

## 関西支部だより

関西支部では特別講演会として、平成28年11月25日(金)に大阪府立大学 I-site なんばで第15回低温工学・超伝導若手合同講演会を開催した。本講演会は、日本学術振興会第146委員会 通信・情報処理分科会との共催であり、(社)応用物理学会関西支部、(社)日本真空学会関西支部および(社)電気学会関西支部の協賛を得た。募集講演内容は、超伝導エレクトロニクス、低温・超伝導基礎物性、ナノテクノロジーによる低温工学・超伝導研究、低温デバイス開発、超伝導線材および超伝導マグネット開発並びにその応用など、低温に関するものである。本講演会は、関西地区に在者に限らず広く全国から低温工学および超伝導関連の研究を進める大学院生、若手任期付研究員ならびに企業の若手研究者等を支援する趣旨で開催され、若手研究者に幅広い視点を身に付けてもらうと同時に、質疑や討論を奨励し、組織を越えた若手研究者同士の交流を図ることを目的としている。また、本講演会では、若手研究者個人の寄与が大きいと判断されかつ発表内容の水準が高い優秀な講演をした若手研究者には「低温工学・超伝導若手奨励賞」を、そして最優秀発表者には「信貴賞」を授与している。「信貴賞」は初代関西支部長として低温工学の発展に尽力され、とりわけ若手研究者の育成に努められた大阪市立大学名誉教授故信貴豊一郎氏のご威徳を顕彰して2011年に設立されたものである。今回は、審査委員長を青木亮三氏(大阪大学名誉教授)に、審査委員を四谷任氏(大阪府立産業技術総合研究所)、山田忠利氏(マグネットテクノロジー)をお願いした。

今回、講演申し込みは17件であったが、当日の取り消しが1件あり、また一部発表順を入れ替え、以下に示すように、午前7件、午後A5件、午後B4件の3セッション、計16件の講演となった。発表は以下のとおりである。

- 9:45-10:03 「低温回転モーターを用いた量子渦研究」大阪府立大学大学院理学研究科、大山勝義
- 10:03-10:21 「50T級パルス強磁場装置の断熱消磁による超低温域への展開」大阪府立大学大学院工学研究科、石打翔馬
- 10:21-10:39 「微小試料用の低温熱伝導率測定装置の開発と性能評価」大阪府立大学大学院理学研究科、堀口元成
- 10:39-10:57 「ループ型熱音響冷凍機における仕事流の計測」(株)ジェイテクト 研究開発本部システム創生研究部、武井智行
- 10:57-11:15 「テラヘルツ時間領域分光法によるグラフェン光学伝導度の広範囲温度依存性」大阪大学大学院工学研究科、亀尾尚平
- 11:15-11:33 「Generation of Circularly Polarized Terahertz Radiation from BSCCO Mesa Structure」京都大学大学院工学研究科、Asem Elarabi
- 11:33-11:51 「ナノ構造超伝導体の転移温度の理論研究-サ

イズ・形状・不純物効果-」大阪府立大学大学院工学研究科、梅田政樹

- 12:50-13:08 「REBCO線材の超伝導接続」住友電気工業(株)パワーシステム研究開発センター、大木康太郎
- 13:08-13:26 「医療用加速器マグネット向け高温超伝導コイルの開発」三菱電機(株)先端技術総合研究所、井上啓
- 13:26-13:44 「One-step合成法により育成した $K_xFe_{2-y}Se_2$ 単結晶の相制御と超伝導特性」関西学院大学大学院理工学研究科、溝畑尚幸
- 13:44-14:02 「低温水酸化物融液中で成膜されたRE124膜への熱処理によるRE123膜の作製と特性評価」島根大学総合理工学研究科、宮地優悟
- 14:02-14:20 「ペロブスカイト型酸化物中間層上への高 $T_c$ - $GdBa_2Cu_4O_8$ 膜の低温作製」島根大学総合理工学研究科、添田圭佑
- 14:53-15:11 「不純物ドーピングによる電子ビーム蒸着 $MgB_2$ 薄膜の高 $J_c$ 化の試み」京都大学大学院エネルギー科学研究科、高畑仁志
- 15:11-15:29 「RF-SQUID駆動用デジタル制御システムの開発」大阪大学大学院基礎工学研究科、渡邊一樹
- 15:29-15:47 「カイラルらせん磁性体/超伝導体二層構造における渦糸状態の相図」大阪府立大学大学院工学研究科、福井卓文
- 15:47-16:05 「ナノ構造超伝導複合体d-dotにおける半整数量子磁束の発生条件」大阪府立大学大学院工学研究科、藤田憲生
- 各セッションの概要を以下に示す。

