

戦略的創造研究推進事業
発展研究（SORST）

研究課題
「電子波の位相と振幅の微細空間
解像手法の応用展開」

研究期間： 平成13年3月1日～平成16年3月31日

研究代表者代行
花栗 哲郎
理化学研究所 高木磁性研究室 前任研究員

（研究代表者）
北澤 宏一
東京大学大学院新領域創成科学研究科物質系専攻 教授

1. 研究実施の概要

本研究は、先行の『電子波の位相と振幅の空間微細解像』プロジェクト（戦略的創造研究推進事業：CREST）で開発した干渉型電子顕微鏡及び走査型トンネル顕微鏡（STM）を、それぞれ電子波の位相及び振幅に敏感なナノスケールの電子状態評価装置としてとらえるという視点から高度化し、それらを応用することでナノ物性の発現機構解明と将来の機能性材料のシーズとなるような未知の物性探索を行うことを目的として発足した。

具体的な研究対象としては、高温超伝導体の磁束ピン止めの問題にこれらの手法を適用した。1MV電子波干渉型電子顕微鏡と全方位磁場印加装置を組み合わせ、高温超伝導体の有効なピン止め中心である柱状欠陥にトラップされる磁束の直接観察に成功した。また、結晶の主軸から傾けた磁場下において、異方性の異なる $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ （Bi-2212）と $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ （Y-123）では質的に異なる磁束構造をとることが明らかとなった。これらは、加速電圧の増強によって磁束の3次元的结构が観察できるようになって初めて得られた成果である（外村グループ）。また、バルク試料の磁束観察に有利なSQUID顕微鏡と、精密局所組成分析、構造解析を組み合わせ、 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ （La214）においてわずかな組成ゆらぎが有効なピン止め中心となっていることを見出した。また、Pbを高濃度ドーピングしたBi2212のピン止め中心を、STMを用いたAtomic site tunneling（AST）によって電子状態の立場から明らかにした（長谷川グループ）。様々な酸化物高温超伝導体における系統的な不純物置換効果の実験から、いくつかの不純物が有効なピン止め中心として働くことを発見した（岸尾・下山グループ）。

これらの磁束系に関する研究に加え、顕微鏡群の物性計測手法としての優位性を示すため、巨大熱起電力、巨大磁気抵抗など興味深い物性を示し、将来のエレクトロニクス材料として囑望されている、強相関電子系遷移金属化合物のSTM観測を強力に推し進め、わずかにドーピングされたモット絶縁体 $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ における異常な電子的不均一と、強相関電子系の全く新しい基底状態である電子結晶を発見した。また、その他、多くの強相関電子系化合物の原子分解能STMと走査型トンネル分光(STS)に成功し、我々の装置がバラエティに富んだ試料の観測に適したものであることを実証した（北澤・花栗・野原・ドラゴグループ）。また、強相関系における物質開発を進め、Co酸化物における熱電特性の改善、新しい熱電材料の発見、また、熱電材料の研究手法にヒントを得たソフト化学の手法を用いて新しい超伝導体を発見した。また、その他の新奇材料開発として、希ガスを内包したフラーレンにおける超伝導を発見した（北澤・花栗・野原・ドラゴグループ、岸尾・下山グループ）。

各グループの研究内容の概略は以下の通りである。

- 外村グループ

本プロジェクトは、1MV電子波干渉型電子顕微鏡（以下1MV電顕と略）を用いて、超伝導体をはじめとする固体内電子の波動的振舞をナノスケールで解明することを目的とした。この1MV電顕は新規に開発された1MV電界放出型電子銃を備え、世界最高レベルの輝度と干渉性を有する電子線を得ることができる。これを用いた金薄膜の観察で0.0498nmの世界記録となる格子分解能を達成した。また、1MVという高エネルギー電子線は物質透過能も高く、バルクサンプルの観察が可能となった。

特に干渉性の高い電子線を用いると、Lorentz顕微鏡法や電子線ホログラフィ法の電子顕微鏡的手法によって、ナノ領域における磁場を直接観察することができる。本プロジェクトではこの特長を生かして、特には高温超伝導体中の磁束量子の直接観察に注目した。磁束量子の観察にはBitter法（デコレーション法）や走査プローブによる観察など多様な手法が活用されているが、個々の磁束量子を直接かつ動きまですリアルタイムで観察できる手法は、我々の手法をおいて他にはない。

