

11. 超伝導

東北大 淡路 智

今回は、超伝導分科会企画のシンポジウムが初日に開催されたほか、同日の午前中には、応用物理学会業績賞受賞講演(科学技術振興機構理事長 北澤宏一先生)が基礎物性のセッション内で行われた。今回の講演件数は127件で、例年の春の学会から若干の減少傾向が見られた。以下に中分類毎のまとめを記載する。

初日には、超伝導分科会企画「超伝導で”進む”未来技術の最新動向~超伝導の物流・交通への展開~」と題するシンポジウムが行われた。シンポジウムの冒頭で、応用物理学会超伝導分科会幹事長の下山淳一先生(東大)より趣旨説明があり、まとめて話を聞く機会の少ない、「進む」超伝導応用に着目したシンポジウムであるとの説明がなされた。実際に、身近な自動車・列車・船舶に始まり、最後は深宇宙に至るまで超伝導を用いた移動機器についての講演が行われた。「進む」超伝導応用の実現のためのキーテクノロジーは、超伝導モーターであり、そのコンパクト性・低環境負荷性などが着目されている。それ以外には、宇宙応用として大規模超伝導コイルを宇宙で展開し、太陽風をうけて進む磁気帆船など、夢のある内容もあった。

「11.1 基礎物性」では、第10回応用物理学会業績賞(研究業績)受賞記念講演1件、講演奨励賞受賞記念講演1件と一般講演33件の講演があった。17日午前の業績賞受賞記念講演では、北澤氏(JST)により高温超伝導体発見の発見から今日に至る経緯に加え、今後について講演あり、100名以上の聴衆が集まった。また、奨励賞の片瀬氏(東工大)はFe系超伝導体エピタキシャル薄膜を用いて作製したジョセフソン接合について報告した。一般講演は、17日午前に物質合成を中心に8件、18日午前に固有接合13件、午後に鉄系超伝導体、SNS接合、その他11件と多岐にわたる発表があった。物質合成では、 α -MOCLにおける新超伝導物質の探索や T - RE_2CuO_4 構造におけるREのイオン半径と超伝導特性の関係並びに低温合成についての報告があり、超伝導メカニズムの解明や新物質発見に対して今後の進展が期待される。固有接合関連では、テラヘルツ波高強度発振現象や別々に作製した固有接合を用いたテラヘルツ波の発振と検出について報告があった。一方、鉄系超伝導体についての発表は若干減少傾向にあるが、これは主体が材料や物性評価から薄膜化などより応用へ近い研究に移ったためであり、今後、他のセッションでの発表が増加するものと思われる。その他、InAs量子ドットと結合したSQUIDのゲート制御など新機能に関する報告があった。

「11.2 薄膜、厚膜、テープ作製プロセスおよび結晶成長」では、鉄系超伝導薄膜6件、 MgB_2 薄膜2件、RE123のMOD法に関して6件、RE123薄膜中の人工ピンに関して4件、RE123線材に関して3件、その他材料の薄膜化に関して5件、合計26件の報告があった。鉄系超伝導薄膜では今回 $LnFeAs(O,F)$ で $T_c^0=41K$ と高品質のas-grown膜が報告された。現状では膜厚方向に不均質性を持つ薄膜であるが、 $NdFeAs(O,F)$ 単結晶薄膜に近づく成果であり、注目を集めた。RE123に関しては真空プロセスを用いた成膜に関する発表は1件も無く、MOD法による成膜の検討やナノロッドなどの人工ピン導入、テープ線の接合や細線加工に関する講演件数が増加し、研究フェーズが移行しつつあることが伺われた。MOD法に関して、紫外線アシストにより前駆体膜の分解を促することでフッ酸を発生させなくても $1\mu m$ 厚のエピタキシャル膜が得られることが示され、今後、どこまで厚膜化が可能であるか非常に注目される。人工ピンに関してはナノロッドの成長機構に関する研究が進められており、今後、サイズや導入数密度の制御がどこまで可能となるか期待される。

「11.3 臨界電流、超伝導パワー応用」では、鉄系超伝導体に関して2件、 MgB_2 に関して4件、 Nb_3Sn 線材に関して1件、 $Bi2223$ 線材に関して3件、 v に関して12件の合計22件の発表が、1