午前は低温物理、低温工学の発表が4件、テラヘルツ関係2件、超伝導理論1件の発表があった。大山氏は低温回転モーターを用いて超流動ヘリウム中で生じる量子渦を観測した。低温回転モーターは巻線に超伝導線を用いて自作した。ホール素子で回転数を検出する。超流動ポンプによって流れを駆動しオリフィス直上の渦を観測した。これより渦の循環を見積もり、これがモーター速度に比例する結果を得た。今後、渦周りの速度場を測定するため粒子画像流速測定(PIV)を行う予定である。石打氏は最高磁場50Tのパルス強磁場装置を温度0.1K以下の環境へ拡張するための装置開発について発表を行った。断熱消磁法を用いることにより、ヘリウム3の損失リスクを回避する。消磁塩には鉄ミョウバンを用いた。現在、最高磁場50T、最低温度0.23Kにそれぞれに達しているが、これらの組み合わせによる性能評価が今後の課題である。堀口氏は微小試料用の熱伝導測定装置の開発と性能評価について発表した。熱伝導測定にはヒータと熱浴、温度計2個が必要であるが、これらをすべてシリコンチップに組み込んだ測定デバイスを開発している。ヒータおよび温度計として使用する $NbN_x$ 薄膜の成膜条件と温度特性について詳しく示された。これ

を用いてマグノン(スピン波)による熱輸送の研究を目指す。武井氏はループ型熱音響冷凍機における仕事流の計測に関する発表を行った。パルス管冷凍機は自励振動を冷熱に変換するが、本システムは自励振動の発生に温廃熱を用いることで温廃熱を冷熱化するものである。その性能を左右する仕事流を Two-sensor 法により精度良く評価し、Ar-He 混合気体において  $-34.6^{\circ}\text{C}$  の冷却効果を得た。作業ガス圧や熱交換パラメータの最適化など今後のさらなる開発が期待される。亀尾氏はテラヘルツ時間領域分光システムを用いて Si および MgO 基板上的グラフェン光学伝導度の温度依存性について発表した。80~600 K でグラフェンの光学伝導度を計測し、初めの加熱過程において 420 K 以上で急激な減少を観測し、それ以降の温度変化でほとんど変化がないなど、吸着分子の脱離によると思われる結果を得た。高速ナノデバイスを目指す研究において重要な知見である。Elarabi 氏は Bi-2212 のメサ構造を用いた本質的ジョセフソン接合に基づくテラヘルツ光源の開発に関して、正方形メサ構造の 2 隅を削ることによって円偏光発振が得られることを実験的に初めて示した。円偏光度は発振周波数を調整することによって、1 に近づけることが可能である。この結果により、テラヘルツ波領域の偏光制御装置開発が期待される。梅田氏は有限要素法を用いて Gor'kov 方程式を解くことにより、ナノ構造超伝導体のサイズを小さくするとともに転移温度  $T_c$  が振動しながら上昇する結果を理論的に示した。正方形、長方形といった形状にも依存し、面積が同じ場合、細長い系の方が  $T_c$  が高くなる結果を得た。一方、不純物が  $T_c$  を下げることが確認された。以上、午前は超伝導、テラヘルツ、低温物理から低温工学まで広いテーマの講演となったが、いずれもたいへん活発な質疑応答が行われた。

午後 A は超電導線材・コイルの発表が 2 件、超電導材料 3 件の発表があった。大木氏は、優れた特性を有する  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  (REBCO) 線材を NMR 用マグネットに応用する際に重要な超電導接続技術の開発についての発表があった。開発したプロセスは、一般的な熱処理炉を用いることが可能であり、処理時間も半日程度と従来技術を大幅に短縮できるものである。この接続の電気特性評価や顕微鏡による外観観察についての報告があった。井上氏は、粒子線がん治療装置の小型化を行うために、高温超電導材料を用いた偏向マグネットの開発についての報告があった。パンケーキコイルを用いたモデルコイルを作製し、磁場不均一性と交流損失を評価した。その結果、磁場分布は、100ppm 程度であり、治療時に想定される 3T/min の条件下で交流損失が 6.66W であることを明らかにした。溝畑氏は、鉄系超伝導体である  $\text{K}_x\text{Fe}_{2-y}\text{Se}_2$  の単結晶を one-step 法により成長させ、冷却中に急冷することにより、超電導相と反強磁性相の相分離の制御を行った。急冷を開始する温度を変えた単結晶の試料の磁化率および電気抵抗の温度依存性測定や

