

2026 年第 87 回応用物理学会秋季学術講演会報告

大分類 11 超伝導

11 超伝導大分類では、51 件のポスター発表と 96 件の口頭発表の合計 147 件の発表があった。

11.1 デバイス系 筑波大 柏木

2026 年 9 月 8 日(火) 午前の「基礎物性（デバイス系）」のセッションでは、合計 13 件の報告があった。

内訳としては、固有接合デバイスに関する研究が 11 件（京大、産総研、宇都宮大、筑波大、豊田高専）、超伝導・常伝導接合における Andreev 反射過程に伴う非平衡準粒子に関する研究が 2 件（電気通信大）であった。

プログラム順に発表内容をまとめると以下のようになる。

まず、京大、産総研グループより固有接合デバイスに関して 3 件の報告があった。部谷らにより、三角パッチアンテナを有する超伝導テラヘルツ高原の数値解析による構造最適化について報告があった。続いて、杉本らにより、Bi2212 ジョセフソンプラズマエミッターにおける周波数変調スペクトルの変調振幅依存性の報告があった。続いて、溝口らにより、ジョセフソンプラズマエミッターの周波数変調を用いた緩和時間の解明について報告があった。その後、産総研、宇都宮大グループより固有接合デバイスに関して 3 件の報告があった。辻本らは、極微細レーザー直接加工法による Bi-2212 ジョセフソンプラズマエミッターの作製について報告した。櫻井らは、極微細レーザー直接加工とシャドーマスク蒸着を用いた新規 Bi-2212 ジョセフソンプラズマエミッターの作製について報告を行った。山口らは、極微細レーザー直接加工法による Bi-2212 ジョセフソンプラズマエミッターアレイの作製と高出力化について報告した。

休息の後に、筑波大学グループより固有接合デバイスに関する発表が 4 件続いた。橋本らは、高温超伝導体テラヘルツ発振器の共振モード制御に向けた研究について報告した。小林らは、Bi2212-THz 波発振器の発振出力と熱処理条件に関する研究の報告を行った。大坪らは、高温超伝導体 Bi2212 単結晶を用いた THz 波発振素子の高出力化に向けたパッチアンテナ型素子作製方法に関する研究について報告した。大村らは、パルス電圧駆動 Bi2212-THz 波発振器のイメージング応用について報告した。その後、豊田高専の及川らにより、固有接合におけるカオス発生条件の理論的予測の報告があった。

ここまでの固有接合に関する報告であり、続く 2 件は電気通信大グループより超伝導・常伝導接合における Andreev 反射過程に伴う現象の報告があった。永元らは、超伝導・常伝導接合における Andreev 反射過程に伴う量子放射の検出について報告を行った。島田らは、超伝導・常伝導接合における Andreev 反射過程に伴う非平衡準粒子生成について報告した。

以上、固有接合デバイスに関しては、テラヘルツ波発振素子の作製方法、その動作原理の理解や解析、応用に向けた展開などの報告がなされた。また、超伝導回路における非平衡準

粒子による準粒子汚染の可能性に関する検討として、超伝導・常伝導接合における Andreev 反射過程に伴う非平衡準粒子について報告がなされた。

11.1 材料系 山梨大 長尾

「基礎物性（材料系）」では、28 件の口頭発表があり、想定の間隔ではおさまらず、初日夕方の遅い時間と 2 日目全日にわたりセッションが行われた。

講演内容は、酸化物、 MgB_2 およびカルコゲナイド化合物の合成、薄膜を用いた超伝導の発見、ジョセフソン接合関連、酸化物系超伝導体の理論、磁場配向、新しい測定装置の開発と多岐にわたった。両日とも会場は満員で、二日目は立ち見が出る盛況ぶりであった。

