction patterns of ground samples after crystal growth under several conditions. Temperature ranges with a slow cooling rate of -0.5°C/h are indicated with the sample names.

[1]Yuh Yamada *et al.*, Physica C **426-431**(2005)213.

[2]R. Fehrenbacher and T. M. Rice, Phys. Rev. Lett. **70** (1993) 3471.

Pr₂Ba₄Cu₇O_{15-δ} の超伝導性に対する Pr 欠損の効果

Effect of Pr Deficiency on the Superconductivity of Pr₂Ba₄Cu₇O_{15-δ}

新潟大学 ○武田 祐汰, 佐藤 涼介, 村岡 智幸, 大村 彩子, 石川 文洋

Niigata Univ. ○Yuta Takeda, Ryosuke Sato, Tomoyuki Muraoka,

Ayako Ohmura, Fumihiko Ishikawa

E-mail: f23a009g@mail.cc.niigata-u.ac.jp

【背景と目的】 Pr₂Ba₄Cu₇O_{15-δ} (Pr247) は、CuO₂ 面での超伝導を示す他の銅系酸化物超伝導体と異なり、キャリアが局在化し超伝導性を示さない。しかし、酸素還元処理を施すことで、CuO 二重鎖において金属的伝導が生じ、さらに超伝導が発現する[1]。Pr247 は合成条件によっては、未還元であっても金属的な抵抗の振る舞いを示す場合があり、一方でそれらの試料は超伝導転移を示さなかった。このことから超伝導性発現には酸素欠損だけでなく、わずかな組成の違いが影響していると考えられる。実際、構造解析の報告によれば、as-sintered 試料では Ba サイトに Pr が置換することで格子欠陥が起こる[1]。本研究では、Ba サイトの置換効果を考慮し、Pr サイトを欠損させた Pr_{1.95}Ba₄Cu₇O_{15-δ} (Pr-2.5%) を合成し、Pr247 (Pr±0%) 試料と比較して、Pr 欠損の効果調べた。

【実験方法】 合成方法はアルカリ金属熔融塩法を用いた。原料には Pr₆O₁₁, BaCO₃, CuO を使い、組成が Pr₂Ba₄Cu₇O_{15-δ} と Pr_{1.95}Ba₄Cu₇O_{15-δ} になるように秤量した。原料に KOH を入れ大気中で 230 °C で加熱し、混合した。水に溶かして KOH を除去し、乾燥させた後、大気中で 600 °C ~880 °C で仮焼した。その後、酸素圧 0.54 MPa の条件下で 950 °C で焼成した。得られた試料は、X 線回折により相の同定を行い、電気抵抗率を測定した。

【結果と考察】 Fig. 1 に二つの試料の X 線回折の結果を示す。いずれの試料も主相は Pr247 であった。Pr-2.5% の *c* 軸は 50.355 Å であり、Pr±0% の 50.692 Å と比べて短い。*c* 軸長は、酸素組成に強く依存することが知られており、δ が大きいほど長くなる。このことから、Pr-2.5% の方が酸素欠損量は小さいと考えら

れる。

Fig. 2 に電気抵抗率の温度依存性を示す。Pr±0% は全温度領域で単調に減少した。一方、Pr-2.5% では 140 K 付近で極大を示し、その後単調に減少した。これらは、過去の報告[1]の酸素欠損試料と as-sintered 試料の振る舞いとそれぞれ一致している。二つの試料の電気抵抗率の振る舞いは *c* 軸長から予測される酸素欠損と定性的に一致することがわかった。このように、Pr 組成によって同じ合成条件で異なる酸素組成を導くことが示唆される。

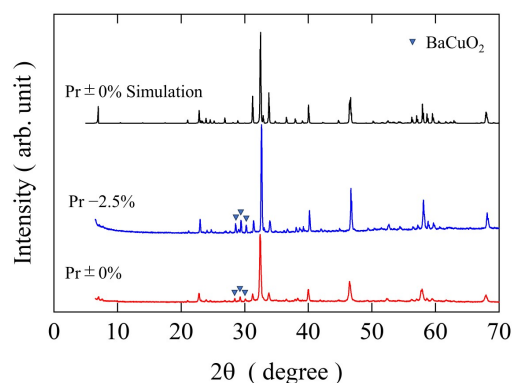


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of Pr±0% and Pr-2.5% .

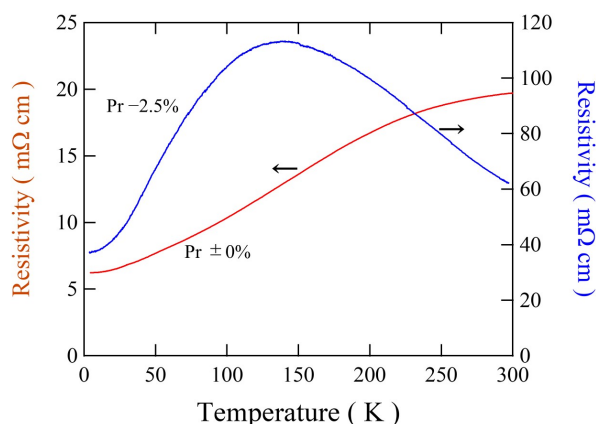


Fig. 2. Temperature dependence of the electrical resistivity of the Pr±0% and Pr-2.5% .

[1]Yuh Yamada, A Matsushita, Physica C 426-431 (2005) 213-219.

アルミニウム鑄包み法による $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ 超電導バルクの 金属被覆処理と静水圧下熱処理

Hydrostatic pressure treatment of $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ bulk
fabricated using insert casting method

イムラ・ジャパン¹, 産総研²

○川島健司¹, 神谷良久¹, 石田茂之², 荻野拓², 鬼頭聖², 伊豫彰², 永崎洋², 吉田良行²

IMRA JAPAN Co., Ltd.¹, AIST²,

○Kenji Kawashima¹, Yoshihisa Kamiya¹, Shigeyuki Ishida², Hiraku Ogino², Hijiri Kito², Akira Iyo²,

Hiroshi Eisaki², Yoshiyuki Yoshida²

E-mail: kenji.kawashima@imra-japan.com

鉄系超電導体: $\text{CaKFe}_4\text{As}_4$ (CaK1144) は、構造中の積層欠陥が磁束ピン止めに寄与することがわかっている [1]。上記特性が超電導バルク磁石に有利であると推測し、 CaK1144 多結晶バルク (CaK1144 超電導バルク) 開発を進めてきた。放電プラズマ焼結 (Spark Plasma Sintering, SPS) や熱間加工手法で作製した CaK1144 超電導バルクの特性を報告してきたが [2-5]、作製バルク内部組織はマイクロクラックが多数存在し、臨界電流密度等の超電導特性を抑制していると推測された。今回、 CaK1144 超電導バルクの特性向上につなげるべく、組織緻密化について検討を行った。

先行研究で、SUS パイプ等に封止後に熱間等方加圧 (Hot Isostatic Pressing (HIP)) 処理が超電導バルク特性向上に有効と報告されている [6]。熱膨張効果の違いでバルク組織緻密化が増強されたと推測されるが、同手法は SUS パイプ封止に高い技術が必要となる。今回、上記封止処理と同等の効果をより簡易に行うため、SPS 焼結時によるアルミニウム (Al) 鑄包み手法の導入を試み、Al 鑄包み後のバルクに対し HIP 処理を行うことで CaK1144 超電導バルクの内部組織緻密化について検証を進めた。検証の結果、Al 鑄包み後バルク処理の有無により HIP 処理後試料の内部組織が異なること、また、捕捉磁場等の超電導特性にも影響があることがわかった。当日は、上記内容の詳細について報告する。



Fig. 1 Al 鑄包み手法による金属被覆処理バルク (SPS 黒鉛型付)

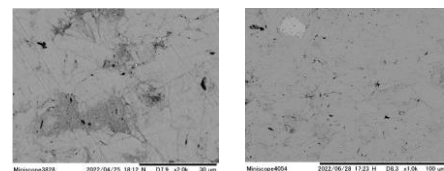


Fig.2 HIP 処理後試料の内部組織観察図(左図: 金属被覆なし, 右図: 金属被覆あり)