また一方、高温超伝導体は超伝導転移温度が高く、即ち熱揺らぎ効果が顕著に働くことに加え、特徴的な層状構造から超伝導特性も極めて異方性が強いことが知られている。磁束量子に関してもmelting（格子融解）をはじめとする種々の特異な振舞いが報告され、今も注目され続けている。これら特異な磁束量子の振舞いを観察するために本プロジェクトにおいて我々は、超伝導試料温度を10～100K以上の広い範囲で温度可変とし、かつ試料に対して任意の方位に磁場を印加することのできる全方位型磁場印加装置を開発した。

以上の高干渉高輝度電子線と磁場印加装置を武器に、我々が本研究で注目したのは特に以下二種類の高伝導磁束量子の挙動である。第一は、超伝導体に重イオン照射でつくられる柱状欠陥による磁束量子ピンニングである。我々は、欠陥に捕捉される個々の磁束量子を世界ではじめて直接観察することに成功し、さらにピンニングの温度依存性と磁場方位依存性の検討を行った。第二は、超伝導異方性に基づいて現れる磁束量子鎖状配列の観察で、超伝導異方性の大きなBi-2212と比較的小さなY-123超伝導体の両方で比較を行い、それぞれ異なるメカニズムで鎖状配列を形成することを明らかにした。

本プロジェクトで得られたこれら結果は、磁束量子の振舞いをミクロスコピックな見地から明らかとするもので、ピンニングによって臨界電流の向上を見込める他、さらには高温超伝導発現機構の解明にも知見を与えるものであると考える。

- 岸尾・下山グループ

我々の研究グループではCREST期間に挙げた研究成果をさらに発展させるべく、高温超伝導体の高臨界電流密度化を磁束ピンニングの強化、単結晶物性の把握、材料微細組織の改善の面から進める研究を広く実施した。このほか新たに同様な層状構造を持つ酸化物熱電材料についても高温超伝導物質・材料開発における知見を生かして化学組成、配向組織制御の観点から高機能化を図る研究を行った。

高温超伝導体に関する主な成果は、基礎研究・材料開発両面での主要物質であるBi2212超伝導体の単結晶について、従来不定比であった金属組成を定比に近付けることによる劇的な臨界電流特性の改善を、またPb置換Bi2212単結晶においては同様な改善だけでなく、Cuへの微量不純物置換によっても大きく J_c が上昇することを見出した。これらの知見はBi系実用線材の高特性化に応用されるべきものである。希土類123相超伝導体に関してはEr123溶融凝固バルク体を開発し、実用に十分な資質を備えていることを確認し、またY123溶融凝固バルクにおいてBaサイトに微量のSrを置換することによって磁場誘起型のピンニングサイトが導入できることを初めて見出した。Hg-Re系線材作製では表面酸化Ni管を用いたPowder-In-Tube法を開発し、多結晶体としては記録的に高い不可逆磁場を達成した。

酸化物熱電材料に関しては、化学的なドーピングにより熱電特性に大きく影響する酸素不定比性が抑制できること、またp型のCo系層状酸化物において組織の配向、緻密化が劇的な特性改善に有効であることを見出すなど、高特性化のための指針を明らかにすることができた。

● 長谷川グループ

走査型SQUID顕微鏡（SSM）を用い、La214単結晶（ $x=0.20$ ）のボルテックス分布を観測した。その結果、結晶軸とは無関係の方向に沿って、ボルテックスが1次元配列することを見い出した。高感度EPMA分析を行った結果、ボルテックス分布と対応するSr濃度の空間分布が観測された。一方、X線トポグラフィ測定からは、 a 軸に平行する小傾角粒界（傾斜角 $<2^\circ$ ）が確認されたが、ボルテックス分布との相関は見られなかった。以上の結果より、化学組成のゆらぎ（Sr濃度にして3%以下）に基づくキャリア量の僅かな違いが、ボルテックスのピン止めに非常に有効であることが示された。

また、高 J_c 材料として知られるPb添加Bi-2212のピンニング機構を明らかにするため、単結晶試料の低温STM/STS観察を行った。その結果、低Pb濃度相（ α 相）と高Pb濃度相（ β 相）への相分離が観測されたが、超伝導ギャップ Δ は各相内で非常に大きな空間変化（ $\Delta = 20\text{-}60\text{ meV}$ ）を示す事が分かった。また、4 Kでは、相境