注目される講演として、表面弾性波をジョセフソン接合に照射するという新しいアプローチが紹介され、今後の進展が期待される。 BiS_2 系層状超伝導体に Sn を添加し、 Nd を置換することで T_c が 8 K まで上昇することが報告された。炭素系物質である BC_3 にアルカリ金属をインターカレーションすることで高い T_c が出現する可能性が理論的に報告された。最近活発に研究されているニッケル系酸化物についての理論的な研究が多く報告され、銅酸化物との比較や無限層構造において様々な超伝導体化合物の提案がなされるとともに、化合物としての安定性についても議論された。非超伝導体である La_2NiO_4 にプロトンを導入する研究や Ni サイトを Zn で一部置換することで、3d 電子の状態を調整し、超伝導化を試みる研究等が報告された。高い T_c が報告されている $\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$ の La サイトを複数の希土類元素で置換した単結晶を 1 気圧下で育成する研究が報告された。最近、高い圧力を印加することで高い T_c の化合物が多く報告されており、これを実現する際に用いられるダイヤモンドアンビルセル(DAC)で X 線回折を行うことができる卓上の装置開発が報告された。銅酸化物 247 相にわずかに Zn を添加すると T_c が消失し、超伝導層 CuO_2 およびチェーン層 CuO の両方に Zn が入ってしまうことが報告された。Eu-123 銅酸化物超伝導体の単結晶において酸素拡散を促進するに当たり、水分の添加が有効であることが報告された。123 系銅酸化物超伝導体の磁場配向において、印加磁場の首振り角度が配向に大きな影響を与えることが報告された。

基礎物性（材料系）に関連するポスターでは、銅酸化物、ニッケル酸化物、鉄系、カルコゲン、炭素系と様々な物質を扱った合成、測定の報告があった。カルコゲンの単結晶をフラックス法で育成する際のフラックス選択の指針として生成エネルギーに着目した研究が報告された。

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、9 月 9 日(水)午後に 18 件のオンサイトでのポスター発表と 9 月 10 日(木)午前・午後に 23 件のハイブリットでの口頭発表の合計 41 件の発表があった。そのうちのいくつかの講演について以下に紹介する。長

谷川（東理大・産総研）らは、アルカリ金属ドーピングしたフラーレン超伝導バルクを調査し、20 K・高磁場下で鉄系超伝導体や MgB_2 に匹敵する粒間 J_c を実現した。金属カプセル封入により大気中での特性劣化を抑制する効果がみられたが、アルカリ金属の秤量の難しさに起因して、 T_c などの再現性の確認が課題と報告された。川江（金沢大）らは、水リフトオフ法による Bi2212 薄膜の微細加工を報告した。10 μm 幅のパターン形成に成功し、THz 発振デバイスなどに向けた低ダメージ微細加工技術としての可能性を検証した。「水ジェットで Bi2212 試料表面は劣化しないのか?」「加工エッジ部に Bi が拡散する傾向は Bi2223 でも同様か?」などの質問があった。土屋（東北大）らは、定常磁場・定常電流及びパルス磁場・パルス電流による磁場中測定環境の変遷について紹介し、今回開発した 100 msec 幅のフラットトップを有するパルス磁場下における 1 kA 級パルス電流による評価結果を解説した。そして、定常磁場・定常電流と比べると多少の誤差はあるが、強磁場・大電流での測定が可能となったことが示された。なお、試料の固定にはミネラルオイルを使う工夫がなされていた。市川（都立大）らは、Sn-Pb ハンダの磁束トラップについて報告した。Pb 中 Sn が微細に分散した超伝導ハンダに意図的に磁束を加えることで I_c が増加する現象に着目した。Pb と Sn が常伝導時に侵入した磁束が Pb と Sn の異なる T_c と臨界磁場のために超伝導転移後に磁束をトラップすることで、通電時に発生する自己磁場の侵入を妨げる。これによって I_c が上昇するとのモデルを示した。徳重（青学大）らは、単一方向結晶成長法 (SDMG 法) による REBCO バルクへの非超伝導酸化物 AEZrO_3 ナノ粒子 (AE: アルカリ土類金属) の添加効果について報告した。バルクの臨界電流密度の向上には、有効なピン止め中心として機能する $\text{RE}_2\text{BaCuO}_5$ (RE: 希土類元素) 粒子の微細化と均一分散が重要であり、酸化物微粒子の添加が有効であるとされているが、その分散機構や酸化物微粒子の作用には不明な点が残されている。そこで、 AEZrO_3 ナノ粒子を添加し、バルクの微細組織と超伝導特性への影響を検討した。

11.3 産総研 山森

2026 年 9 月 9 日の「アナログ応用および関連技術」では、午前および午後に合計 17 件の口頭発表が、午後に 8 件のポスター発表が行われた。超伝導薄膜・実装、共振器、各種検出器、増幅器、SQUID 磁気計測、ジョセフソン電圧標準に関する幅広い報告があった。