[1] S. Ishida, *et al.* npj Quantum Mater. 4, (2019) 27,

[2] S. Ishida, *et al.* Supercond. Sci. Technol. 33, (2020) 094005

[3] S. Ishida, *et al.* J. Alloys Compd. 916 (2023) 171093

[4] 川島健司, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 20a-P03-17

[5] 石田茂之, 第 84 回応用物理学会秋季学術講演会, 20a-P03-18

[6] A. Yamamoto *et al.*, J. Cryo. Super. Soc. Jpn. 52(6) (2017) 2-8

磁性ジョセフソン接合障壁層のための窒化ニッケル薄膜の作製

Preparation of NiN_x thin films for barriers 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 π 接合は、Nb/ AlO_x /Nb 接合などの0接合と違い基底状態で位相シフト機能を有することを特長とし、各種応用が提案されている[1,2]。この π 接合の作製では、磁性障壁層として、PdNi [3]やNi[4]が検討されている。我々は、これまでに組成比制御が不要なNi薄膜を磁性障壁層として用いることを想定し、Ni薄膜特性について報告してきた[5,6]。抵抗率が大きいものほど異方性磁界が小さくなる傾向が見られたものの、室温では磁化が残っており、キュリー点が室温より高いことを示していた。今回、磁気的特性をさらに弱めるべく、窒化ニッケル(NiN_x)を作製したので報告する。

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。到達真空度は、 2×10^{-4} Pa以下である。Niターゲットを用い、Ar流量10 sccm、全圧3.0 Paの条件で、 N_2 流量を0-0.6 sccmまで変化させて、ガラス基板上に室温成膜した。膜厚30 nmの薄膜を成膜後、試料によっては保護膜として50 nm厚の SiO_2 を堆積させた。線幅100 μm 、長さ1000 μm のホール素子を作製し、抵抗率および異常ホール効果によるホール電圧-外部印加磁場依存性を評価した。

図1に抵抗率の N_2 流量依存性を示す。 N_2 流量の増加とともに、抵抗率は上昇し、200 $\mu\Omega\text{cm}$ 程度に達した。図2に保護膜有の試料に対する異常ホール効果の測定結果を示す。横軸は印加磁場、縦軸はホール抵抗率である。印加磁場0の時に有限のホール抵抗率を示しているが、これは素子の電圧測定用電極の非対称性による。 N_2 ガスのわずかの添加により、磁化の効果がほとんど見えなくなることが分かった。また、 N_2 流量0.4 sccm以上では、抵抗率が磁場にわずかに依存するものの、ほとんど同じ特性を示した。

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, 2023 春応物 16a-PB03-10. [6]. 赤池 他, 2024 春応物 22a-P01-15.

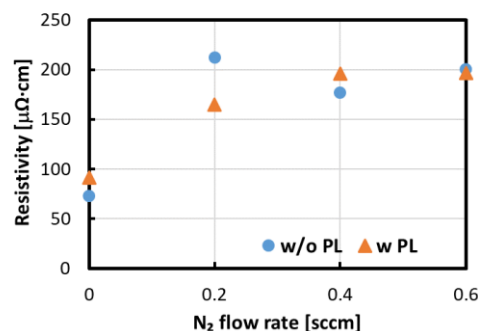


Fig.1. Resistivity dependence on N_2 flow rate for NiN_x films.

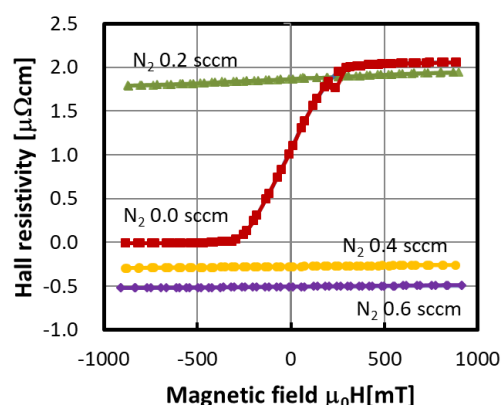


Fig.2. Anomalous Hall effect on 30 nm NiN_x films.

超伝導量子ビット应用に向けた 立方晶系 Al/AlN/Al/TiN のヘテロエピタキシャル成長

Hetero-epitaxial Growth of Cubic Al/AlN/Al/TiN for Superconducting Qubits

富士通¹, ○山口 淳一¹, 林 賢二郎¹, 近藤 大雄¹, 土肥 義康¹, 佐藤 信太郎¹

Fujitsu Limited¹, °J. Yamaguchi¹, K. Hayashi¹, D. Kondo¹, Y. Doi¹, and S. Sato¹

E-mail: yamaguchi.j@fujitsu.com

巨視的量子系の超伝導回路からなる超伝導量子ビットは、高い拡張性と制御性を備えており、実用的な大規模量子計算を可能にする有力な候補素子の一つである。超伝導量子ビットのジョセフソン接合 (JJ) には多結晶 Al で非晶質 AlO_x を挟んだ三層膜が広く利用されているが、それらの結晶性の乱れに起因する二準位系欠陥が量子ビットのコヒーレンス時間の短縮やゲート忠実度の低下を招くと懸念されている[1]。そこで本研究では、二準位系欠陥を抑制して量子ビットの特性向上を図ることを目的に、その構成積層膜のヘテロエピタキシャル成長を試みた。図(a)に積層膜の構成を示す。*in situ* PLD/MBE により、Si(100)基板上に全て立方晶系の TiN (50–100 nm)、次いで Al(50 nm)/AlN(1.5 nm)/Al(50 nm)の三層膜を順次成膜した (窒化膜は PLD、Al は MEB により成膜)。図(b)は各層成膜後の *in situ* RHEED 像である。Al/AlN/Al/TiN は、各表面の正方格子に由来するストリークが観測されており、エピタキシャル成長しているのが分かる。また、図(c)の Al/AlN/Al 断面部の TEM 像では正方格子が整然と配列しており、良好な JJ 界面が形成されているのが確認できる。Al を Si(100)基板上に直接エピタキシャル成長することは両者の格子定数の差が大きく困難だが、TiN が Al–Si 格子不整合緩和のバッファ層の役割を担い[2]、Al/AlN/Al のエピタキシャル成長を実現している。発表では、成膜条件や物性評価の詳細に加え、JJ 素子作製プロセス (Al の自然酸化を防止する保護膜形成や TiN の超伝導線路への適用) についても議論する。

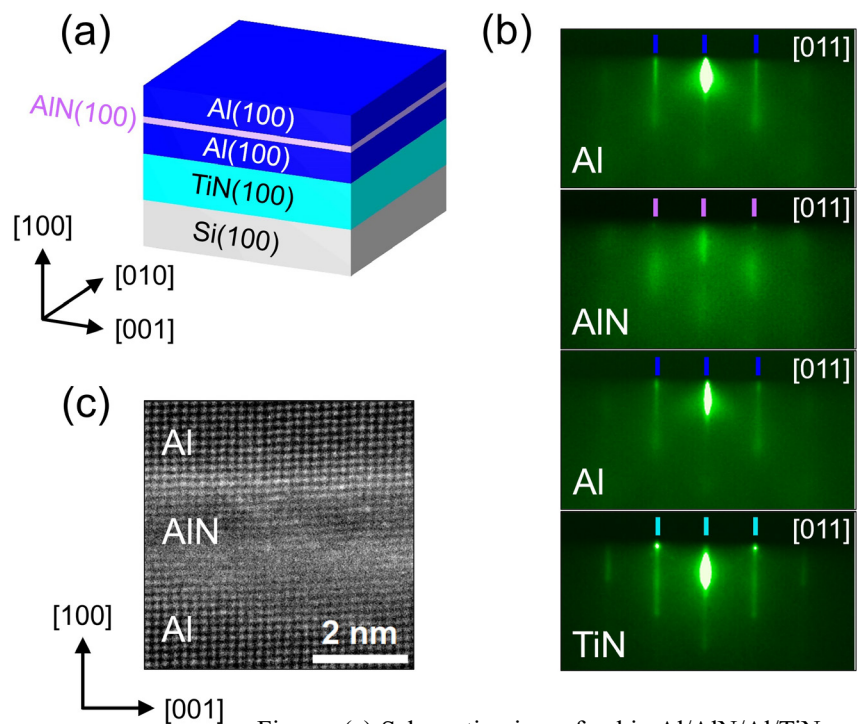


Figure: (a) Schematic view of cubic Al/AlN/Al/TiN on the Si(100) substrate. (b) *in situ* RHEED images of respective layers taken along the Si[011] azimuth. (c) Cross-sectional TEM image of the Al/AlN/Al junction.

