

## 関西支部だより

関西支部では特別講演会として、令和4年11月18日(金)に関西学院大学大阪梅田キャンパスで第21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(社)応用物理学会関西支部、(社)日本表面真空学会関西支部およびセンシング技術応用研究会の協賛を得た。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である。本講演会は、関西地区在住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に最先端の研究成果を発表する機会を持っていただき、人材発掘の一助とすると同時に、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、審査委員長を児玉隆夫氏(大阪市立大学元学長)に、審査委員を四谷任氏(大阪産業技術研究所)、山田忠利氏(マグネットテクノロジー)をお願いした。

今回の講演発表は「午前」4件、「午後 A」4件、「午後 B」5件、「午後 C」4件の17件であり、質疑応答を含め16分講演となった。以下に「講演題目」講演者所属、氏名を示す。

- 10:45-11:01 「Bi2212からのテラヘルツ放射に関する高バイアス領域における電気回路モデル」京都大学大学院工学研究科、小林 亮太
- 11:01-11:17 「GaN:Eu/GaN超格子構造におけるPLおよびTHz波放射特性の温度依存性」大阪大学レーザー科学研究所、村上 史和
- 11:17-11:33 「Temperature dependence on the THz emission from VO<sub>2</sub>/Si heterojunction with different Si doping concentrations」大阪大学レーザー科学研究所、Yang Dongxun
- 11:33-11:49 「異方性を有する単結晶酸化チタンの屈折率の温度依存性研究」大阪大学レーザー科学研究所、Wang Ke
- 13:10-13:26 「金属コアを用いたスパイラル銅複合多芯薄膜線材の磁化損失及び通電特性」京都大学大学院工学研究科、祖父江 卓哉
- 13:26-13:42 「低温用箔ひずみゲージを用いたGFRP管の力学的特性に関する研究」神戸大学大学院海事科学研究科、杉原 弥悠加
- 13:42-13:58 「ヘリカル型液体水素用流量計に関する数値シミュレーションとヘリカル流路の試作」神戸大学大学院海事科学研究科、章 誠豫
- 13:58-14:14 「化学ドーピングしたPtBi<sub>2</sub>における極性非極性構造

相転移と超伝導転移温度の上昇」神大阪大学大学院理学研究科、高木 健輔

- 14:23-14:39 「190 keVプロトン照射が鉄カルコゲナイドFeSe<sub>0.5</sub>Te<sub>0.5</sub>薄膜の超伝導特性に与える影響」関西学院大学大学院理工学研究科、山下 朔
- 14:39-14:55 「キラル構造結晶における電流誘起スピン偏極と非従来型超伝導現象の探索」大阪大学大学院基礎工学研究科、桑原 慶大
- 14:55-15:11 「超伝導マグネットシステムを活用した、パルス強磁場・断熱消磁クライオスタットの作製」大阪公立大学大学院理学研究科、前川 翔
- 15:11-15:27 「原子サイト選択NQR法によるPr系銅酸化物における新奇な二重鎖サイト超伝導の検証」大阪大学大学院基礎工学研究科、中川 俊作
- 15:27-15:43 「微小結晶熱伝導率プローブの測定上の課題と対策」大阪府立大学大学院理学系研究科、中口 直久
- 15:52-16:08 「KOHを用いたYBCO/LaNiO<sub>3</sub>膜の低温成膜」島根大学大学院自然科学研究科、豊嶋 健瑠
- 16:08-16:24 「KOHフラックス法によるM-I転移材料(P<sub>r1-x</sub>RE<sub>x</sub>)<sub>1-y</sub>Ca<sub>y</sub>CoO<sub>3</sub>の合成の試み」島根大学総合理工学部、山本 樹輝
- 16:24-16:40 「{100}〈001〉集合組織Cuテープ上にNiおよびLaドーピングSrTiO<sub>3</sub>導電性中間層を介して作製したYBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>薄膜」京都大学大学院エネルギー科学研究科、内田 翔
- 16:40-16:56 「分子+場の動力学法を用いた渦糸の集団運動シミュレーション」大阪府立大学大学院工学研究科、山中 純

各セッションの概要を以下に示す。

午前はテラヘルツ光源開発1件とGaN超格子、VO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>についての物性研究3件の発表があった。小林氏はBi2212を利用したテラヘルツ光源の実用化に向けた研究を紹介。同一基板上に形成した複数のメサを同時に動作させることによって、発振強度が増加する現象について回路モデルを用いて再現した。単独駆動時の電圧・電流・放射強度特性が比較的精度よく再現されている。さらには実験的に観測困難な現象について数値的な予測を行う事にも成功した。定量的なデバイス構造設計への適用が期待できる。村上氏は赤色発光ダイオードの材料として注目されているGaN:Eu(ユーロピウムをドーピングした窒化ガリウム)の性能向上のための研究を紹介。PL(フォトルミネッセンス)およびTES(テラヘルツ波放射特性)の温度依存性を評価し、表面バンド構造やバンドギャップの温度依存性について考察した。薄膜のGaN:Euと超格子構造を持つGaN:Eu/GaNを作成して評価した。PLによる測定では薄膜と超格子の間に大きな違いは見られなかったが、TESによる測定では両者で大きな差が見られた。こうした結果から構造に依存する特性として表面バンド形状やバンドギャップの温度依存性があり、構造に依存しない特性としては温度消光があることが得られた。Yangはシリコンをドーピングしたバナジウム酸化物のテ