界における Δ の変化は比較的小さいが、高温になるに連れ相間での Δ 値の違いが明瞭となり、従って、相境界は特に高温で有効なピン止めサイトとして作用するものと期待される。同試料では、Biを置換したPbの他にSrサイトの不純物も観測されたが、いずれも上記不均一性とは無関係であった。アニール効果を統計的に解析した結果、酸素のdisorderが不均一性の原因であると推定した。

- 北澤・花栗・野原・ドラゴグループ

本研究グループは、物質開発を目指す固体化学班と、STMおよび超音波測定、マイクロ波測定を中心とする物性物理班が連携をとりつつ、遷移金属酸化物および硫化物における物性および機能の開拓に取り組んだ。遷移金属化合物では、強い電子間相互作用（強相関）の影響で、電荷の運動の自由度のみならず、スピンや軌道の自由度が現れる。本研究では、これらの自由度が絡むとされる超伝導の探索と、これらの自由度を利用した酸化物熱電変換材料の開発を進め、 $\text{Sr}_x\text{Rh}_2\text{O}_4$ および、 $\text{Li}_x\text{CoO}_2\text{-Na}_y\text{CoO}_2$ 超格子が高い熱電変換特性を示すことを発見した。また、ソフト化学の手法により $\text{Na}_{0.25}\text{CoO}_2$ などの、従来の方法では得られない化合物の創出に成功した他、層状ミスフィット硫化物の層間に水分子を挿入すると、超伝導が発現することを発見した。また、希ガス内包フラーレンにおいて超伝導が発現すること、その転移温度は通常のフラーレン化合物のそれに比べて異常に低下することを発見した。

STMを用いた測定では、ドーピングされたモット絶縁体 $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ 、バンド幅制御型モット転移系 $\text{Ni}(\text{S},\text{Se})_2$ 、強磁性の極近傍にある常磁性金属 $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ 、大きな熱起電力を有する Na_xCoO_2 といった多くの強相関化合物の原子分解能STM像の観察とトンネルスペクトル取得に成功した。特に $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ の研究では、ドーピングされたキャリアの異常な不均化を見出した他、電子結晶相を発見し、STMが、表面科学の構造観察手法にとどまらず、広く電子状態解析ツールとして有用であることを示した。

2. 研究構想

本研究は、既戦略基礎研究「電子波の位相と振幅の微細空間解像」で完成した、電子波の位相解像装置としての1MV干渉型電子顕微鏡、及び、振幅解像装置としての走査型トンネル顕微鏡(STM)のさらなる高機能化を図り、ナノ空間の電子状態評価装置として確立するとともに、実際に様々な物質群に適用し、物性の発現機構解明と将来の機能性材料のシーズとなるような未知の物性探索を行うことを目的とし、3ヶ年の計画でスタートした。このような顕微鏡群による実空間での電子状態分布の可視化は、回折などを用いた波数空間での評価法が適用困難な不均一（非周期的）な系や、ナノ構造の評価に有効であり、ナノサイエンス、ナノテクノロジーの強力な武器となり得ることを強調したい。また、STMは従来、金属や半導体表面の構造解析ツールとして広く用いられていたが、走査型トンネル分光(STS)を積極的に利用して広く電子状態の解像ツールとして用いるAtomic site tunneling: ASTという視点は本研究独自のものである。

本研究では、高温超伝導体の高臨界電流化に対する指導指針を得ることを念頭に、磁束量子可視化を主な研究対象とした。磁束量子は巨視的波動関数の位相と準粒子状態密度の空間変化を伴い、前者は干渉型電子顕微鏡で、後者はSTMでそれぞれ解像できる。特に干渉型電子顕微鏡は、リアルタイムでの磁束の運動観察が可能な唯一の手段であり、磁束とピン止め中心の相互作用を研究する上で極めて強力な武器である。さらに、干渉型電子顕微鏡と相補的な走査型SQUID顕微鏡による磁束可視化も構想した。また、可視化の推進と平行して、高臨界電流化を目指した新物質開発も計画した。