[1] J. Lisenfeld *et al.*, npj Quantum Inf. **5**, 105 (2019).

[2] S. Kim *et al.*, Commun Mater. **2**, 98 (2021).

REBCO-CC の中間層に向けた KOH フラックス $(\text{Pr}_{1-y}\text{RE}_y)_{1-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_3$ 膜の金属-絶縁体転移特性 Metal-Insulator Transition Property of KOH flux- $(\text{Pr}_{1-y}\text{RE}_y)_{1-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_3$ Films for Buffer Layer of REBCO-CC

島根大¹, 中部大², 名古屋大³, 愛工大⁴

○船木 修平¹, 山本 樹輝¹, 山田 容士¹, 田橋 正浩², 吉田 隆³, 一野 祐亮⁴

Shimane Univ.¹, Chubu Univ.², Nagoya Univ.³, Aichi Inst. of Technol.⁴, ○Shuhei Funaki¹,

Itsuki Yamamoto¹, Yasuji Yamada¹, Masahiro Tahashi², Yutaka Yoshida³, Yusuke Ichino⁴

E-mail: s-funaki@riko.shimane-u.ac.jp

【背景】近年, BSCCO を用いた 1G HTS コイルのターン間に V_2O_3 を用いることで, 金属-絶縁体(M-I)転移現象によるクエンチ保護と励磁遅延解消が実証された[1]. 一方, REBCO-CC は絶縁性の中間層があるため REBCO 層側からしか転流が生じず, この手法によるクエンチ保護は容易ではない. また, V_2O_3 は M-I 転移温度が 150 K 程度であり, REBCO の T_c に比べ高いこともクエンチ保護を困難としている.

これまで我々は, REBCO-CC のクエンチ時に金属基材に転流させるための中間層として, p 型導電性 LaNiO_3 をスパッタリング法や低温液相成長(KOH フラックス)法で成膜してきた[2, 3]. また, 金属組成で M-I 転移温度を制御可能な $(\text{Pr}_{1-y}\text{RE}_y)_{1-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_3$ 材料に着目し, 固相成長や気相成長法による作製も試みてきた[4]. 本研究では, M-I 転移材料を REBCO-CC の中間層へ応用することを目的として, $(\text{Pr}_{1-y}\text{RE}_y)_{1-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_3$ 膜を KOH フラックス法により作製し, その作製条件と結晶相, 組成, 電気特性の関係を検討した.

【実験方法】出発原料に Pr_6O_{11} , Sm_2O_3 , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, Co_3O_4 を用いて, 金属モル比が $\text{Pr} : \text{Sm} : \text{Ca} : \text{Co} = 0.4(1-y) : 0.4y : 1.2 : 1$ ($y = 0 \sim 0.5$)となるように秤量, 混合した. 原料混合粉と LaAlO_3

(100)基板, KOH 顆粒をアルミナ製坩堝に入れ, 大気中で $700^\circ\text{C} \cdot 12 \text{ h}$ の熱処理を行うことで成膜した.

【結果および考察】図に, 異なる原料 Sm 比で LaAlO_3 基板上に作製した膜の電気抵抗率の温度依存性を示す. $y = 0.3$ 以上の膜では, $y = 0 \sim 0.2$ と比較して 100 ~ 200 K において降温に対する電気抵抗率の上昇が急激になっており, M-I 転移が観測された. さらに, $y = 0.3$ から 0.5 にかけて M-I 転移温度が高くなった. このことから, KOH フラックス法を用いることで M-I 転移特性を有する $(\text{Pr}_{1-y}\text{RE}_y)_{1-x}\text{Ca}_x\text{CoO}_3$ 膜の作製に成功したと言える.

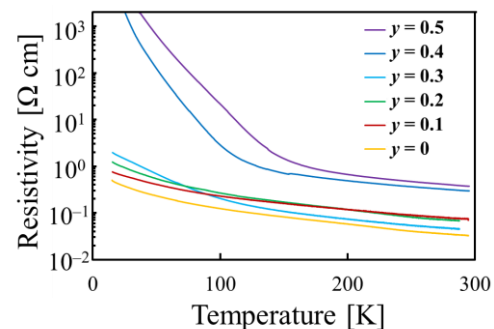


Fig. R-T curves of films synthesized on LaAlO_3 prepared with stating material ratios of $\text{Pr} : \text{Sm} : \text{Ca} : \text{Co} = 0.4(1-y) : 0.4y : 1.2 : 1$ ($y = 0 \sim 0.5$)

【参考文献】

- [1] H.-W Kim et al., IEEE Trans. Appl. Supercond. 28(3) (2018) 4600205
- [2] 船木 他, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集 (2021) 17a-Z21-1
- [3] 豊嶋 他, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集 (2023) 16a-PB03-7
- [4] M. Tahashi et al., Jpn. J. Appl. Phys. 61(1) (2021) 018003

PLD 法を用いた LaNiO_3 導電性膜上への YBCO 超伝導エピタキシャル薄膜の作製と評価

Fabrication and Characterization of Epitaxial YBCO superconducting thin films grown on LaNiO_3 conductive buffer layer by pulsed laser deposition method

愛知工大院,^o (M2)坂本龍哉、田岡紀之、清家 善之、森 竜雄、一野 祐亮

Aichi Inst. of Technol., ^oR. Sakamoto, N. Taoka, Y. Seike, T. Mori, Y. Ichino

E-mail: y23708vv@aitech.ac.jp

1. はじめに

超伝導線材は非常に高価なためコストの低減が必要である。この問題点を改善する手段として、導電性酸化物を配向 Ni 基板上にエピタキシャル成長 (エピ成長) させ、その上に YBCO をエピ成長させることで安定化層を省き超伝導線材の構造を単純化できる。そのため、低コスト化につながると考えられる。これまでに我々は、 GdNiO_3 と LaNiO_3 を混合した RENiO_3 を中間層とし積層膜を作製、評価してきた。しかし、中間層が超伝導層の T_c を下げることが示唆された。そこで本研究では、中間層として先行研究において報告されている LaNiO_3 (LNO) に着目し、パルスレーザー蒸着 (PLD) 法を用いて成膜し、LNO がエピ成長する条件を探索した[1,2]。その後、LNO エピ膜上に YBCO を成膜しエピ成長する条件を探索した。

2. 実験方法

本研究では、LNO、YBCO ターゲットを用意し、PLD 法を用いて、成膜時間 15 分~60 分、ヒーター温度を 600°C ~ 900°C 、酸素圧力 50 Pa とし $\text{SrTiO}_3(100)$ 単結晶基板上に LNO 中間層を成膜した。また、作製した LNO 中間層上に成膜時間 60 分、ヒーター温度を 850°C ~ 950°C 、酸素圧力 23 Pa で YBCO を成膜した。作製した薄膜の評価は、X 線回折 (XRD)、抵抗率の温度依存性 (R-T) 測定にて行った。

3. 実験結果

LNO 中間層成膜時のヒーター温度を 900°C 、酸素圧力を 50 Pa と固定し成膜時間を 15~60 分と変化させ、さらにその上にヒーター温度 900°C 、酸素圧力 23 Pa、成膜時間 60 分の条件で YBCO を成膜し積層膜を作製した。Fig. 1 より中間層の成膜時間を短くしていくほど、XRD における YBCO 103 ピークの相対強度が低くなる傾向がわかった。これは、LNO の成膜時間が長いほど中間層の膜厚が厚くなり、中間層上に成膜される YBCO 膜への熱エネルギーが伝わりにくくなることで、YBCO のエピ成長が阻害され多結晶膜が成長している

か、LNO 表面の粗さが影響していることを示唆している。また、Fig. 2 の R-T 測定結果より LNO 成膜時間 15 分の条件では 82 K で超伝導転移することも分かった。

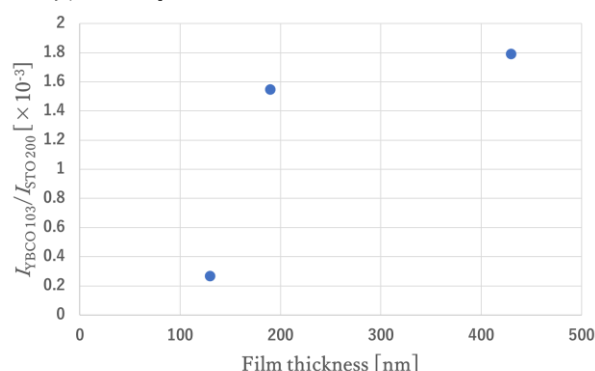


Fig. 1. Relative intensity of YBCO 103 peak to STO 200 vs. film thickness of a LNO layer.

