

第 82 回応用物理学会秋季学術講演会報告

大分類 11 超伝導

11.1「基礎物性（材料系）」では、15 件の口頭発表があった。

銅酸化物超伝導体関連 7 件、鉄系超伝導体関連 4 件、層状ダイカルコゲナイド関連 2 件、ダイヤモンドアンビルセルによる新しい合成・計測装置の開発等に関するもの 2 件であった。

層状ダイカルコゲナイドへのインターカレーションに関する研究報告が 2 件あった。超伝導体を人工超格子から設計するという独自の手法によって高い超伝導転移温度が実現できる可能性について報告があり、高温超伝導体を探索する上での新たな手法として期待される。K の存在によって作製が難しい(Ba, K)Fe₂As₂ の薄膜をバッファ層を用いることで、結晶性の高いものが得られたという報告があった。バイクリスタル基板上に Fe(Se,Te)薄膜を作製し、粒界の接合角依存性について系統的に調べたという報告があった。極薄膜において高い超伝導転移温度が報告されている FeSe についてパルスレーザー堆積法によって薄膜の作製に成功したという報告があった。Fe(Se,S)において S を置換することで生じる面内歪によって磁気転移点に変化が起こることが報告された。ダイヤモンドアンビルセル内で、圧力を印加し、加熱ができ、電気抵抗の測定ができる装置や電気抵抗測定と X 線回折測定が同時に行える装置に関する報告があり、超高压下でのその場(in-situ)測定の敷居が大きく下がることが期待される。圧力合成によって CuSr₂CaCu₂O_{7-δ} の良質な試料が得られたという報告があった。Y-124 に Ca と Sr を置換し、超伝導転移温度等の特性を系統的に調べたという報告があった。銅酸化物や MgB₂ を作製する際の熱処理前の粉末に圧力を印加することで、より稠密な試料が得られるという報告があった。Eu-123 単結晶を含水蒸気酸素雰囲気中で熱処理することで、酸素拡散が高速化し、これが試料内に生じる積層欠陥によるものであるという報告があった。Dy-123 に 10T の間欠回転磁場を印加した試料について、透過電子顕微鏡によって配向していることを直接観測したという報告があった。Pr-247 の NMR スペクトルをより高精度に測定することに成功し、CuO₂ 面が超伝導に寄与していないというより確実な証拠が報告された。

銅酸化物と鉄系を中心に様々な議論が活発に展開された。また、最近注目されている超高压下での超伝導研究について、これを大きく進展させる可能性のある装置開発や人工超格子を用いた超伝導体の設計といった超伝導研究の新たな手法に関する研究も報告され、実りのある講演会であった。

11.1「基礎物性（デバイス）」では、Bi 系固有接合関連およびジョセフソン電流の磁場依存性に関する 7 件の口頭発表があった。固有接合関連の発表はすべてテラヘルツ放射に関係する報告であり、結晶性と放射特性、アレイ化した固有接合の放射特性、アレイ化した固有接合の同期現象の解析、ウイスキー単結晶を用いた発振素子の作製に関する発表が行われた。ジョセフソン電流の磁場依存性では斜め磁場下におけるジョセフ線電流分布、局所電流注入が干渉効果に与える影響に関する解析結果が報告された。

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 12 日に 21 件のオンラインでの口頭発表と 9 月 22 日に 3 件のオンラインでのポスター発表があった。内訳は、Bi 系で 3 件、フッ素フリー-MOD(FF-MOD)法 REBCO 膜で 5 件、鉄系超伝導膜で 1 件、REBCO 膜の臨界電流

