

## 第 73 回応用物理学会春季学術講演会報告

### 大分類 11 超伝導

11 超伝導大分類では、12 件のポスター発表と 60 件の口頭発表があった。

#### 11.1 デバイス系 筑波大 柏木

2026 年 3 月 15 日午前の「基礎物性(デバイス系)」では、8 件の口頭発表があった。

固有ジョセフソン接合デバイスに関する研究に関しては 7 件あり、筑波大学から 3 件、京都大学から 3 件、豊田高専から 1 件の報告があった。さらに、GaAs/InAs core/shell nanowire に関するジョセフソン接合に関して理研より 1 件の報告があった。

まず筑波大の大坪らは、固有接合を用いたテラヘルツ波発振器の発振出力向上を目指した素子作製方法について報告した。具体的には、結晶とサファイア基板を金属を介した原子拡散接合にて接合し、そこからフォトリソをベースにした素子作製方法について報告を行った。筑波大の柏木らは、Bi2212 テラヘルツ波発振素子用の結晶チップ作製方法として UV レーザー加工機を用いた素子作製プロセスについて報告した。市販の UV レーザー加工機とウエットエッチングを組み合わせると結晶チップが作製可能であることを示すとともに、作製素子からテラヘルツ帯の電磁波放射が可能であることを報告した。筑波大の松丸らは、Bi2212 テラヘルツ波発振素子のアプリケーションとして、磁気共鳴測定への利用を想定しており、その際に必要となる磁気シールドに関する報告を行った。発振素子出力は外部磁界の影響を受けるため、5 テスラ程度の外部磁場をシールドするために必要なシールド構造と素子部における磁界成分の検討結果を報告した。理研の R.S. Deacon らは、GaAs/InAs コアシェル構造ナノワイヤにエピタキシャル成長したアルミニウムのフルシェルを用いたジョセフソン接合に関する特性を報告した。具体的には、上述のナノワイヤ内部に磁束を通すことで得られたリトルパークス振動の特徴やその解析結果などを報告した。京大の溝口らは、固有接合を用いたジョセフソンプラズマエミッタ(JPE)の放射スペクトルの精密評価に向けた解析方法についての報告を行なった。放射スペクトルのインターフェログラムデータの取り扱いを改善することで、スペクトルの詳細分析が可能になり、周波数変調時の発振安定性などについて報告した。京大の部谷らは、三角パッチアンテナを有する JPE 素子の放射特性に関する数値解析について報告した。具体的には、CST Studio Suite に異方的モデルを適用し、実デバイスモデリングを行い、放射周波数特性、偏光特性などを検討した。そして得られた数値計算の結果と実験結果の比較などを報告した。京大の小林らは、JPE に関して汎用シミュレータ上に実装可能な有効理論モデルの階層を Lawrence-Doniach モデルをもとに構築し、素子特性に関する検討を報告した。具体的には、異方的誘電体モデル、分布定数回路を用いた非線形電気回路モデル、接合間の緩やかな非線形相互作用を抽出した慣性付き坂口・蔵元モデルを有効理論モデルの階層とし、そこから得られる素子特性を評価した。豊田高専の及川らは、電磁波照射された固有接合内部のカオス現象を用いた乱数生成に関する報告を行った。これまでに行ってきた単一のジョセフソン接合におけるカオス及び

乱数の生成の解析を、固有ジョセフソン接合に拡張するとともに、多接合におけるカオス及び乱数生成及びその特徴について報告を行った。

### 11.1 材料系 山梨大 長尾

「基礎物性（材料系）」では、12件の口頭発表と6件のポスター発表があった。

試料作製に関する講演が11件、物性評価に関する講演が5件、理論的アプローチの講演が2件であった。ポスター会場は、午前前半であったが、多くの人で賑わった。口頭発表の会場では、一時立ち見が出るほどの盛況ぶりであった。銅酸化物超伝導体関連が6件、ニッケル系酸化物関連が3件、鉄系およびカルコゲナイド系超伝導体関連が3件、新規超伝導を含むその他の化合物が4件、ダイヤモンドアンビルセルを用いた高圧下での測定に関するものが2件であった。

