

2018年 第79回応用物理学会秋季学術講演会 大分類11「超伝導」報告

11.1「基礎物性（材料系）」では、13件の講演（ポスター講演除く）があった。希土類系高温超伝導3件、新超伝導体探索5件、鉄系関連超伝導体5件であった。エピタキシー技術に代わる三軸結晶配向技術である磁場配向法の材料化研究に進展が見られたほか、鉄系超伝導の本質的物性や臨界電流特性に迫る講演があった。特に、新超伝導体の探索にマテリアルインフォマティクス的手法を取り入れ実証した講演もあり、経験に頼っていた物質探索の分野に新しい風穴を開ける講演会となった。

「基礎物性（デバイス系）」においては8件の発表があった。内訳は、固有接合関連が6件の他にMgB₂接合1件、スピン偏極超伝導電流に関する実験が1件であった。

固有接合からはテラヘルツ発振現象の理解ならびに発振出力向上のために素子作製、素子形状の制御、発熱特、偏光特性、電流注入依存性などの観点から調べた研究結果について報告され議論が行なわれ、MgB₂からはジョセフソン接合用トンネルバリアの性質について磁場中特性やTEM観察から調べた結果について報告があった。スピン偏極超伝導電流の生成実験に関しては、Cr(反強磁性金属)/Fe(強磁性金属)界面に生じるスピングラス状態に生じる不均一な磁場を利用することで高効率に平行スピンのクーパー対の生成可能であることが報告された。また、提案された手法は従来と比べて簡便であり、今後の進展が楽しみである。

11.2「薄膜、厚膜、テープ作製プロセスおよび結晶成長」のセッションでは口頭発表12件とポスター発表14件の計26件の講演が行われた。内訳はRE-Ba-Cu-O線材5件、RE-Ba-Cu-O膜のピンニング3件、コーテッド線材の基材・中間層4件、REBCO及びBi系線材のジョイントが4件、MOD法によるREBCO膜4件、Fe系膜・Ti膜・無限層・MgB₂膜・Nn膜・Bi系膜6件であった。セッション会場は座席数が80席ほどで、聴講者は50名程度であった。会場の大きさとしては適切なサイズであった。本セッションにおけるトピックスは、(1)REBCO線材作製プロセスとピン材料、(2)酸化物超伝導線材接続、(3)REBCO線材中間層、(4)Fe系超伝導薄膜および転移端センサーに大別できる。(1)について、REBCO線材の低コスト化を目的とした高速成膜プロセスについて、Ba-Cu-O液相を用いたREBCO膜のVLS成長モードによって、28 nm/sの成膜レートで高品質なREBCO膜の作製を可能としたことが報告された。また、長尺線材作製時の均熱温度範囲と基板搬送速度に対して、臨界電流の妨げとなるa軸配向領域の生成を、表面観察などから検討したことが報告された。ピン止め点として有効な積層欠陥の生成機構について、第一原理計算を用いて検討され、123層にCuO層が挿入されることで積層欠陥が生成される反応モデルで生成エネルギーが低いことが明らかにされた。修飾ターゲットを用いたPLD法によって、金属基板上に様々なBaHfO₃添加量でYBCO膜を作製し、添加量と超伝導特性について報告された。(2)について、GdBCO線材上にGdBCO前駆体膜を成膜し、熱処理温度、酸素分圧、印加圧力をパラメータとして接続条件の最適化について報告された。低酸素分圧、高温、高圧力下ではGdBCOが分

解し、液相が生成していることが透過電顕観察より明らかにされた。また、接続部に生じる空隙について透過電顕を用いた詳細な観察についても報告された。また、KOH 蒸気を用いることで、525°C という比較的低い温度でも超伝導接続が可能であることが報告された。低温接続のメリットは非常に大きいため、接続部の T_c はまだ低いものの、今後の発展が期待される。Bi2223 線材と Nb-Ti 線材を超伝導ハンダを用いて接続し、ハンダ組成 (Pb, Sn, Bi) が接続部の I_c に与える影響について報告された。(3) について、REBCO 線材の低コスト化のために導電性中間層を用い、基材に安定化材の機能をもたせる検討について報告された。Dy ドープ STO を導電性中間層材料としたときの成膜温度や後熱処理条件が中間層の抵抗率に与える影響について報告された。また、Nb ドープ STO 導電性中間層について、透過電顕による詳細な微細構造観察が報告され、基材が酸化しないために必要な中間層膜厚が明らかにされた。(4) について、FeSe 膜に STO を添加すると STO がナノロッド状に成長することが報告された。STO 添加量が 60% を越えると絶縁性になること、Sr が FeSe 内に取り込まれている可能性が示唆された。また、超伝導転移端センサー材料として Ti を用いる際に必要な積層構造と複素屈折率のシミュレーションの妥当性について報告された。