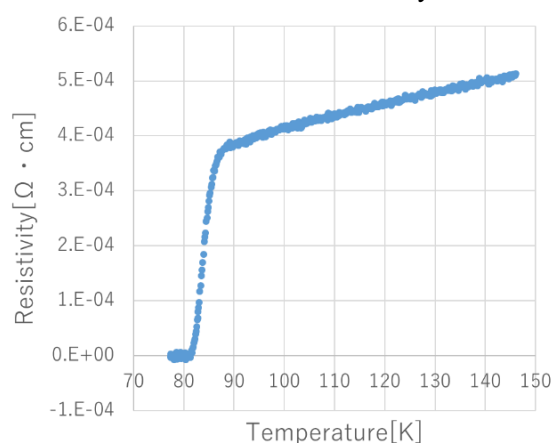


Fig. 2. Resistivity of YBCO layer depending on measurement temperature.

4. 謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 20H02682 の助成を受けて実施した。試料の X 線回折測定には名古屋大学吉田隆研究室の装置を利用したので、感謝します。

参考文献

- [1] M. Satyalakshmi *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **62** (1993) 1233.
- [2] M. S. Hegde *et al.*, *J. Mater. Res.* **9** (1994) 898.

フッ素フリーMOD法を用いた GdBCO 薄膜作製における MOD 溶液の状態依存性

State dependence of MOD solution in GdBCO-thin-film fabrication using FF-MOD method

静大院総合¹，静大イノベーション社会連携機構²

○(M1)山本 涼介¹，喜多 隆介²，武田 正典¹

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

○Ryosuke Yamamoto¹，Ryusuke Kita²，Masanori Takeda¹

E-mail: yamamoto.ryosuke.19@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関する研究を行った。

前駆体溶液を混合してからの経過時間と結晶成長の関係を調べる実験を行った。まず始めに、混合した溶液を 9600 μ l 用意し、1200 μ l ずつ 8 当分してその中の 1 本を使用して薄膜を作製する。その後、1 週間経過する度に 1 本の溶液を使用して薄膜を作製した。この時、焼成は 810 $^{\circ}$ C，830 $^{\circ}$ C，850 $^{\circ}$ C，870 $^{\circ}$ C の 4 パターンで行った。

図 1 に 830 $^{\circ}$ C で焼成を行なった薄膜の SEM 画像を示す。図 1 内の数字は溶液を作製してからの経過週間を表しており、例えば⑩は溶

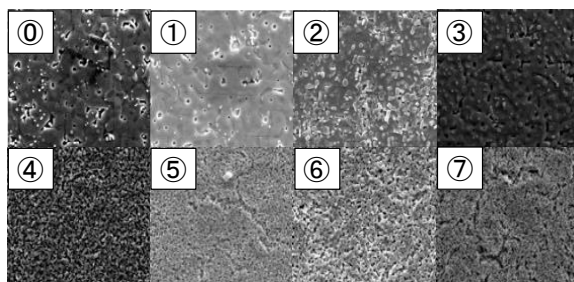


Fig.1 Surface microstructure of thin films

液作製直後に作製した薄膜、①は溶液作製から 1 週間後に作製した薄膜を意味する。図 1 より、①と⑩は十分な結晶成長が見られ空隙が少ない、②と③は結晶が成長しているが空隙が多い、④~⑦は空隙や亀裂が多く結晶成長が不十分であることがわかる。つまり、溶液を置いておく時間が長いほど結晶成長が不十分になっていくことを示している。図 2 に、図 1 の薄膜を 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、①~③は LAO(002)とほぼ同じ高さになっているが、④~⑦にかけてピークが低くなっていることがわかる。また、他のピークについても同様のことが言える。以上のことより溶液の経時変化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。

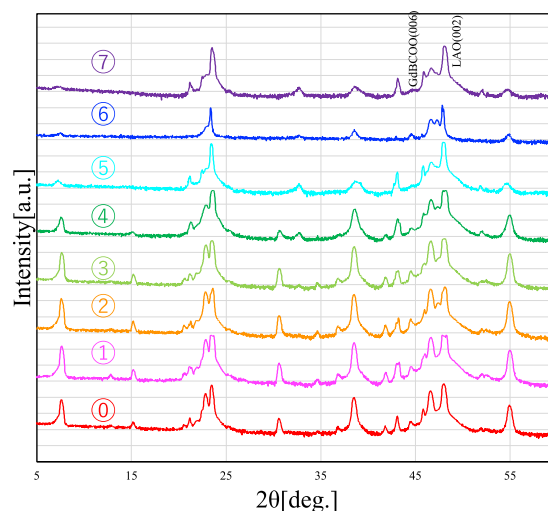


Fig.2 θ -2 θ measurement results for each thin film

銅酸化物超伝導体 $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 薄膜の電気抵抗の異方性

Anisotropy of electrical resistance in copper oxide superconducting

 $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ thin films日大¹, 名大院工², 名大 RCCME³, [○](M1C)守永 昂世¹, 畑野 敬史²,生田 博志^{2,3}, 飯田 和昌¹Nihon Univ.¹, Dept. Mater. Phys., Nagoya Univ.², RCCME Nagoya Univ.³, [○](M1C) K. Morinaga¹,T. Hatano², H. Ikuta^{2,3}, K. Iida¹

E-mail: ciko24014@g.nihon-u.ac.jp

銅酸化物超伝導体 $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (以下、GdBCO とする) は、異方的な結晶構造のため、電気輸送特性に強い異方性があらわれる。薄膜の電気抵抗の異方性は[001]が[100]方向に傾斜したオフ基板の上に薄膜を成長させ、調べられている[1]。しかし、基板のオフ角 α を系統的に変化させ、異方性を調べた報告は少ない。そこで、本研究ではGdBCO 薄膜をオフ角 α ($0^\circ, 1.5^\circ, 3^\circ, 6^\circ, 10^\circ$) を有する SrTiO_3 (001) 基板の上に成長させ、電気抵抗の異方性を調べたので報告する。

GdBCO 薄膜は KrF エキシマレーザーを用いたパルスレーザー堆積(PLD)法により成膜した。成膜温度、雰囲気は、 $750 \sim 790^\circ\text{C}$ 、 $p\text{O}_2 = 40 \text{ Pa}$ とした。成膜後、薄膜をチャンバーから取り出し、管状炉にて $p\text{O}_2 = 1 \text{ atm}$ 下で 400°C 、3 時間、酸素アニールを行った。その後、レーザーカッターを用いて ab 面内に平行な方向と、それに垂直な方向に細線を加工した。薄膜の構造解析には X 線回折(XRD)を用いた。

Fig. 1 に GdBCO 薄膜の XRD パターンを示す。また図中に、005 反射の ω -scan から決定した GdBCO 薄膜のオフ角を示す。いずれの薄膜も基板のオフ角と同程度であり、また c 軸配向しているのがわかる。Fig. 2 に $\alpha = 0^\circ, 1.5^\circ, 10^\circ$ の薄膜の ab 面内に平行な方向と、それに垂直な方向の抵抗 (それぞれ、 R_{ab} , R_T とする) から求めた c 軸方向の抵抗 (R_c) の温度依存性を示す。なお、 c 軸方向の抵抗は $R_c = (R_T - R_{ab}\cos^2\alpha)/\sin^2\alpha$ を使って求めた。いずれの薄膜も、ゼロ抵抗は $90 \sim 93 \text{ K}$ で観測された。常伝導及び超伝導状態における異方性の詳細な議論については当日、報告する。

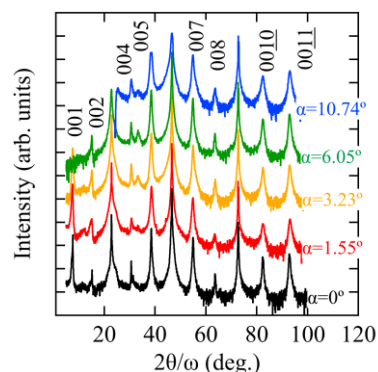


Fig. 1 X-ray diffraction spectrum of $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ grown on vicinal SrTiO_3 substrates.