注目される講演として、ダイヤモンド NV センターを用いた高圧力下での磁化測定に関する報告が2件あり、最近問題となっている高圧下での超伝導体に関するマイスナー効果の測定に一石を投じることが期待される。La-C, Ba-Na-Bi, Ti-C-N 系のような2-3元系化合物の超伝導に関する報告があった。Pr 添加 Y-247 において、Pr 置換量の増加により、ある置換量を境に超伝導転移温度が急激に低下することが観測され、現在も議論が続いている Pr-247 の超伝導が CuO 二重鎖面由来である可能性を示唆する結果が報告された。平面四配位の CuO<sub>2</sub> 面を持ち、超伝導を示す Pr<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> の X 線光電子分光および X 線吸収分光による研究から、O の状態が超伝導を示さない RE<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> と類似しており、これらの系における超伝導の振る舞いが単純ではないことが報告された。酸化・還元に対する振る舞いが異なる無限層銅酸化物超伝導体において XAFS による研究が報告された。理論的な手法により、新たなニッケル系酸化物の超伝導の可能性や新規超伝導体の探索のための第一原理計算などが報告された。超伝導候補物質である BS に高圧を印加したが 66 GPa までは超伝導にならないことが報告された。

### 11.2 関西学院大 尾崎

11.2 「薄膜，厚膜，テープ作製プロセスおよび結晶成長」では3月16日(月)午後10件のハイブリットでの口頭発表があった。合計10件の口頭発表の内、1件はオンライン講演であった。そのうちのいくつかの講演について以下に紹介する。内田(京大)らは、導電性 Sr<sub>0.95</sub>La<sub>0.05</sub>TiO<sub>3</sub>(La-STO)中間層の、厚さ方向の単位面積あたりの電気抵抗をさらに低減するため、La-STO 層を薄くすることを試みた。La-STO 層の膜厚をこれまでの 980 nm から 140 nm に薄くし、その上に周波数 24 Hz で作製した PLD-YBCO 薄膜は 2 軸配向し、Ni の拡散も確認できなかった。作製した YBCO 薄膜は 77 K 自己磁場で 1.3 MA/cm<sup>2</sup> を示したと報告した。船木(島根大)らは、KOH 融液への乾燥 N<sub>2</sub> ガスバブリングを行うことにより溶液内の酸素量を低減させ、バルク値に匹敵する高い T<sub>c</sub> を有する Nd123 膜の作製手法を検討した。原料を CuO から Cu に変え、N<sub>2</sub> ガスバブリングを行い 600°C で作製した Nd123 膜は、T<sub>c onset</sub>

~93 K を示したと報告した。八谷(九工大)らは、PLD-REBCO 成膜におけるレーザープルーム形状の制御システムの構築について検討し、レーザーエネルギーと酸素分圧によって変化させたプルーム画像から、観測プルームを目標プルームに誘導できることを明らかにした。さらに、2次元平面に表現した形状マップの最適化により精度の向上が見込め、これらの結果から、制御システムとしての有効性を見出した。畠(青学大)らは、FF-MOD 法 YBCO 膜への軽希土類置換による低濃度 RE/Ba 固溶が超伝導特性に及ぼす影響として、La, Nd, Sm, Eu などを置換させた薄膜の特性について議論した。微量ドーピングによってマトリックスの  $T_c$  は低下するものの、中温度における  $J_c$ - $B$  特性が向上することなどを明らかにした。飯田(日本大)らは、水溶性犠牲層(SAO)を利用したフリースタンディング GdBCO 膜に及ぼすバッファ層構造の影響を検討し、SAO の上層に STO, LAO の単層や、これらの積層のバッファ層を成膜することで、GdBCO の特性が変化することを明らかにした。特に、GdBCO/LAO/STO/SAO/Sub.構造の薄膜は、リフトオフ前の  $T_c$  ( $\rho$ - $T$ ) が 90 K を超え、さらにリフトオフ後でも  $T_c$  ( $M$ - $T$ ) が同等の値であることが示された。質疑では、リフトオフ後の通電特性の測定、フリースタンディング薄膜の用途などが議論された。