11.3 「臨界電流・超伝導パワー応用」では 9 月 19 日の午前に 4 件のポスター発表があった。希土類系およびコート線材系で 3 件、磁束線可視化で 1 件であった。また 9 月 19 日午後には 15 件の口頭発表があった。希土類系およびコート線材系で 9 件、接合で 1 件、Bi2223 で 1 件、電磁現象解析で 4 件であった。希土類およびコート線材の発表は多数を占めているが、内容は多岐にわたっており、基礎から応用に至るさまざまなトピックを扱っている。たとえば、東北大の美齊津らはコート線材曲げをおこなって高温でアニール処理をすることにより線材長手方向に a 軸を揃えることをおこなって、さらに超伝導特性のひずみ効果を測定して報告した。まだ再現性とか問題があるようであるが新しい手法であり、今後の展開が期待される。また縦磁界効果に注目した研究や、超伝導ダイオードなど着実に進展があり、新しい応用が期待される。超伝導接合や常伝導接合による線材の長尺化が大きな話題になっているなか、Bi 系および RE 系での接合の報告があり、今後は多くの報告があると考えられる。また電磁現象解析では内部エネルギー、対破壊電流、交流損失、時間依存 Ginzburg-Landau 方程式など種々の報告が継続的に行なわれており、実験研究との連携など発展があると考えられる。最後になったが、今期の講演では「講演奨励賞受賞記念講演」が名古屋大学の土屋雄司氏によって行なわれた。応用で重要となる低温強磁場中での Sm 系薄膜のピンニング特性について詳細にまとめられており、聴き応えがあった。

11.4 「アナログ応用」では、9/20(木)の午前 7 件、午後 14 件の発表が行われた。午前のセッションでは SQUID に関する発表が行われ、建築物検査や環境測定、医療検査など、様々な実用化における課題の克服に関する報告がなされた。SUSTERA からは、高温超伝導体 SQUID に対して、減圧液体窒素デュワー容器適用を試み、橋梁検査等の高ノイズ環境での高スルーレート化の検討を行った。その結果、75K 近傍で温度制御が可能であることを確認し、しかも液体窒素の保持時間も、減圧しない場合と同程度であることを明らかにした。金沢工

大からは、自然環境に伴う地磁気変動の高感度モニタリングへの応用について、野外 SQUID 計測における課題のひとつである（回転）振動についての報告があり、角度 ± 0.1 度で振動すると磁場変動は約 180pT するが、防振ゴムをダンパーとして入れることが振動ノイズの除去に有効であることが示された。また九大からは、乳がん検査への応用を目指した磁気粒子イメージングに関する発表がなされ、マルチ検出コイルの改善による位置推定精度の向上を測った結果、鉄含有量がことなる 2つの磁気粒子サンプル位置を、5mm 以内の誤差で推定することに成功したことが報告された。午後のセッションでは様々な検出器とその周辺技術、受信機、接合作製プロセスや実装技術など、極めて幅広い内容の発表が行われた。NICT からは、量子ビットに向けた TiN マイクロ波共振器の特性評価に関する報告がなされ、共振周波数に対する力学的インダクタンスの重要性について示された。同じく NICT から、低ジッタな超伝導単一光子検出器と超伝導論理回路を組み合わせた光子同時計数器を作製し、約 32ps の極めて小さいジッタを得たほか、古典光による光子干渉実験に成功したという報告がなされた。産総研からは、バイオイメージングに向けた TES 単一光子顕微鏡に関し、可視光から近赤外での応答特性・検出効率の評価を行った結果、広い帯域で 20%以上の検出効率が得られた旨が報告された。同じく産総研から、TES アレイの多ピクセル化に向けてハウジングやファイバーの取り回しが容易な MT コネクタ結合型構造の実証や、TES アレイの信号の多重化読み出し（可視光用 TES に適用するのは世界初）に関して報告された。国立天文台からは、ALMA 望遠鏡 Band10 レシーバのアップグレード対応に向けて、広帯域化・低雑音化に取り組み、その結果高臨界電流密度（30kA/cm²）の Nb/AlN/Nb 接合により、雑音温度仕様を達成した旨が報告された。

11.5「接合，回路作製プロセスおよびデジタル応用」では、従来のジョセフソン接合で構成される回路の他に、磁性ジョセフソン接合を用いた回路や量子ビットに関する研究があり、この分野の研究の広がりを感じさせるセッションであった。講演件数は口頭発表が 11 件、ポスター発表が 2 件であった。名古屋大学からは、超伝導位相を π だけ変化させる特徴を持つ磁性ジョセフソン接合を用いたデジタル回路や量子ビットに関する発表があった。いずれも従来技術に対して電力や動作安定度の観点から優位性があると考えられる。研究は始まったばかりの印象ではあるが、今後の研究の発展に大きな期待が持てる発表であった。横浜国立大学からは量子磁束パラメトロン素子を用いた加算器の可逆動作に関する発表があった。このような規模の回路で明確に可逆動作実証が行われた初めての例として、注目すべき発表であった。量子磁束パラメトロンを用いたデジタル回路に関する研究は複数あり、体系的な研究が行われることにより量子磁束パラメトロンの得意不得意な応用を明らかにし、キラーアプリケーションが提示されるとより注目を集められる印象を受けた。本セッションで取り扱う内容も年々幅広くなっており、超伝導量子ビットの研究などで新たな研究グループの参加も期待できる。

本報告は、堀井滋（京都大学）、加藤孝弘（矢崎総業）、一野祐亮（名古屋大学）、小田部 荘司（九州工業大学）、山下太郎（名古屋大学）、各氏の協力により作成したものです。