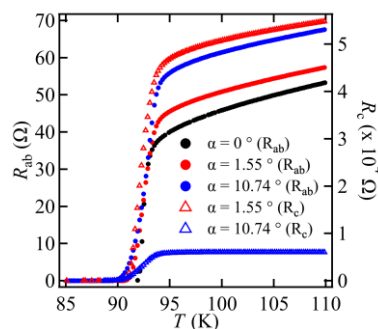


Fig. 2 The temperature dependence of the ab -plane and c -axis resistance for $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ grown on vicinal SrTiO_3 substrates with $\alpha = 0^\circ, 1.5^\circ$ and 10° . The open and solid symbols represent R_c and R_{ab} , respectively.

[1] G. Heine, W. Lang, R. Rössler, J. D. Pedarnig, *Nanomaterials* **11**, 675 (2021).

Bi 系酸化物高温超伝導体 $\text{Bi}_{1.75}\text{Pb}_{0.35}\text{Sr}_{1.9}\text{Ca}_x\text{Cu}_{x+1}\text{O}_y$ ($x \geq 2$) の合成に関する研究

Study on Synthesis of Bi-based Oxide High- T_c Superconductors $\text{Bi}_{1.75}\text{Pb}_{0.35}\text{Sr}_{1.9}\text{Ca}_x\text{Cu}_{x+1}\text{O}_y$ ($x \geq 2$)

1.同志社大, 2.東京理科大, 3.物材研

○大森竣介¹, Marina Mendoza¹, 鄭雨萌^{1,2}, 堺健司¹, 佐藤祐喜¹, 吉門進三¹, 松本凌³, 高野義彦³

1. Doshisha Univ., 2. Tokyo University of Science, 3. NIMS

○S. Omori¹, M. Mendoza¹, Y. Zheng^{1,2}, K. Sakai¹, Y. Sato¹, S. Yoshikado¹, R. Matsumoto³, Y. Takano³

E-mail: ctwk0333@mail4.doshisha.ac.jp

【はじめに】Bi 系酸化物超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (Bi-2223) は 110K という高い超伝導転移温度(T_c)を示し、液体窒素(沸点 77K)冷却により超伝導を発現可能である。さらに、臨界磁場が高く、電磁石や送電用線材への応用が期待されている。現在、焼結法で Bi-2223 を作製するためには Bi サイトに対する Pb 置換が有効な方法でよく用いられている。しかし Pb は環境負荷が大きいため、Pb の組成を現状より減じたり、また使用せずに良好な超伝導特性を有する Bi-2223 を作製することは困難である。本研究では、Pb の使用量を減らす方法として、まず乱れの少ない Cu_2O 層の形成に最適な Bi, Pb, Sr によるテンプレートを形成し、その間に乱れの少ない Cu_2O 層を Bi-2223 における 3 層からさらに層数を増やすことにより、Pb の使用量を相対的に減らすことを試みた。今回は、従来良好な超伝導特性が得られている Bi, Pb, Sr の組成を一定にして Ca と Cu の組成を $\text{Bi}_{1.75}\text{Pb}_{0.35}\text{Sr}_{1.9}\text{Ca}_x\text{Cu}_{x+1}$ ($x \geq 2$) に従って変化させた試料を作製し、結晶構造、超伝導特性を評価したので報告する。

【実験方法】焼成時の組成の均一性を得るために出発原料として炭酸塩を使用せずに、すべて酸化物とした。 Bi_2O_3 , PbO , SrO , CaO , CuO を組成比 $\text{Bi}_{1.75}\text{Pb}_{0.35}\text{Sr}_{1.9}\text{Ca}_x\text{Cu}_{x+1}$ とした。試料名を Bi-22 x ($x+1$) とする。例えば、 $x=4$ であれば Bi-2245 となる。混合後、一軸圧縮成型してペレット作製し、Pt 板上、空気中にて 840°C で 24h の仮焼成した。粉碎後再び一軸圧縮成型し、種々の温度・時間で本焼成を行い、一旦冷却後、種々の温度でポストアニリングを行った。X 線回折 (XRD) による結晶構造解析、抵抗-温度($R-T$)特性、磁化率-温度($M-T$)特性の測定および走査型電子顕微鏡・エネルギー分散型分光(SEM・EDS)による観察・分析を行った。

【実験結果・考察】Fig. 1 に、最適な焼成条件により得られた Bi-2223 および Bi-2245 の XRD パターンを示す。Bi-2245 についても、Bi-2223 と同様の良好な層状構造物質が得られることが分かった。Fig. 2 に、Fig. 1 で示された試料の $R-T$ 特性を示す。ほぼ同じ約 107K の超伝導転移温度とを示すことが分かった。これより、Bi, Pb, Sr の組成を一定にして、 $x \geq 3$ 層以上の乱れの少ない Cu_2O 層の形成が可能であること、さらには Pb の組成を相対的に小さくすることが可能であることが示唆された。現時点において、 $x=8$ までの試料において、同様な傾向を示すことが確認されている。なお、 $x \geq 5$ 以上の試料についての結晶構造解析、 $R-T$ 特性の結果については、発表当日に報告する予定である。

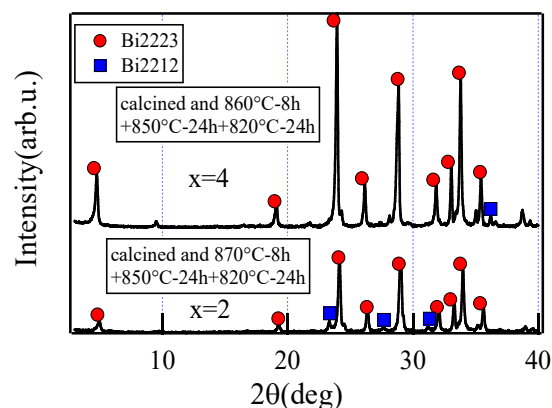


Fig. 1 XRD patterns for Bi-2223 and Bi-2245 annealed under optimum thermal condition.

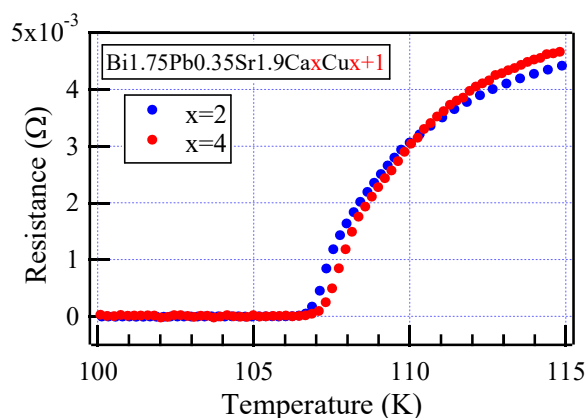


Fig. 2 $R-T$ characteristics for Bi-2223 and Bi-2245 annealed under optimum thermal condition.