非対称特性で 2 件、REBCO 膜の接合で 1 件、REBCO 膜ピンニングで 6 件、REBCO 厚膜で 1 件、中間層で 2 件、MgB₂ 膜で 2 件、V₃Si 膜で 1 件であった。橋本(金沢大)らは、Bi2201 及び Bi2212 薄膜に対して、水リフトオフ(WLO)を用いて選択成長・マイクロパターンングを試みた。パターンングされた Bi2201・Bi2212 は SrTiO₃ 基板上にヘテロエピ成長し、パターンングによる結晶性の低下は確認されず、良好なオーミックが得られたため、WLO プロセスは選択成長・パターンングに有効であると報告した。瀬川(青学大)らは、FF-MOD 法を用いて作製した IBAD 基板上 REBCO 薄膜の高 J_c 化について検討した。酸素分圧、焼成時間・温度を制御することで 77 K、自己磁場において、 $J_c > 2 \text{ MA/cm}^2$ を示した。clad 基板と IBAD 基板では、成長条件に大きな変化はないが、面内配向度の高い IBAD 基板の方が、 I_c が高くなる傾向にあると報告した。浅尾(阪大)らは、A15 型超伝導物質 V₃Si に着目し、分子線エピタキシー法を用いて強誘電体基板上への V₃Si 薄膜の作製に取り組んだ。強誘電体 Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃(PMN-PT)(111)基板上に Pd バッファー層を挿入した V₃Si 薄膜は、7.5~8.5 K の T_c を示した。Pd バッファー層のない V₃Si 薄膜では超伝導が観測されなかったことから、Pd バッファー層を用いることが重要であると報告した。水野(九工大)らは、GdBCO 膜への Ca ドープが超伝導特性に与える影響について調べた。Ca ドープによって T_c は低下したが、40 K において、pure-GdBCO 膜よりも高い J_c を示した。また、Ca5%-GdBCO ターゲット(mix ターゲット)と pure-GdBCO+CaO ピースを用いたターゲットでは、mix ターゲットの方が、Ca が均一にドープされると報告した。美和(名大)らは、PLD 法と液相法を組み合わせた Vapor-Liquid-Solid(VLS)成長法における液相の枯渇を防ぐため、液相を成膜途中に供給する手法を用いて、YBCO 厚膜を作製し、結晶配向性や磁場中特性の評価を行った。2 回目の液相を 15s 供給することで高い J_c を維持することができた。また、複数回液相を供給することで、8.4 μm において、70 K、2.5 T で $I_c = 231.6 \text{ A/cm}^2\text{-width}$ を示し、厚膜化による高 I_c 化に有効であることを報告した。

11.3「臨界電流・超伝導パワー応用」では 9 月 11 日の午後に 10 件のオンラインでの口頭発表があった。臨界電流特性の改善・機構解明で 7 件、計測評価で 1 件、接合特性で 2 件の発表があった。

齋藤(成蹊大)らは、TFA-MOD 法(Y,Gd)BCO 線材に対して、様々な種類の BaMO 材料を用いてナノ粒子の密度とサイズの制御を試み、超伝導特性やピンニング特性に与える影響について報告した。約 7 nm の BHO ナノ粒子が導入されたとき、磁束線のコアサイズに対して 1-3 倍となる温度領域が最も広くなり、この領域で磁場中 J_c が高くなることを示した。原田(成蹊大)らは、BZO, BHO をドープした MOD 法(Y,Gd)BCO 線材の臨界電流密度の膜厚依存性について報告した。半値幅および T_c とともに膜厚に対する変化がない試料において J_c の膜厚依存性は、酸素欠損およびナノ粒子によるピン止めにピン止め体積の次元性を考慮し、これに双晶面によるピン止めを合わせたモデルにより説明でき、ナノ粒子のサイズ、密度が J_c の膜厚依存性にも大きく影響することを示した。岡田(東北大)らは、有限の長さをもつ柱状ピンと楕円状の渦糸コアが様々な角度で相互作用するときの要素的ピン力を数値的に求め、 J_c の磁場角度依存性に与える影響について議論した。有限の長さの柱状ピンのアスペクト比で柱状ピンによるピークの形状が変化し、ナノロッドで見られる振る舞いと一致することを示した。また柱状ピンの端部の形状が、柱状ピンに垂直な磁場での J_c に大きく影響を与える可能性についても述べた。

東北大学の淡路らは、鉄系超伝導線材において $B \parallel \text{tape}$ で顕著となる、励磁・減磁で現れる J_c のヒステリシス特性のメカニズムを明らかにするために、 J_c の磁場角度依存性から調べた。磁場の回転方向によって現れる J_c の磁場角度依存性のヒステリシスは、粒界弱結合に起因し、 c 軸方向の電流パスだけでなく、 ab 面方向の電流パスも考慮することで定性的に説明できることを示した。物材機構の伴野らは、NbTi-Nb₃Sn 超伝導接合において従来の Pb や Cd を用いない方法について報告した。媒介物質として Nb-Hf を用いて、Nb₃Sn 側では化学的に結合、NbTi 側では機械的に結合させることで、Pb フリーの超伝導接合を実現できることを示した。