磁束ピン止めは欠陥や不純物による電子状態のナノスケール不均一に起因するため、研究対象として格好のものであるが、新規顕微鏡群の応用先を特定の分野に限定することは好ましくない。特に、ピン止め中心探索のためのASTの過程で、高温超伝導体の特徴である電子間の強いクーロン斥力が、電子状態の不均一を著しく顕在化させるという可能性が次第に浮上してきた。このような不均一は磁束ピン止めとの関連のみならず、パーコレーション等を通した巨大応答の源としても重要である。そこで、顕微鏡群、特に物性計測ツールとしてのSTMの応用範囲を敷衍するため、平成14年度より高温超伝導体以外の強相関電子系物質に対してもASTの適用を試みるとともに、関連する物質開発にも注力することとした。

これらの構想を効果的に具体化するため、次の4グループ体制で研究を行った。

- 外村グループ（日立製作所基礎研究所）

1MV干渉型電子顕微鏡を用いた磁束の直接観測

- 岸尾・下山グループ（東京大学大学院工学系研究科）

マクロな磁束挙動の観測、新高臨界電流密度超伝導材料の探索と単結晶育成

- 長谷川グループ（東京工業大学応用セラミックス研究所（現東京大学大学院理学系研究科））

マイクロメートルスケールにおけるボルテックス観察法の確立とASTを用いた超伝導体状態の微細解像

- 北澤・花栗・野原・ドラゴグループ（現花栗・野原グループ）（東京大学大学院新領域創成科学研究科（現在花栗は独立行政法人理化学研究所））

STM/STSの応用展開と新規機能材料探索

3. 研究内容

3. 1 “1MV干渉型電子顕微鏡を用いた磁束の直接観測（外村グループ 日立製作所基礎研究所）”

1. 1MV電子顕微鏡用全方位磁場印加装置の開発

(1) 実施の内容

Lorentz法などにより磁性材料等を観察する際、実験に十分な自由度を確保しようとする、電子光学系の光軸、結晶の方位軸、磁場印加方位の3方位を任意に取り扱わなければならない。とりわけ、高温超伝導体中の磁束量子の様に母材に結晶異方性が強く外部磁場との相互作用によって物理現象が異なる場合には、実験中に上記パラメータを変化させることは、得られる情報量を飛躍的に増加させ、実験結果の精度を高める、このような目的に対応するため観察試料に対して全方位に磁場印加可能な装置の開発を行った。

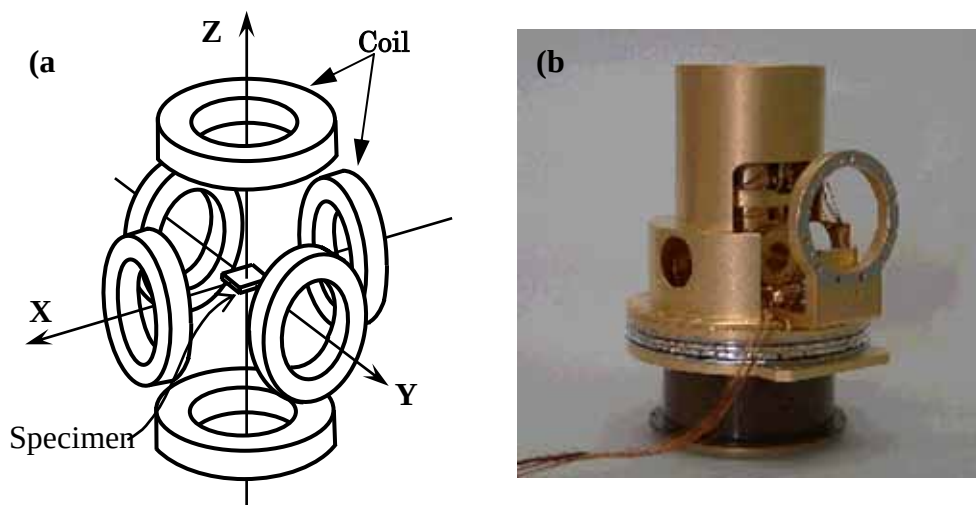


図1 装置の概容（a:コイル配置、b：概観写真）

図1に装置の概容を示し、特長を以下に列挙する。

- ① 試料に対して任意の方位に磁場印加可能。
- ② 試料に対して上下対称な振り戻し電子光学偏向系。
- ③ PCによる磁場印加系、振り戻し電子光学偏向系の制御。
- ④ 磁場印加系は空芯コイル採用による無ヒステリシス化（弱磁場実験での精度向上）。
- ⑤ 超伝導線材の利用による小型化。