PLD 法におけるアブレーションプラズマの モニタリングシステムの構築

Construction of a monitoring system for ablation plume in the PLD method

愛工大¹, 名大², 九工大³, 電中研⁴, JST-CREST⁵, [○]松田 遼太郎¹, 佐々 文彌¹, 藤田 竜也¹,
田岡 紀之¹, 清家 善之¹, 森 竜雄¹, 一野 祐亮^{1,5}, 堀尾 恵一^{3,5}, 一瀬 中^{4,5}, 堀出 朋哉^{2,5},
松本 要^{2,5}, 吉田 隆^{2,5}

Aichi Inst. of Technol.¹, Nagoya Univ.², Kyushu Inst. of Technol.³, CRIEPI⁴, JST-CREST⁵,
R. Matsuda¹, F. Sassa¹, T. Fujita¹, N. Taoka¹, Y. Seike¹, T. Mori¹, Y. Ichino^{1,5}, K. Horio^{3,5}, A. Ichinose^{4,5},
T. Horide^{2,5}, K. Matsumoto^{2,5}, Y. Yoshida^{2,5}

E-mail: v24728vv@aitech.ac.jp

1. はじめに

YBCO エピタキシャル薄膜の作製において Pulsed Laser Deposition(PLD) 法は有効な成膜手法の一つである。PLD 法では、ターゲット上にプラズマと呼ばれる柱状のアブレーションプラズマ発光が観測される。アブレーション過程は光化学反応や熱励起過程が複雑に関与しており、レーザー光の波長やパワー密度により蒸発過程が異なる[1]。これにより同一の成膜条件においても安定した特性が得られにくいという課題がある。そこで再現性良く YBCO 薄膜の成膜が行えるようにすることを目標として、本研究ではデプスカメラによってプラズマの色情報やサイズ情報をリアルタイムで収集する観察システム構築を行った。

2. 実験方法

PLD 法を用いて YBCO 薄膜を作製し、成膜過程でのプラズマをデプスカメラ(Intel 社, Realsense Depth Camera D405)により撮影した。その際にプラズマ周囲の色情報とプラズマサイズを逐次記録するよう python を用いたコードの開発を行った。基板温度を 900 °C、Nd:YAG レーザー(波長 266 nm、繰り返し周波数 10 Hz)のエネルギーを 20 mJ に固定し、酸素圧力を 10 分ごとに 100 mTorr、200 mTorr、400 mTorr と変化させて成膜した。プラズマのサイズ計測は、デプスカメラから取得した三次元座標の情報をもとに、プラズマの高さ、幅それぞれ最大値、最小値の点を認識し、その間の距離を求めることで行った。

3. 結果と考察

Fig. 1 にそれぞれの酸素圧力で成膜した際のプラズマの画像を示している。デプスカメラでプラズマの形状を認識し、外接矩形が描かれていることが確認できる。その外接矩形は 200 mTorr と 400 mTorr のプラズマは白色光に沿って描かれているが、100 mTorr のプラズマは赤色光も捉えている。外接矩形は、カラー画像をグレースケール画像に変換した後、

二値化処理した情報によって描かれるためと考えられる。Fig. 2 にそれぞれの酸素圧力におけるプラズマの形状の平均を示している。この結果から、酸素圧力の増加に伴いプラズマの高さも幅も減少している様子をデプスカメラで記録されていることが確認できる。当日はレーザーエネルギーなど他の条件を変えた際のプラズマのモニタリング結果や、このプログラムを用いたプラズマの形状をフィードバック制御するシステムについても報告する予定である。



Fig. 1 Images of YBCO ablation plumes at different O₂ pressures.

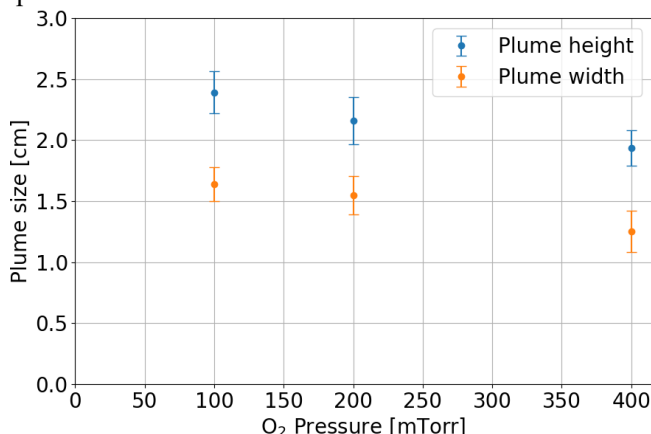


Fig. 2 YBCO ablation plume size at different O₂ pressures

謝辞
本研究は JST、CREST、JPMJCR2336 の支援を受けたものである。また、観測システムの構築に関しては、名古屋大学電気工学専攻吉田研究室 山崎 春太郎氏から多くのご協力をいただいた。

参考文献

- [1] Laser Society (ed.) Laser Handbook (2nd edition)
Published April 25, 2005

R 面サファイア基板上の Nb 薄膜の作製と特性評価

Fabrication and evaluation of niobium thin films on R-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。これまで FFO に用いられてきた Si 基板上に室温で成膜された Nb 薄膜は、多結晶で残留抵抗比 (RRR) が 3 前後と低い値を示していたが、800 °C に基板加熱された R 面サファイア基板上の Nb 薄膜では RRR は一桁高く、良好なマイクロ波伝送特性が得られることが報告されている[1]。これらの理由の一つとして、基板加熱により生じたサファイア基板表面上の原子ステップを起点に Nb 薄膜が面内配向して成長したことが挙げられるが[2]、詳細は未だ解っていない。本研究では、800 °C に加熱した R 面サファイア基板上の Nb 薄膜の結晶成長の詳細を探るために同薄膜を作製し、結晶性および電気特性を評価した。

【実験および結果】

SiC ヒーターにより R 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 の Nb 薄膜を成膜した。同薄膜の X 線回折の 2θ - θ 特性は、Nb(200)ピークが支配的であったため一軸配向が確認された。また、基板の面内回転である ϕ -scan において Nb(110)ピークがほぼ 4 回対称性を示すことから面内配向も確認された。次に、同条件で成膜した Nb 薄膜をフォトリソグラフィとウェットエッチングにより幅 20 μm 、長さ 96 μm のブリッジに加工した素子の抵抗率-温度 (ρ - T) 特性を Fig. 1 に示す。同図より臨界温度が 9.1 K、RRR ($=\rho(300\text{ K})/\rho(10\text{ K})$) が約 34 であることが示された。これは、基板加熱により面内配向した Nb 薄膜の成長過程で不純物の取り込みが低減されたため高い RRR を示したものと考えられる。

本方法で得られた Nb 薄膜を用いて FFO を製作することによりその高出力化が期待される。

【参考文献】

- [1] 野口卓他, 電子情報通信学会技術報告 SCE2018-22 (2018) pp. 31-36.
- [2] C. Delacour *et al.* Phys. Rev. B **83** (2011) 144504.

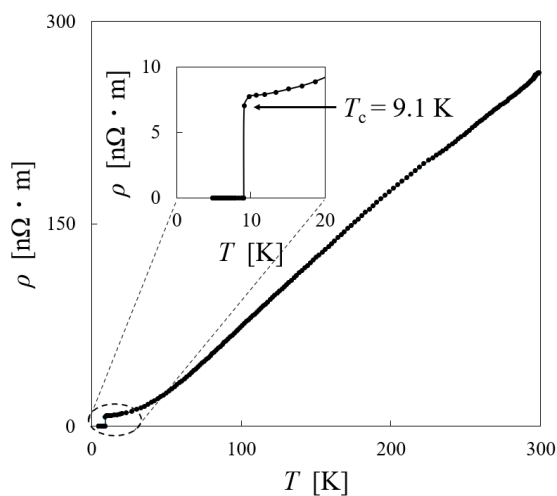


Fig. 1: ρ - T characteristic of niobium thin film deposited on R-plane sapphire substrate at 800 °C

YBCO 薄膜の初期結晶成長島の密度に着目した 結晶成長シミュレーションのパラメータ最適化

Parameter optimization of crystal growth simulation

focusing on density of initial crystal growth islands in YBCO thin films.