ラヘルツ波放射特性の温度依存性について報告した。研究ではデバイスへの応用を視野に入れ、これまでに系統だって調べられていなかった VO<sub>2</sub>/Si からのテラヘルツ放射の温度依存性について調べた。試料として、ドーピング濃度の異なる3つの VO<sub>2</sub>/Si を作成し、XRD やラマン分光により前述の相転移を確認。その後のテラヘルツ分光により温度が VO<sub>2</sub>/Si のテラヘルツ放射に与える影響をヘテロ結合面の電子状態を通じて明らかにした。Wang 氏は酸化チタンの異方性に着目し、テラヘルツ分光法と赤外分光法によって得られたの広帯域の屈折率の温度依存性について議論した。結果として 2THz までの測定ではいずれの温度においても c 軸の屈折率が b 軸より大きくこと、5THz 近傍では屈折率と高周波誘電率が 300K 以下の範囲で温度に正比例し、300K 以上では反比例していることが分かった。この結果はバンドギャップの温度依存性と一致する。さらに b 軸の 11THz と 15THz にも振動子が生じており、これらの近傍では屈折率の温度依存性が小さくなることも判明した。

午後 A は、HTS ケーブル開発 1 件、液体水素などの流体解析 2 件、新物質合成 1 件の計 4 件の発表があった。祖父江氏は、電流量が大きく、低交流損失でロバストなケーブルである SCSC ケーブルの磁化損失特性、及び非絶縁銅撚り線コア SCSC ケーブルの通電特性を調べた。非絶縁銅撚り線コアは SCSC ケーブルのコアに用いても磁化損失を増加させない。また、非絶縁銅撚り線コア 4 層 SCSC ケーブルの通電特性において、熱暴走が発生した電流値が、ケーブルを構成する線材の臨界電流値の総和とほぼ等しい結果が得られたと報告した。杉原氏は、低温用箔ひずみゲージを用いた液体水素用流量計において、流量計を取り付けた GFRP 管の低温下でのひずみの測定を行い、GFRP 管の力学的特性(ヤング率)を調べることを研究目的としている。実験装置は製作中のため、同研究室で過去に実施した実験結果をもとに、低温下でのヤング率を予測した結果、液体水素温度でのヤング率は約 30 GPa であることが分かったと報告した。章氏は、市販の計算ソフト ANSYS を用いた数値シミュレーション結果と過去の計算結果を比較し、ヘリカル型液体水素用流量計の実現性、及び測計モデル等について検討した。液体水素と液体窒素のいずれにおいても、先行研究の計算結果より、ひずみが 1/4 に小さくなり、圧力は大きな違いはなかった。流量計として使用するには、低ヤング率の GFRP 配管を選択、あるいはヘリカル流路の構造を改善することで、ひずみを大きくする必要が考えられると報告した。高木氏は、PtBi<sub>2</sub> における構造の不安定性を利用し、化学ドーピングによる新たな結晶構造の安定化と超伝導物質開発を行った。極性構造を持つ  $\gamma'$ -PtBi<sub>2</sub> ( $T_c = 0.6$  K) に Se または Te ドープすると、極性非極性構造相転移が起こり、超伝導転移温度  $T_c$  がそれぞれ 1.9–2.4 K、2.0–2.4 K に上昇することが分かった。また  $T_c$  は、系が相境界に近づくにつれて上昇すると報告した。