### 11.3 九州産業大 末吉

11.3 「臨界電流・超伝導パワー応用」では、3月17日午前に7件の口頭発表があった。北野(東農大)らは、K ドープ BaFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub> 多結晶バルク作製において、2段階放電プラズマ焼結法の印加圧力が微細組織と臨界電流密度に及ぼす影響を報告した。1段階目での印加圧力では主に結晶成長に影響を与え、2段階目の印加圧力はピン止め点となる微細な結晶歪み等の生成に影響を与えている可能性があることを示した。内藤(岩手大)らは、気相 Mg 浸透・反応法による MgB<sub>2</sub> バルク作製を簡便にするために、自製 SUS カプセルおよび B 圧粉体への MgB<sub>2</sub> のプレミックスを適用し、捕捉磁場への影響について調べた。MgB<sub>2</sub> のプレミックスにより、20 K で 2 T を超える捕捉磁場が得られることを報告した。長谷川(産総研, 東理大)らは、Rb に加えて Cs をドーピングした直接混合法 C60 バルク試料において、熱処理温度  $T_s$  を変えて  $T_c$ ,  $H_{c2}$  および  $J_c$  に与える影響を報告した。Rb<sub>3</sub>C60 と比較して、Rb<sub>2</sub>CsC60 では  $T_c$ ,  $H_{c2}$  は比較的高い値を示し、また  $J_c$  は低温かつ短時間の熱処理で最大値を示すことを示した。末吉(九産大)らは、200 MeV Au イオンを用いて、人工ピン入り高温超伝導線材の磁場中  $J_c$  特性に及ぼす影響について報告した。照射前後でピン入り線材の磁化緩和率がほぼ変わらないことから、ピン入り線材の高  $J_c$  に対してハイブリッドピン止め効果は主要因でないことを示した。大倉(阪大)らは、化学的表面活性化を利用した低温拡散接合法において最適化された REBCO 線材の接合の再現性および通電特性について報告した。前回の報告と同様の接合抵抗値が得られていることから再現性のある接合法であること、また接合部の  $I_c$  と  $n$  値に大きな劣化は見られていないことを示した。世良(九大)らは、REBCO 線材の Cu 安定化層同士の音波接合において、入力エネルギーを変えたときの接合断面の接合

／未接合領域の空間分布を直接観察し、接合形成過程の考察について報告した。接合領域が端部から内部に向けて、1 Jあたり約1  $\mu\text{m}$  で徐々に進展することを明らかにした。呉（九大）らは、TLAG法によって作製されたYとGdの組成比を変えたコンビナトリアルYGdBCO薄膜について、低温走査型ホール素子磁気顕微鏡を用いて局所的電流密度測定から評価した、局所的な臨界温度 $T_c$ について報告した。局所的な $T_c$ の評価から $J_c$ ともに $T_c$ の材料組成比依存性も求められることを示した。

#### 11.4 同志社大 堺

11.4「アナログ応用および関連技術」では、3月16日午前に4件のポスター発表、3月16日午後8時の口頭発表が行われた。

単（国立天文台）らは、Si基板上に作製した波長2 mm帯用のモノリシック二偏波サイドバンド分離SISの特性評価を報告した。その結果、RF帯においてSSRは10 dB以上を達成し、また4つの出力間のクロストークは-20 dB以下になることが示された。これらの結果よりモノリシック二偏波サイドバンド分離SISミキサの小型化と、ミリ波およびサブミリ波帯の電波天文用の大規模ヘテロダインアレイ実現の可能性が示唆された。

村山（国立天文台）らは、高空間分解能のミリ波天文観測の実現に向け300GHz帯における低雑音動作のSISミキサに関して発表を行った。3つの直列接合からなる接合アレイで構成される $\text{AlOx}$ トンネル障壁を用いたSISミキサを作製し雑音特性を評価した結果、4-9GHz帯の中間周波数で30KのDSB雑音温度を達成できたことを報告した。これは量子雑音温度の2倍に迫る雑音特性であり、接合パラメータと回路設計に基づく低雑音化の有効性を示された。

三木（情通機構）らは、高性能単一光子検出器のとして期待されているSWSPDで課題となっている応答速度の改善に向けて、矩形波バイアス動作に関する実証試験を報告した。立ち上がり時間20 ns、パルス幅10 nsの矩形波バイアスを印加し、矩形波バイアスに同期したパルスレーザ光源の入射光が矩形波バイアスの時間窓の中央で入射するようにして実験を行った結果、直流バイアス動作で必要な直列インダクタンスやシャント抵抗無しで安定動作することを確認し、出力波形のパルス幅を大幅に短縮できることを示した。

吉川（名大）らは、SSPDの動作温度向上を目指し、鉄系超伝導体のNdFeAs細線デバイスの光応答特性評価を報告した。NdFeAs細線へスイッチング電流を印加した結果、試料の不均一性が原因と考えられるダークカウントが2.3K、10Kで計測されたことを示した。また、 $I-V$ 特性を評価した結果、 $I-V$ 特性にヒステリシス挙動を観測することができたが、光子検出ができなかったことも報告された。

今野（東北大）らは、中赤外光子を高効率かつ高い時間分解能で検出できる検出器を目指し、中赤外領域で動作できるキャビティ構造を備えたSNSPDを作製して、検出効率向上に向けた光キャビティ構造の検討と最適化を報告した。ミラー層のAuとキャビティ層のSiでSiの厚さを変更することで中赤外領域の広い範囲で90%以上の吸収を確認したことが報告さ