⑥ 線材を超伝導転移点以下に冷却することによる、試料周辺の超高真空化への副次的効果。

等がある。試料への印加磁場強度はそれぞれ、水平方向： ± 9.4 mT、鉛直方向： ± 54 mTであり、これらの印加磁場範囲内で、対物レンズ以下の電子光学系へ正しく調整可能であることを確認している。

(2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

全方位磁場印加装置によって、従来の温度と磁場の大きさに加え、磁場の印加方位の実験パラメータが増えたことは、本研究テーマ、特に異方性の高い高温超伝導体中の磁束量子ダイナミクス観察実験に対して、大きな可能性が開いたと言える。具体的には、高温超伝導体薄膜中の傾斜した柱状欠陥と磁束量子との相互作用の観察における印加磁場方位依存性の実験や、高い異方性を有する高温超伝導体特有の現象である磁束量子の鎖状配列の動的な観察が挙げられる。特に後者の実験では、観察試料の膜面と磁場印加方位との相対関係を精度良く調整する必要があり、本装置無しでは実施が困難だと思われる。今後は高温超伝導中の層間のJosephson結合によって生ずるJosephson磁束量子の観察を始め、超伝導体以外の磁性体の磁区構造のリアルタイム観察等への利用が期待される。

2. 高温超伝導体中に生成した柱状欠陥と磁束量子の相互作用の観察

(1) 実施の内容

超伝導体の臨界電流密度の向上には、超伝導体内に存在する磁束量子を、自身を流れる電流に起因する Lorentz 力に打ち勝ってピン止めすることが不可欠である。殊に、高温超伝導体の場合、材料そのもののピン止め力が従来の金属超伝導体に比べ弱く、また、高温であるが故、熱揺らぎの為、磁束量子は動きやすいと言われている。この一方で、イオン、電子、中性子などの粒子線照射によるピン止め効果の向上は、高温超伝導体発見後、早期に見出され、現在でも継続的に研究されている。これは、粒子線照射によって、ナノメートルサイズの微細欠陥(非超伝導相)を多数導入し、これをピン止めに利用するというもので、ピン止めサイトの空間密度(照射量)、ピン止め形状が制御できる数少ない手法でもある。しかしながら、SQUID などのマクロな測定では、イオン照射によるピン止め効果の向上は測定されているものの、個々の欠陥と個々の磁束量子がどのように相互作用しているのかは未解明のままであった。微小な磁場による偏向も検出可能な高い干渉性、全方位に磁場印加可能な装置を兼ね備えた 1MV 電顕は、これらの問題点を根本的に解決するために最適な装置であると思われた。

実験ではまず、傾斜した柱状欠陥を高温超伝導体薄膜に導入することから開始した。

観察用薄膜試料を、専用の照射用試料ホルダを用い、高エネルギー重イオン (Au^+ , 240 MV) を膜表面に対して任意の角度を持つよう保持しながら照射した。また、専用のイオンドーズ制御用のシャッタをビームラインに組み込み、これを用いて任意の欠陥密度、入射角度の試料を数種類作製した。

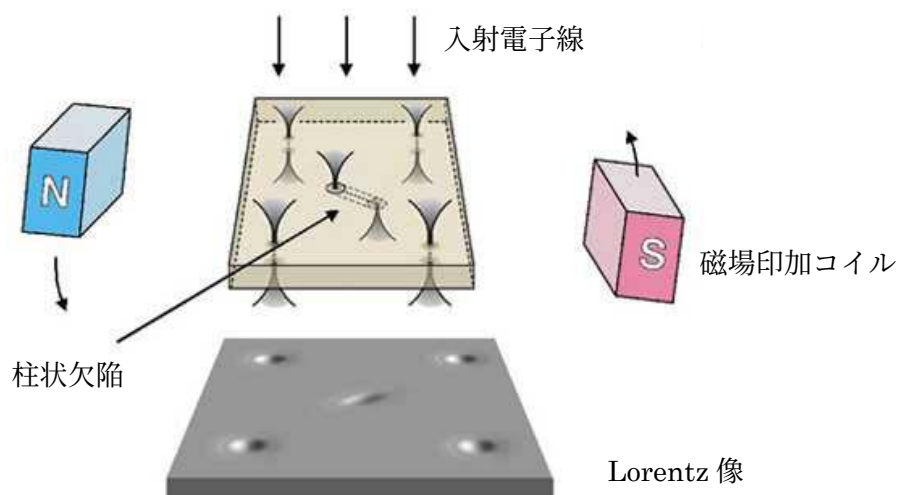


図 2 実験配置

実験配置を図 2 に示している。1MV 電顕内に試料を配置し、全方位磁場印加装置によって柱状欠陥に対して任意の角度で磁場を印加する。また、試料の温度も実験によって変化させる。計算による Lorentz 像のシミュレーションでは、柱状欠陥に沿って貫く磁束量子は、試料の持つ異方性によって膜垂直に貫く磁束量子の像とは異なる像になることが予想されている。実験は、この両者の相対的な変化を捉えるべく、条件を検討の上遂行した。