山森（産総研）らは、機械学習モデル上の仮想実験と追加成膜を繰り返し、NbN 薄膜の超伝導相形成条件と臨界温度を高める条件を効率的に探索し、最高 $T_c = 16.2\text{ K}$ の膜を得た。島田（埼玉大）らは、超伝導デバイスの高密度三次元実装に向け、ナノ粒子堆積法による微細円錐 Al バンプを作製し、Al 膜が 1.6 K で超伝導転移することを確認し超伝導バンプを実現した。中村（埼玉大）らは、誘電体が損失の原因であることから誘電体のない構造を提案し、チップ分離型中空超伝導共振器について、結合条件と内部損失の関係を評価し、高抵抗基板で $Q_i = 3.05 \times 10^4$ の最大値を得た。亀井（理研）らは同構造の共振周波数と Q 値の温度依存性を解析した。Nb の T_c に近い温度まで共振構造を確認した。安齋（埼玉大）らは、LEKID

の 45 度回転ミアンダ構造の位置依存性について、フォノン伝搬モデルを実測分布と比較し、膜の配置領域ごとに減衰を扱う必要性を示した。佐藤（埼玉大）らは、MKID の共振器およびキャパシタ構造を最適化し、集中定数型では分布定数型に比べ 1 Hz におけるノイズを約 1 桁低減できることを報告した。

武藤（埼玉大）らは、Nb/Al 型 STJ 検出器の微細化と歩留まり向上に向け、Al 層の塩素系ドライエッチングプロセスを検討した。従来と同程度の約 1 nA のリーク電流を維持しつつ、歩留まりにおいて従来の 95 % から 100 % の向上を実現できた。小野（埼玉大）らは、STJ ごとに分離した島型 Buffer 層を提案し、Si 基板中のフォノンに由来するノイズの低減効果と島型のサイズ依存性を評価した。田中（静岡大）らは、Fishbone 型伝送線路を用いた NbTiN 力学インダクタンス進行波型パラメトリック増幅器を作製し、最大 8 dB の利得を確認した。鵜澤（国立天文台）らは、二つの SIS ミキサと 150 GHz ジョセフソンアレイ発振器を集積した増幅器チップを作製し、両コンバータへの局部発振信号入力を確認した。勅使河原（名大）らは、FIB 加工した微小超伝導試料を SQUID ループ上に直接集積し、時間反転対称性破れに伴う自発磁場の検出を目指す局所磁気測定系を構築した。穀山（産総研）らは、デジタル位相計を用いてマイクロ波 FM 信号の変調波形を精密評価し、設定値に対する変調振幅の偏差を約 0.5 ppm の水準で検出するとともに、160 dB 以上のスプリアスフリーダイナミックレンジを確認した。

酒井（立教大、産総研）らは、SNSPD の hot spot 形成後に秩序変数が振動を伴って緩和する過程を数値解析し、少数自由度の現象論モデルで記述した。秩序変数は振動減衰 r 、振動の周期変化 q の 2 指標で整理できることを見出した。松浦（埼玉大）らは、LEKID の線幅を 4 μm から 8 μm へ拡張してもエネルギー分解能の著しい劣化が見られず、検出面積を拡大できる見通しを示した。鈴木（北里大）らは、Ti/Au 二層薄膜 TES の高精度な Tc 制御を目的として、アニールによる転移温度変化を、膜表面および STEM 観察による界面の微細構造と関連づけて検討した。野村（東大）らは、TES 型 X 線マイクロカロリメータの応答速度を改善するために、1 枚の基板で異なるメンブレン厚の試料を作製し、熱コンダクタンス、時定数、エネルギー分解能の関係を評価したところ、理論的予想とは異なる興味深い結果が得られた。宇野（東大）らは、太陽アクシオン探索用 TES の開発において、強磁性体である ^{57}Fe 吸収体を TES から離して Au 熱パスで接続するサイドカー型 TES を開発し、磁気的影響と熱応答を検討した。