れた。また、今回は 1550 nm で光吸収率 80%以上、転移温度 7K 以上であり、中赤外領域で広い範囲で吸収を確認できたことも報告された。

小口（埼玉大/産総研）らは、X 線検出におけるエネルギー分解能に優れる STJ 検出器について、基板からのノイズの低減に関する取り組みを報告した。これまでに、入射した X 線の大部分が基板に到達してフォノンが発生し、フォノンを STJ で検出することでノイズとなることがわかっており、STJ と基板間にバッファ層を設けノイズ抑制を試みた。その結果、Buffer 層として Ti/AuTi/SiO<sub>2</sub> を用いたもの場合にノイズが一番低いことを明らかにした。フォノンは Au で抑制されると考えられるため、SiO<sub>2</sub> の厚さの 100 nm から 50 nm に変更してその影響を調べたが、SiO<sub>2</sub> の厚さを変更してもノイズに大きな変化はなく、SiO<sub>2</sub> 層を薄くするとエネルギー分解能は低下することが示された。

### 11.5 神戸大 竹内

11.5 「接合、回路作製プロセスおよびデジタル応用」では、3/17（火）午後 15 件の口頭発表が行われた。SFQ、HFQ、AQFP 等の超伝導集積回路に関する研究が幅広く報告された。SFQ 回路に関しては、4 件の報告があった。宮嶋（NICT）らは、0.1-WGM 冷凍機のサンプルステージに置かれた SFQ 回路の発熱が回路動作に与える影響を調査した。数 100mA のバイアス電流を印加しても、サンプルステージの温度変化は 0.1 K オーダーであったが、SFQ 回路の動作マージンはバイアス電流量に応じて減少した。回路の局所的な発熱により接合の臨界電流値が減少し、動作領域が減少したと考えられる。中井（横浜国大）らは、SFQ 回路と  $\Phi$ -DAC を融合させた確率的シナプス回路を開発し、重みに応じて本回路の出力確率が変化することをシミュレーションにより示した。Stochastic computing ベースのニューラルネットワークへの適用可能性が示唆された。富高（横浜国大）らは、磁束逆流を防ぐエスケープ接合を追加した超伝導乱数生成器を開発した。また、遅延素子と DFF を追加することで遅延時間の分散を抑えた。その結果、乱数生成器の最高動作周波数を 35 GHz から 60 GHz に改善した。金（横浜国大）らは、超伝導乱数生成器を用いた確率的ビットのネットワークを用いて、2-SAT 問題の解探索が可能であることを示した。HFQ 回路に関しては、2 件の報告があった。富田（名大）らは、HFQ 回路用のプロセス（Nb/PdNi/Nb 構造の  $\pi$  接合を集積）を開発し、HFQ 論理ゲートの動作実証を行った。実験で得られたバイアスマージンが想定より大幅に上側にシフトしたが、詳細な検討により、パラメータのずれに起因することが報告された。稲垣（名大）らは、HFQ 回路におけるジョセフソン接合の高  $\beta_c$  化に関する検討を行った。HFQ 回路のスイッチ素子である  $0-\pi$  SQUID では、片側の接合による実効的なダンピングにより、高  $\beta_c$  条件においてもプラズマ振動が減衰しやすく、安定動作が可能であることが示された。AQFP 回路に関しては、6 件の報告があった。柏木（横浜国大）らは、AQFP 回路の入力オフセットの分布を実験により調査した。励起電流の印加方法を工夫することで、内部要因（素子ばらつき）と外部要因（磁束トラップ）を分離して分布を求めることに成功した。山栄（産総研）らは、遅延線クロッキングにより駆動される AQFP 回路にお

いて、パイプライン処理を行うための回路構成を検討した。簡単なパイプライン回路の動作テストを行い、数 GHz のクロック周波数における動作が報告された。羽鳥（埼玉大）らは、MKID の読み出しに向けた AQFP ベースの AD 変換器を開発し、数値シミュレーションにより正弦波のサンプリングを報告した。田崎（横浜国大）らは、TES の読み出しに向けた AQFP ベースのランプ比較型 AD 変換器を開発し、サブ  $\mu\text{A}$  の分解能が実現可能であることをシミュレーションにより示した。また、コンパレータ部分の動作実証について報告した。棚岡（横浜国大）らは、AQFP ゲート間の rfSQUID に直流磁束を印加することで、Buffer および Inverter の機能を切り替えられる回路構成を示した。竹越（横浜国大）らは、CMOSAD 変換器と AQFP 回路を組み合わせた Stochastic 数生成器を開発し、DAC の内部状態に応じて出力確率分布を制御できることを実験により示した。上記以外にも、 $\pi$  接合を用いた非対称磁束伝送回路の解析、窒化物超伝導トランズモン量子ビットのコヒーレンス測定、超伝導 Nb 表面酸化膜除去に向けたフッ化反応系の調査と条件最適化について報告された。