実験結果を図 3 に示す。この図は膜垂線に対して 80 度の角度を持つように導入した柱状欠陥（以降欠陥と記す）を有する、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (Bi-2212) 薄膜の Lorentz 法観察結果である。実験条件は試料温度が 30 K、印加磁場は欠陥と平行に 0.5 mT である。

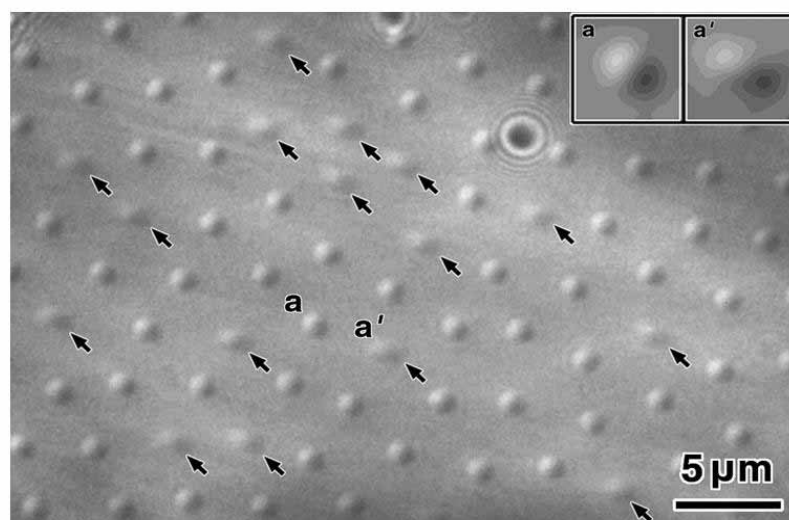


図3 実験結果（試料温度：30 K、印加磁場：0.5 mT）

図中に見られる白と黒のコントラスト対が、個々の磁束量子に対応している。また、矢印は欠陥に沿って貫いた磁束量子を示している。右上の挿入図は膜面垂直に貫いているもの(a)と欠陥に沿って貫いているもの(a')に着目し、コントラストを等高線表示したものである。この図から、欠陥に沿って貫くものは膜面垂直に貫いたものと比較して、磁束量子のコントラストが相対的に低く、欠陥の投影方向に楕円状に歪んだ像として記録されることがわかる。

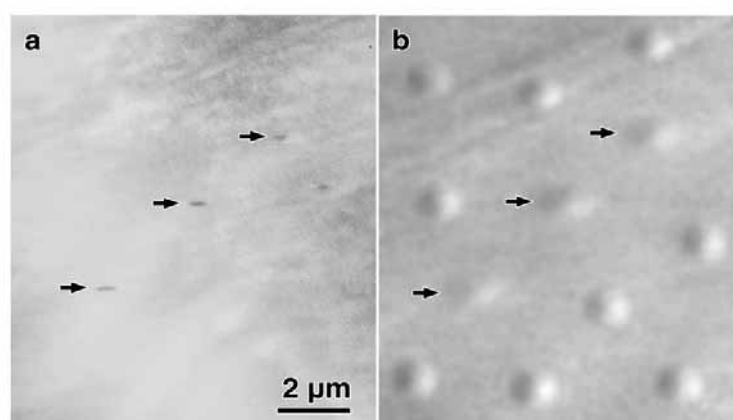


図4 同一箇所での実験結果
（試料温度：30 K、印加磁場：0.5 mT）

図4は同一箇所の正焦点像(a)と Lorentz 像(b)を示したものである。両図とも矢印で示した領域が欠陥に対応している。図3同様、欠陥に沿って貫く磁束量子が低いコントラスト、歪んだ像で観察されている。このコントラストが低くなる原因は、高温超伝