午後 B は、超電導 3 件、装置開発 2 件、計 5 件の発表があった。山下氏は PLD (Pulsed Laser Deposition) 法で作製した

鉄系超伝導薄膜 (FeSe<sub>0.5</sub>Te<sub>0.5</sub> (FST)) に 190 keV のプロトンを照射した際の照射量の  $T_c$  や  $J_c$  への影響について報告した。90 keV のプロトン照射は特定の照射量だけでなく様々な照射量において磁場中の超伝導特性を向上させることがわかった。桑原氏はキラリティが関連した電流誘起磁気現象の起源の解明を目指して、らせん結晶 MSi<sub>2</sub>(M=Nb, Ta)系において、高感度でスピン偏極を直接とらえることのできる NMR 測定を試みた結果の報告があった。キラル物質におけるスピン偏極を直接観測した例として、世界 2 例目である旨説明があり、スピン偏極の起源として、らせん構造による対称性の破れとスピン軌道相互作用によって生じるヘッジホック型のスピン構造を有したフェルミ面が関連している可能性が示唆されている。前川氏は市販の超伝導マグネットシステムを常磁性断熱消磁法に転用して、より冷却機能をもったパルス強磁場クライオスタットの作製の試みについて、作製中のクライオスタットの詳細な説明があった。従来と比較して大きな消磁塩を作製し、冷却効率を増強するとともに、断熱消磁部から強磁場発生部までの熱伝達には、熱伝導の非常に大きい、超流動 <sup>4</sup>He を用いる。中川氏は超伝導を担う構造の特定を目指して、Pr<sub>2</sub>Ba<sub>4</sub>Cu<sub>7</sub>O<sub>15.8</sub>(Pr247)の試料を用いて NQR/NMR 測定を行って、個別の NQR 周波数から 4 つの Cu サイトの電子状態を特定した。加えて、各 Cu サイトの各スピン緩和率の測定を行い、二重鎖構造の Cu サイトにおける各ピンの緩和率の温度依存性から、二重鎖 Cu サイトに超伝導ギャップが存在することが分かった。以上より、Pr247 では CuO<sub>2</sub> 平面の反強磁性秩序と二重鎖 Cu サイト超伝導が交互に積層して共存するという、銅酸化物では初めての観測される例であることが報告された。中口氏は開発してきた微小結晶熱伝導率測定プローブでの測定結果について報告があった。結晶方面が十分に平滑でない場合に、ヒーターと温度センサの成膜時に発生する残留応力に起因した座屈により、ダイアフラム上のヒーター・温度センサと試料の間の熱接触が低下する可能性について言及し、新しい物質系についての提案もあった。

午後 C は、HTS 線材開発関連研究が 3 件、渦糸系の数値計算が 1 件、計 4 件の発表があった。豊嶋氏は Ag 基材を使用しない YBCO 線材の開発のために、導電性の LaNiO<sub>3</sub> 中間層を LaAlO<sub>3</sub> 基板上に KOH 溶液を用いたフラックス法でエピタキシャル成長させた結果を報告した。KOH 浸漬時間を最適化することにより、良質の YBCO エピタキシャル薄膜の育成に成功した。山本氏は、超伝導線材に求められる絶縁性と導電性という二律背反に金属絶縁体 (M-I) 転移物質を用いて挑んだ。M-I 転移を示す物質として、(Pr<sub>1-x</sub>RE<sub>x</sub>)<sub>1-y</sub>Ca<sub>y</sub>CoO<sub>3</sub> に注目し、KOH フラックス法により LAO および STO 基板上に成膜を行った。RE を 4 種類の元素、3 通りの y 値についての結果から、得られた膜の組成は仕込み組成よりも RE 濃度が低くなっていることが分かった。内田氏は、YBCO 線材においてクエンチ時に Cu 基材に電流を流しやすくするため、中間層として導電性 La-SrTiO<sub>3</sub> を成膜することを試みた。パルスレーザー蒸着法を用いて、Ni/Cu/SUS 基板上に La-SrTiO<sub>3</sub> および YBCO の

2 軸配向膜を成膜できた。La-SrTiO<sub>3</sub> 膜の導電性が低い理由として、膜に含まれる La 濃度が少ないためであることが分かった。山中氏は多数の渦糸からなる系の数値計算手法として、分子動力学に場を加えた方法を提案した。本来、多数の渦糸間の多体問題という難問を近似的に自分以外の多数の渦糸からの平均場としてとらえ、20000 本の渦糸の数値計算をおこなった。従来の方法では膨大な時間がかかるところ、短時間で数値計算が完了し、ぼろカーバイド超伝導体における STM 測定による渦糸分布を再現することができた。

以上、17 件の講演があり、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、大阪市立大学名誉教授の畑徹氏による、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。その後、厳正な審査のもとに、大阪大学の中川俊作氏に「信貴賞」、島根大学の豊嶋健瑠氏、大阪大学の高木健輔氏、京都大学の小林亮太氏、大阪大学の村上史和氏に「低温工学・超伝導若手奨励賞」が授与された。恒例の講演会終了後の懇親会は行われず、審査委員と発表者、聴講者の親睦交流が叶わなかったが、対面形式の講演会が実現し、有意義な会であった。写真は信貴賞および奨励賞受賞記念写真で、前列左から四谷審査委員、児玉審査委員長、山田審査委員、後列左から豊島氏、高木氏、中川氏、小林氏、村上氏である。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 48 名の講演会参加者全員に深甚な感謝の意を表する。

(尾崎壽紀、掛谷一弘、斉藤一功、中本将嗣)



写真 講演会奨励賞受賞者および審査委員