8日の午前・午後に行われた。鉄系超伝導材料に関しては、粒内 J_c と比べて非常に低い粒界 J_c の向上が大きな課題となっている。今回の発表でもその点に着目した講演が行われ、添加元素などにより充填率を向上させることで粒界 J_c の向上が見られることや、凝縮エネルギー密度は他の高温超伝導体とほぼ同じであることから、高い J_c を実現できる可能性を秘めている点などが報告された。MgB₂ では、充填率が J_c 特性に大きな影響を与えることが分かって来ており、結果として磁束ピンニングの議論ができるようになってきた。多くの高特性の試料では、粒界ピンニングが主体的とされ、充填率が J_c だけでなく、不可逆磁場にも影響を与えることも報告された。また、近年測定が活発になされるようになった超伝導特性の空間分布の直接測定法により、Bi系超伝導線材では線材中心部で J_c が最大となり端部に行くほど減少する結果が実測され、さらに高 J_c 化が可能であることが示された。また、RE123 テープ線材の研究でも、磁束ピンニングの議論が多くなされた他、応用を視野に入れたテープ線による磁場遮蔽効果や磁束侵入挙動などの解析も報告され始めている。コーテッド線材も、材料プロセス開発が一段落し、その理解と特性向上、応用化への基礎研究など次のフェーズに入ってきた感がある。今後の発展に期待したい。

「11.4 アナログ応用および関連技術」では、SQUID や超伝導検出器、高周波フィルタ、素子作製等 27 件の講演が行われた。SQUID に関する発表では、非破壊検査システムの開発が多く報告された。応用分野は医療や工業など多岐にわたり、検出感度の向上など着実な成果により実用化への期待を感じさせた。SIS ミキサなどの超伝導検出器に関する発表も多く、材料選定や設計改善により従来困難であった 1THz 付近での低雑音特性の実証や、質量分析における価数選択やシステムの製品化に向けた取り組みなども報告された。また、量子暗号通信などへの応用が注目される単一光子検出器において、屈折率の異なる層を用いた光学キャビティ構造をもつ SNSPD 素子により、世界初となる 20% 超の検出効率を得るなどの進展が報告された。冷凍機実装においては、従来問題であった 4K 付近での比熱低下による温度振動を改善するため、極薄の温度緩和バンパーを挿入する簡便な方法で 0.2mK 台への振動抑制に成功し、そのメカニズムについて議論が行われた。その他、超伝導フィルタにおいて、共振器の多段化による送信耐電力特性の向上を実証し、今後数百 mW を目指すことや、ラックマウント型システムの実現に向けたジョセフソン電圧標準素子の動作温度向上などが報告された。

「11.5 接合、回路作製プロセスおよびデジタル応用」では、ショートプレゼンテーションなしのポスターセッションにより 19 件の発表が行われた。その内訳は、高温超伝導ナノブリッジに関する発表が 3 件、高品質 Nb、NbN 系ジョセフソン接合作製方法が 3 件、SFQ・光インターフェースが 2 件、SFQ 回路設計・評価が 8 件、その他（超伝導ダイヤモンド・ジョセフソン接合、リセスプロセス、SFQ 回路と光導波路の集積化）が 3 件となっている。Nb、NbN 系ジョセフソン接合では、より高品質なトンネルバリアの作製を目指し、プラズマ窒化による AlN 障壁層形成手法の研究が前回に引き続き活発に行われている。また、光インターフェースを含めて、SFQ 回路と光デバイスの融合を狙った研究発表が 3 件あり、SFQ 回路チップ上に光導波路を集積化するというこれまでにない研究提案もあり、今後の進展に期待したい。SFQ 回路設計、評価に関しては、コンパレータのグレーゾーン評価、磁束トラップ評価、低消費電力化の検討など、基盤回帰という印象であった。

近年、応用物理学会の講演件数は着実に減少傾向を示しています。しかしここ最近、超伝導関係のプロジェクトがいくつか走り始めていますし、良いデータが多く出て来ていますので是非応用物理学会に発表し議論を深めていただければと思います。結果として、発表件数の伸びとなりお互いのメリットとなるはずです。なお、本報告は、入江晃巨（宇都宮大）、仙場 浩一（NTT 基礎研）、土井 俊哉（鹿児島大）、川山 巖（阪大）、寺井 弘高（情通機構）各氏の協力により作成したものです。ご協力に感謝します。