愛工大¹, 名大², 九工大³, 電中研⁴, JST-CREST⁵, ° 奥村英二郎¹, 内田陽人¹, 簗拓己¹,
田岡紀之¹, 清家善之¹, 森竜雄¹, 一野祐亮^{1,5}, 堀尾恵一^{3,5}, 一瀬中^{4,5}, 堀出朋哉^{2,5},
松本要^{2,5}, 吉田隆^{2,5}

Aichi Inst. of Technol.¹, Nagoya Univ.², Kyushu Inst. of Technol.³, CRIEPI⁴, JST-CREST⁵

°E. Okumura¹, H. Uchida¹, T. Takamura¹, N. Taoka¹, Y. Seike¹, T. Mori¹, Y. Ichino^{1,5}, K. Horio^{3,5},

A. Ichinose^{4,5}, T. Horde^{2,5}, K. Matsumoto^{2,5}, Y. Yoshida^{2,5}

E-mail: v24714vv@aitech.ac.jp

1. はじめに

本研究では、YBCO 結晶成長シミュレーションの精度を高めるためにベイズ最適化を用い、実験結果とシミュレーション結果を比較し、実験結果を再現可能なシミュレーションのパラメータを探索することを目的としている。

2. シミュレーション方法

本研究のシミュレーションは、Monte Carlo 法を用いた結晶成長シミュレーションであり、参考文献[1]で用いられたシミュレーションを基本としている。島の数や島の大きさは YBCO 分子同士の結合エネルギー (E_{AA}) や YBCO と基板の結合エネルギー (E_{AS})、基板からの蒸発エネルギー (E_{des}) により変化する。そのため、本研究では、 E_{des} を 10000 K で固定し、ベイズ最適化を用いて 0~10000 K の範囲で E_{AA} と E_{AS} の最適化を行った。

3. 結果及び考察

図 1 に E_{AA} 及び E_{AS} を 0~10000 K の範囲で変化した際のベイズ最適化の結果を示す。なお今回は

目的関数として次の評価関数 $f = -10(\frac{N_{sim}}{48^2} - \frac{N_{ex}}{(1.5 \times 10^3)^2})^2$ を用いた。ここで、 N_{sim} はシミュレーションで得られた島の数、 N_{ex} は実験で得られた島の数[2]である。この目的変数が最大となるパラメータを探索した。図より、現状で目的変数が最大のパラメータは $E_{AA} = 1000$ K, $E_{AS} = 7000$ K 付近であることが分かる。また、図 2 に横軸をベイズ最適化の繰り返し回数、縦軸を目的変数としたグラフを示す。このグラフから 19 回繰り返したが、目的変数が最大化される傾向にないことが分かった。この結果から、 E_{AA} と E_{AS} のみを変動させても島の密度は大きく変わらない、あるいは、今回

用いた評価関数では目的変数が最大化されにくい可能性が考えられる。

当日は E_{AA} と E_{AS} と E_{des} の 3 変数でパラメータを変化させたベイズ最適化結果についても報告する。また別の評価関数の影響についても報告する予定である。

謝辞

本研究は JST、CREST、JPMJCR2336 の支援を受けたものである。また、AFM は名古屋大学吉田隆研究室の装置をお借りし、同研究室の奥村慎氏より使い方をご教授頂いた。

参考文献

- [1] Y. Ichino ら, JJAP 56 (2017) 015601, IEEE TAS 27 (2017) 7500304, IEEE TAS 31 (2021) 7500204.
- [2] J.H. Rector, J.M. Huijbregtse, R. Griessen, Physica C 305 (1998) 1–10.

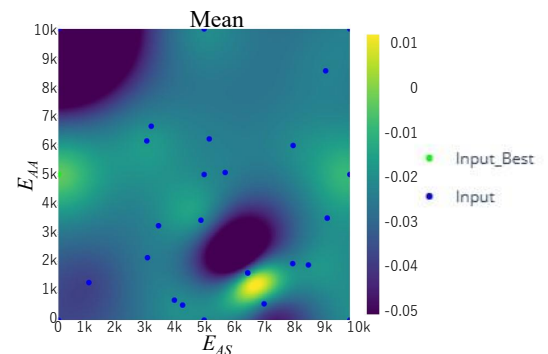


Fig. 1. Average of 19 iterations of Bayesian

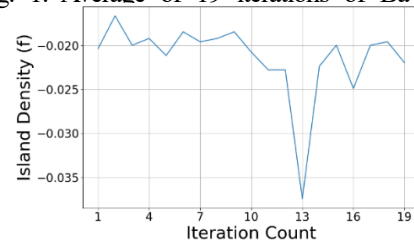


Fig. 2. Iteration count vs. Island density(f)

無線電力伝送用高温超伝導バルク共振器アンテナへの 導波器装荷による伝送効率評価

Evaluation of transmission efficiency of HTS bulk resonator antenna with director for wireless power transfer

山形大学¹, 富士電機株式会社² ○(M2)秋元 大輝^{1,†}, (M1)池津 優紀¹, (B)眞藤 行登¹,
柴田 将史², (M2)鈴木 俊哉¹, 成田 克¹, 大音 隆男¹, 齊藤 敦^{1,‡}
Yamagata Univ.¹, Fuji Electric Co., Ltd.², °Hiroki Akimoto¹, Yuki Ikezu¹, Ikuto Shindou¹,
Masafumi Shibata², Shunya Suzuki¹, Yuzuru Narita¹, Takao Oto¹, Atsushi Saito¹
E-mail: t232944m@st.yamagata-u.ac.jp[†]; atsu@yz.yamagata-u.ac.jp[‡]

無線電力伝送は非放射型と放射型に分類され、非放射型は比較的近距离な伝送方式で伝送効率は 90 % 以上と高効率である。対して放射型は比較的長距離への送電が見込め、近年の先行研究では 5.8 GHz の電波を用いて伝送距離が 28 cm で伝送効率が約 60 %と報告されている[1]。一方で、放射型アンテナの伝送効率を向上させるためには共振器材料損失の低減が考えられ、我々は高温超伝導バルク共振器アンテナを用いて研究を行ってきた [2][3]。しかし、上記に示した先行研究のような伝送効率には至っていない。本研究では電磁界解析ソフト CST Microwave Studio を用いて、導波器[4]を装荷した高温超伝導バルク共振器アンテナ（1 素子）を設計し、実測によって導波器装荷の有無及び反射器の面積拡大による伝送効率特性を調査した。Fig. 1 に導波器を装荷した高温超伝導バルク共振器アンテナの解析モデルを示す。サファイア基板に梱包された高温超伝導バルク共振器アンテナを Cu cavity にセットし、テフロンスペーサーを用いて導波器を装荷した。反射器には Cu cavity の下部（コールドヘッドと同径）を利用し、反射器面積を拡大する際には切削した Cu 材を Cu cavity の下面に設置した。サンプルの冷却は小型パルスチューブ冷凍機を用いた。Fig. 2 に Vector Network Analyzer (VNA) を用いて測定した 5.1 ~ 5.2 GHz, 約 48 K における伝送効率を示す。伝送距離 0 cm の時、高温超伝導バルク共振器アンテナのみで伝送効率 22.8 % に対し、導波器を装荷した状態で反射器を拡大させた場合には 36.8 % の伝送効率を得た。反射器を拡大させた状態で導波器を装荷することが伝送効率の向上に有効であることが示唆された。詳細については発表の際に述べる。

参考文献

- [1] T. Tomura et al., IEEE Open Journal of Antennas and Propagation, Vol. 2, pp. 170-180, 2021.
- [2] K. Ehara et al., Electronics and Communications in Japan, Vol. 82, pp. 55-69, 1999.
- [3] A. Saito et al., The Japan Society of Applied Physics, Vol 8, pp. 1-3, 2015.
- [4] 荒生誠治 他, エレクトロニクス実装学術講演大会講演論文集, Vol. 20, pp. 139-141, 2006.

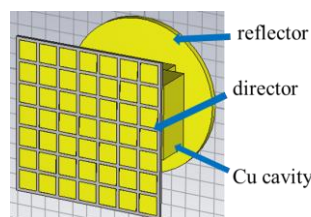


Fig. 1 Model of HTS bulk resonator antenna with director and reflector.

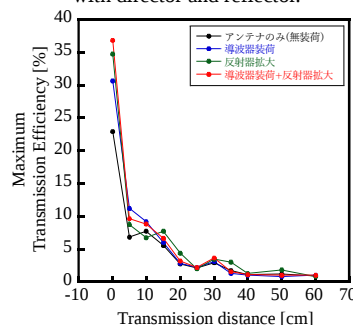


Fig. 2 Comparison of transmission efficiency with and without director and reflector.