午後のポスター講演では、牧瀬（国立天文台）は、窒素流量による TaN 薄膜の相制御を行い、Ta-rich な金属相、超伝導性を示す立方晶 TaN 相、N-rich な高抵抗相を同一材料・同一プロセスで作分け、SIS ミキサ周辺回路へ応用できる可能性を示した。小沢（理研）らは、Al-In バンプの表面活性化接合における FAB 処理時間と接合抵抗の関係を調べ、酸化膜除去の効果と過剰処理による界面劣化を議論した。野村（茨城大）らは、金薄膜で被覆した YBCO コプレーナ線路の高周波伝送特性と力学インダクタンスの温度依存性を評価した。田上（静岡大）らは、損失と外部回路を含む KITWPA の回路シミュレータ解析を行い、

伝送損失およびインピーダンス不整合が利得へ及ぼす影響を示した。成瀬（埼玉大）らは、ジョセフソン接合の非線形性を用いた進行波交差 Kerr 相互作用により、光子数を非破壊測定する広帯域方式を提案した。楠美（名大）らは、非従来型超伝導体を SQUID ループの一部として組み込み、その内部位相を検出する方法を提案した。その実現に向け、ループの一部を切断した DC-SQUID を作製した後、FIB 誘起堆積によって切断部を閉じ、周期的な磁場応答から SQUID としての動作を確認した。渡邊（宇都宮工大）らは、非正弦的な電流位相関係をもつジョセフソン接合の高周波応答を数値解析し、高次および分数シャピロステップなど通常とは異なる応答ならびにカオスの発現・抑制の条件も調べた。平間（防衛大）らは、R 面サファイア基板上にエピタキシャル成長した Nb を下部電極とする Nb/Al-AlO_x/Nb 接合を作製し、上部 Nb の成膜温度依存性を評価した。上部 Nb を 300°C で成膜した接合では、1 K でギャップ電圧 2.7 mV を示し、サブギャップリークの小さい良好なトンネル特性が得られた。エピタキシャル Nb を用いた接合形成および上部電極成膜温度の影響を考える上で興味深い結果である。

11.4 東北大 竹内

11.4「接合、回路作製プロセスおよびデジタル応用」では、9/10（木）午後に 15 件の口頭発表が行われた。このうち前半では、超伝導量子ビット、量子コンピュータ周辺回路の作製・設計、アナログ計算による量子ゲート動作の再現、REBCO 線材の接合技術、超伝導回路用抵抗材料などに関する 7 件の報告があった。超伝導量子ビットおよび量子コンピュータ周辺回路に関しては、4 件の報告があった。【10p-A24-1】金（NICT）らは、NbN/AlN/NbN 接合を用いた全窒化物トランジモン量子ビットについて、作製プロセス、デバイス構造、パッケージの最適化を行った。TiN 共振器の採用などによって誘電体損失を低減し、エネルギー緩和時間 T_1 が 800 μ s を超えることを実証した。全窒化物エピタキシャル超伝導量子ビットにおいて、大幅なコヒーレンス特性の向上が示された。【10p-A24-2】才田（富士通量子研）らは、希釈冷凍機の MXC ステージへの周辺回路集積を想定し、低消費電力動作に適した $J_c = 0.1$ kA/cm² の Nb 2 層配線プロセスを開発した。ジョセフソン接合を 3 μ m 角に大型化することで寸法ばらつきの影響を抑えることを目指し、1000 個の接合を直列接続した回路でショートやサブギャップリークのない I-V 特性を確認した。また、遺伝的アルゴリズムを用いて、プロセス変動を考慮しながら TWPA の回路パラメータおよび動作点を自動最適化する手法を示した。【10p-A24-3】菊池（東大）らは、固定周波数トランジモン量子ビットの高精度な周波数設計に向けて、ジョセフソン接合から見た環境インピーダンスを考慮した回路モデルを検討した。有限要素法による電磁界シミュレーションから環境インピーダンスの自己共振モードを取り入れることで、高励起準位のスペクトルに対するフィット誤差の中央値を従来モデルの約 2.9 MHz から 29.1 kHz まで低減した。kHz 精度でのトランジモン周波数設計には、単純なシャント容量モデルだけでなく、寄生モードを含む環境インピーダンスの評価が重要であることが示された。【10p-A24-4】松野（有明高専）らは、超伝導 2 量子