電子顕微鏡による表面観察を行った結果、高温で急冷すると反強磁性絶縁層の成長を抑制できることを明らかにした。宮地氏は、低酸素分圧下で熱処理することにより、 $\text{REBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$  (RE124) 膜を特性の優れた  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  (RE123) 膜に分解する試みについて報告を行った。熔融水酸化物法により  $\text{SrTiO}_3$  基板に RE124 膜を作製し、熱処理を行うことにより、酸素分圧、熱処理温度と分解相の関係を明らかにした。その結果、低温では、Eu124、Eu247 相が安定であり、高温では Eu123 相に分解することがわかった。また、高品位な Eu123 膜を得ることに成功した。添田氏は、単結晶基板上にペロブスカイト型酸化物薄膜を成膜し、その上に KOH フラックス法により、 $\text{REBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$  (RE124) の低温成膜の検討を行った。実験は、 $\text{LaAlO}_3$  基板上に  $\text{NdFeO}_3$  をスパッタリング法により成膜、熱処理を行うことにより中間層を作製した。その中間層上に、KOH フラックス法により温度を変えて Gd124 を成膜した。その結果、 $550\sim 700^{\circ}\text{C}$  の作製温度で二軸配向した Gd124 単相膜を得ることができた。また、作製温度が高くなるに従い、 $T_c$  が低下する傾向にあることを明らかにした。

午後 B は 4 件の講演発表があった。高畑氏は 20 K 近傍での実用化が期待される  $\text{MgB}_2$  薄膜の臨界電流密度向上化を目指し、電子ビーム蒸着薄膜について不純物ドーピングを試みた。 $\text{MgB}_2$  薄膜の成膜と同時に Ti または Ni をドーピングするとこれらが固溶し超伝導特性が低下したが、 $\text{MgB}_2$  の成膜と不純物ドーピングを交互に繰り返した多層膜試料では臨界電流密度が向上した。今後の進展が期待される。渡邊氏は RF-SQUID 用のデジタル FLL システムの開発について発表があった。市販の FLL は駆動周波数帯域が 450~900 MHz と限られている。本研究開発で 450~1870 MHz までの駆動設計を行い、実際に 665~1125 MHz での駆動を確認した。これにより、SQUID 径の小型化が実現し、環境ノイズの低減が期待される。福井氏はカイラルらせん磁性体/超伝導体の二層構造においてカイラルらせん磁性体が超伝導体の渦糸構造に与える影響を Ginzburg-Landau 方程式により計算し相図を求めた。その結果、渦糸が自発的に現れ、互いに逆向きの渦糸ペアを形成する状態が最も安定であることが分かった。今後さらに詳細な計算を行い、温度—磁場相図を作成していくとのことである。藤田氏は、ナノ構造超電導複合体 d-dot における半整数磁束の発生条件について発表した。d 波超伝導と s 波超伝導の接合で半整数磁束が発生するはずであるが再現性の良い観測がない。これについて有限要素法を用いた GL 計算によって、少数の双晶境界が半整数磁束の発生を抑制していることが明らかとなった。以上、午前に引き続き、広い講演テーマであったが、いずれもたいへん活発な質疑応答が行われた。

講演の最後に、大阪市立大学の畑氏による、信貴賞の設立経緯および信貴先生の思い出について紹介があった。講演終了後、厳正な審査のもとに、大阪府立大学の福井卓文

氏に「信貴賞」、大阪大学の渡邊一樹氏、島根大学の宮地優悟氏、京都大学の Asem Elarabi 氏、株式会社ジェイテクトの武井智行氏に「低温工学・超伝導若手奨励賞」が授与された。また、講演会終了後に懇親会が持たれ、審査委員と発表者を中心として 17 名が参加し、親睦交流が図られた。写真は信貴賞および奨励賞受賞記念写真で、前列左から渡邊氏、福井氏、青木審査委員長、Asem Elarabi 氏、武井氏、宮地氏、後列左から四谷審査委員、山田審査委員である。最後に主催者として、3 名の審査委員の先生方および熱心に議論して頂いた 33 名の講演会参加者全員に深甚な感謝の意を表す。

（関西支部役員 野口悟、佐藤和郎、斉藤一功）

写真 講演会奨励賞受賞者および審査委員