Spiral-MKIDs アレイによる 2 次元 THz 波イメージングに関する研究

Study on two-dimensional imaging of terahertz waves with spiral-MKIDs array

山形大学¹ ○(M2) 鈴木 俊哉^{1,†}, (M1) 須賀 祐哉¹, (M2) 秋元 大輝¹,

中島 健介¹, 成田 克¹, 大音 隆男¹, 齊藤 敦^{1,‡}

Yamagata Univ.¹ ○Shunya Suzuki^{1,†}, Yuya Suga¹, Hiroki Akimoto¹,

Kensuke Nakajima¹, Yuzuru Narita¹, Takao Oto¹, Atsushi Saito^{1,‡}

E-mail: t232948m@st.yamagata-u.ac.jp[†]; ats@yz.yamagata-u.ac.jp[‡]

Microwave Kinetic Inductance Detectors (MKIDs)[1]は、超伝導の特性を利用したテラヘルツ(THz)波検出器である。我々は、同一のパターンでアンテナとマイクロ波共振器の機能を併せ持つ spiral-MKIDs を考案している[2]。これまでに、81 素子のアレイ化を実現しているが、明瞭な 2 次元イメージングは達成されていない[3]。この原因は、光エネルギーの吸収及び熱エネルギーへの変換による熱的要因と誘電体-空気の境界で発生する反射が考えられる。そこで、熱伝達防止及び誘電体-空気の反射防止の役割を果たすスリット層を追加した構造を提案した。

Fig. 1 にスリット層を追加した spiral-MKIDs の構造を示す。スリット層及び spiral-MKIDs 素子は、サファイア m 面基板上に NbN を成膜し、フォトリソグラフィと反応性イオンエッチング装置を用いて作製した。その後、これらを基板同士で重ね合わせ、スリット層有りの 2 アレイ spiral-MKIDs を作製した。NbN 薄膜の膜厚は、スリット層が約 500 nm、spiral-MKIDs 素子が約 20 nm で作製した。また、スリットの幅は共振器のみに照射されるように設計されている。その後、GM 冷凍機で素子を冷却し、Vector Network Analyzer (VNA)を用いて通過特性を測定した。Fig. 2(a) は観測している共振器のみに赤外光を照射した場合の通過特性であり、明瞭な応答を確認した。Fig. 2(b) は観測している共振器とは別の共振器のみに照射した場合の結果であり、明瞭な応答は観測できなかった。以上の結果から、スリット層の追加は THz 波照射特性に有効であることが示唆された。実験結果の詳細は講演の際に詳述する。

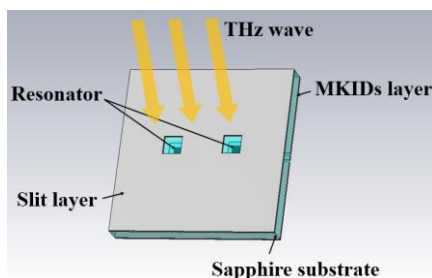


Fig. 1 Structure of spiral-MKIDs with slit layer.

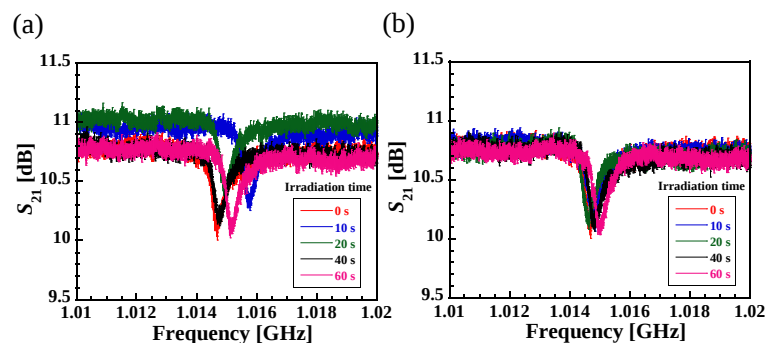


Fig. 2 S_{21} characteristics of spiral-MKIDs with slit layer irradiated only left resonator (a) and irradiated only right resonator (b).

- [1] P. K. Day, et al., NATURE, vol. 425, pp. 817-821 (2003).
- [2] S. Ariyoshi, et al., Applied Physics Express, Vol. 6, pp. 064103 (2013).
- [3] Y. Kato, et al., 第 74 回応用物理学会東北支部学術講演会, 3aB11 (2019).

マイクロ波回路シミュレータを用いた 力学インダクタンス進行波型パラメトリック増幅器の利得解析

Gain analysis of kinetic-inductance traveling-wave parametric amplifier

using microwave circuit simulator

静大院総合[○](M2)石田 壮汰¹, 武田 正典¹

Shizuoka Univ.^{1○}Sota Ishida¹, Masanori Takeda¹

E-mail: ishida.sota.19@shizuoka.ac.jp

力学インダクタンス進行波型パラメトリック増幅器(KITWPA)は力学インダクタンスの電流非線形性を利用したパラメトリック増幅器である。これはマイクロ波帯において極低雑音、広帯域幅などの優れた増幅性能が実証されており、電波天文観測分野における半導体系増幅器の代替として期待されている。

KITWPA の利得解析方法として頻繁に用いられる方法の一つに、解析対象の線路構造に対して結合モード方程式を数値解析的に解く方法がある。しかし、実際に KITWPA を動作させる際には、外部回路と伝送線路間のインピーダンス不整合によって入出力端で電気信号の反射が起き、利得の減衰や利得リップルの発生が想定される。今回、商用のマイクロ波回路シミュレータ”MicroWave Office (MWO)”を用いて Fig.1 のように伝送線路の等価回路モデルを設計し、解析を行うことでそのような外部回路との接続の影響を考慮した KITWPA の利得解析を行った。線路の等価回路モデルを設計する際、Fig.1 に示す細線部を 8 分割して L, C の値を設定している。

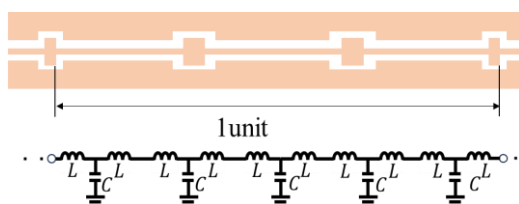


Fig. 1 Periodic structure of KITWPA (top) and its equivalent circuit (bottom). The values of L and C are set according to the line width and gap width.

解析において仮定した超伝導伝送線路は NbTiN 薄膜コプレーナ線路(CPW)で、膜厚 35nm である。また、解析において線路の損失は無視できるものとしている。設計した線路の特性インピーダンスは $Z_{\text{line}} \cong 216 \Omega$ であり、入出力端のポートの特性インピーダンス Z_{port} の変化による利得の変化を確認する。

総線路長を 0.3m、増幅のエネルギー源となるポンプ波の周波数を $f_p = 11.56\text{GHz}$ 、増幅する信号波電力 $P_s = -70\text{dBm}$ 、線路に入力するポンプ波電力は -10dBm に設定した。

解析の結果を Fig.2 に示す。線路の特性インピーダンスとの差が大きいほど利得は減衰し、大きな利得リップルが発生することが分かり、50 Ω 系の外部回路を想定する場合、さらに大きな影響が現れると予想されるが、その点については当日詳細を述べる予定である。

【謝辞】本研究の一部は、科研費 23K03955 の助成により実施した。

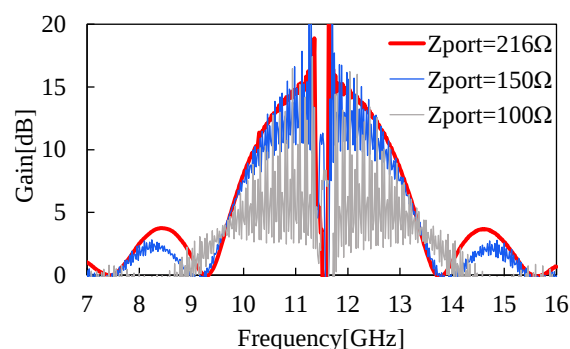


Fig.2 Results of gain analysis by MWO. The larger the difference in characteristic impedance between line and port, the more pronounced the gain attenuation and gain ripple.