ビット系のハミルトニアンに基づく時間発展をアナログコンピュータ LUCIDAC 上に実装し、CNOT ゲート動作の再現を試みた。2 量子ビット状態を表すシュレーディンガー方程式をアナログ回路として構成し、入力状態 $|10\rangle$ から出力状態 $|11\rangle$ への遷移など、CNOT ゲートに対応する動作を再現した。また、量子ビットの重ね合わせ状態を用いることで、エンタングル状態に対応する時間発展もエミュレートできることを示した。YBCO 線材の接合技術に関しては、2 件の報告があった。【10p-A24-5】大倉（阪大）らは、化学的表面活性化接合法により作製した 2 枚積層 YBCO 導体について、Face-to-Face 構造と Face-to-Back 構造における電流分流特性を比較した。Face-to-Face 構造では、一方の線材へ優先的に電流が流入した後、通電電流の増加に伴って上下線材間で電流が再配分されることが示唆された。一方、Face-to-Back 構造では異なる電圧分布が得られ、Hastelloy 基板を含む積層配置が分流特性に影響することが報告された。【10p-A24-6】同じく大倉（阪大）らは、化学的表面活性化接合法による YBCO 線材接合の界面抵抗について、4.5~50 K、0~5 T における温度・磁場依存性を評価した。接合界面抵抗率は温度低下とともに減少する金属的な温度依存性を示した。20 K 以上では磁場の増加に伴って界面抵抗が増加した一方、4.5 K および 10 K では磁場依存性が比較的小さいことが示された。高磁場マグネットや核融合機器での使用を想定した低温・強磁場環境下での接合特性に関する基礎データが得られた。【10p-A24-7】小椋（名大）らは、低消費電力 SFQ 回路のシャント抵抗材料への応用を目的として、Pd89Ni11 薄膜の低温抵抗特性を評価した。膜厚 36 nm の Pd89Ni11 薄膜では、温度低下とともに抵抗が減少し、8 K 以下でほぼ一定となった。低温での抵抗率は約 $3 \times 10^{-7} \Omega \text{m}$ であり、超伝導回路で用いられる Mo 薄膜や Pd 薄膜と比較して、それぞれ約 3.1 倍、6.3 倍高い値を示した。また、4.2 K から 300 mK まで顕著な抵抗変化は観測されず、極低温超伝導回路用の高抵抗材料としての可能性が示された。

後半セッションでは超伝導デジタル回路などに関する 8 件の発表があった。【10p-A24-8】外山（名大）らは、 π 接合を利用した磁束伝送回路の段数による伝送係数とインダクタンスの関係のシミュレーション結果を示し、作製誤差に強い条件を示した。【10p-A24-9】上野（横国大）らは、SFQ 回路をニューロモルフィックコンピューティングに応用することを目的とし、提案する回路に 2 つの信号を周波数を変えながら入力し線形分離不可能な論理演算が可能であることを示した。【10p-A24-10】富高（横国大）らは、超伝導乱数生成器の遅延時間を実デバイスで評価するために DFF 回路を利用した回路設計を提案しそのシミュレーション結果を発表した。【10p-A24-11】成田（横国大）らは、SFQ 回路を用いたストカスティック演算に必要な乱数生成回路へ、パルス発生確率をバイアス電流値ではなくクロック周波数で制御できる動作点自己調整機能を導入し、従来方式との性能比較をシミュレーションで示した。【10p-A24-12】中井（横国大）らは、AQFP や RSFQ 回路を人工ニューラルネットワークへの応用するために、磁束量子メモリを統合した SSFQ クロスバー回路を提案し、その回路の電流バイアスと磁束バイアス時の重み制御の出力結果を比較した。【10p-A24-13】桑原（電通大）らは、超伝導カレントステアリングスイッチの漏れ電流の問題を解決す

るために差動動作する超伝導 DAC 回路を提案し、その静特性を報告した。【10p-A24-14】清水（横国大）らは vortex-antivortex ダイナミクスを測定するために 2 次元ジョセフソン接合アレイ回路を利用することを提案し、シミュレーション結果を示した。【10p-A24-15】牧野（横国大）らは SFQ 回路のデバイス固有 ID を生成するために多段化した NDROC 回路を提案し、ウェハ上のローカルな作製誤差に対しても各チップに固有な出力結果を得られることを示した。