11.4「アナログ応用および関連技術」は、まず 9/11(土)午後 SQUID セッションが行われ、5 件の発表が行われた（参加者約 30 名）。金沢工大の河合らは、磁束伝達型 SQUID のダブルループ構造 2 種類について、マイクロテスラ以上の大きな外部磁場に対する構造依存性の検討を行い、並列ループ構造では接合に平行な磁場成分が侵入することを明らかとし、8 の字ループ構造の方がより適していることを報告した。豊橋技科大の林らは、FIB を用いた高温超伝導ナノブリッジ型のジョセフソン接合の作製について報告した。膜厚 50nm 及び幅 80-150nm の YBCO 素子を作製し、200-600 μ A の臨界電流制御と 77K におけるシャピロステップの観測に成功した。同じく江畑らは、STM プローブを高温超伝導体 (YBCO) に置き換えることを目指し、角棒加工及び尖鋭化に取り組み、組成比の調査を行った結果、FIB 加工における Ga の表面への混入を確認した。

9/12(日)午前のセッションでは、SIS 増幅器、薄膜、光子検出器に関する 7 件の発表が行われた（参加者約 30 名）。国立天文台の小嶋らは、マイクロ波帯の SIS 増幅器に関し、2 つの SIS ミキサにより構成される素子の開発について報告した。低雑音化とリップル低減を目指し、低雑音ミリ波アイソレータの挿入による改善が明らかとなった。情通機構の川上らは、Nb₃Ge 膜成膜時の基板加熱法を検討し、ヒーターと基板間に炭素膜を挟むことで基板加熱の高効率化が可能であることを示した。産総研の三澤らは、収束ヘリウムイオンビームによる YBCO ジョセフソン接合作製を目指し、ビーム照射エネルギー量により超伝導性の系統的制御が可能であることを報告した。九大及び産総研の各グループより TES に関し、位置検出型デバイス用シミュレータ開発や特性評価等について報告があった。特に産総研の服部らは、TES のエネルギー分解能として世界最高となる 0.073eV を達成した上で、ノイズの解析を行い電流ノイズでは説明できない要因（フォノン？）が含まれていることを明らかにした。北見工大の西川らは、MoN-SNSPD の作製と評価を行い、システム検出効率で 37%の達成を報告した。今後、ピッチ幅及び膜厚の最適化により効率改善が期待される。

11.5「接合、回路作製プロセスおよびデジタル応用」では、計 15 件の発表があり、14 件がオーラルセッション、1 件がポスターセッションにおいて発表された。オンラインで行われた口頭セッションでは参加人数は 30 名を超え、通常開催の場合の平均の参加人数よりも多い印象であった。

横浜国大からは断熱的磁束量子パメトロンを用いたさまざまな応用の提案があった。ジョセフソンパラメトリック発振器によって構成される超伝導量子アニーリングの読み出し、ストカスティック積和演算を行う回路の設計とその動作報告があった。横国大からは超伝導単一磁束量子回路による周波数同期の実証と、線形分離不可能な論理ゲートを実現する非同期ゲートの提案もなされた。名古屋大学からは磁性ジョセフソン接合を用いることによって可能になる半磁束量子回路に関して、マトリクスメモリの設計と

その評価の報告がなされた。これは大規模かつ高速読み出しが可能なランダムアクセスメモリを実現するものとして今後の展開が期待できる。他にも高臨界電流密度プロセスを用いた単一磁束量子回路を用いた並列加算器の実証の報告もなされた。さらに名古屋大学からは、外部磁場を増強することができる SQUID 素子の提案があり、透磁率の増加または回路間の結合強度を増加できる素子として注目される。広島大学からはジョセフソン接合を含む伝送線路を用いてブラックホールレーザーを実現する提案がなされた。これは新たな応用への展開が期待できる極めて新規な提案であり、今後の研究の進展と実験による実証が楽しみである。

本報告は、長尾雅則（山梨大学）、加藤孝弘（矢崎総業）、尾崎壽紀（関西大学）、末吉哲郎（九州産業大学）、山下太郎（名古屋大学）、山梨裕希（横浜国立大学）、各氏の協力により作成したものです。