導体特有の異方性に有ると考えている。すなわち、各層間では磁束量子の持つ磁場が大きく広がり、電子線の偏向に寄与する成分が小さくなるため、このような低コントラスト、歪んだ像になると思われる。

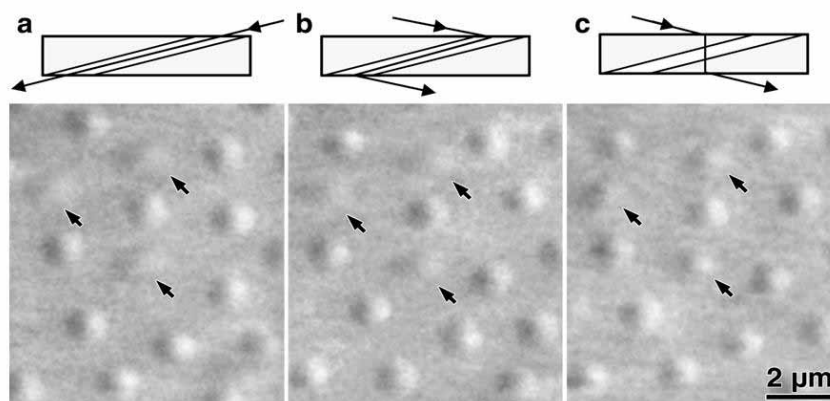


図5 実験結果

(試料温度：a,b は 35 K、c は b の状態から 10 K に再度冷却したもの)

図5は、印加磁場の方位依存性及び、試料温度依存性についての実験結果である。欠陥の位置を矢印で示しており、上部の模式図は欠陥と磁場印加方位を示している。aとbはともに磁場印加状態で T_c の温度域から 35 K に冷却した状態のLorentz法観察結果である。aでは欠陥と平行、bは非平行な方位から磁場を印加している。a、b双方の図中においても欠陥に沿って貫く磁束量子が観察されたが、いずれも同様に低コントラスト、歪んだ磁束量子像となった。a、bの双方の条件について、19～35 Kの温度域で同様な実験条件で観察を行ったが、この図から大きく変化することはないと、この温度域では磁場印加方位の依存性はないと結論付けられた。また、bの状態からそのまま 10 K まで温度を下げた実験では、温度とともに磁束量子像のコントラストが徐々に高くなり、cに示すように膜面垂直に貫くものとほぼ同程度のコントラストの像に変化した。この原因としては、温度の低下とともに、試料内に一様に存在する酸素欠損に起因すると思われるintrinsicなピン止めの効果が顕著になり、導入した欠陥のピン止め効果が相対的に弱くなったため、膜垂直に貫く形態に遷移したためであると考えている。これら一連の現象は可逆的で、VTRにこの過程を記録することも出来た。

(2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

上記に示す一連の実験結果は、任意の方位から印加磁場することが可能であり、微小な磁場による電子線の偏向が検出可能な本装置の特長を最大限活用した実験結果であると言える。また、従来得られていなかった高温超伝導体内部での磁束量

子の構造を見た唯一の報告でもある。このことは、当プロジェクトにおける、装置面及び技術面の優位性、或いは研究レベルの高さをアピールする宣伝効果は極めて高いと思われる。特に、傾斜した欠陥と磁場印加方位との依存性、あるいは試料温度依存性に関する実験結果は、臨界電流向上に関連する問題を扱う研究機関にとっては、新たな知見として有効な情報である。今後も引き続き磁束量子ピン止めに関する諸問題の解決に向け、一層拍車がかかることが予想される。

3. “高温超伝導体の異方性を反映した磁束量子の鎖状配列の動的観察”

(1) 実施の内容

高温超伝導体と従来の金属超伝導体との間で大きく違う点として、高い臨界温度のほかに、結晶学的、電磁氣的異方性が高いといった特徴がある。この高い異方性は、高い臨界電流密度を期待する工学的応用面では、取り扱いを煩雑にする要因の一つとなっているが、物理的側面を議論する分野においては、従来とは異なる複雑な磁場-温度相図が提唱されるなど、研究対象として現在においても注目を集めている。高温、高磁場における磁束格子融解現象についての研究結果はその良い一例である。また、外部磁場を試料の膜面(c面)に近い角度で印加すると、磁束量子が鎖状配列(chain structure)と呼ばれる特異な配置をとることが Bitter 法(試料は Bi-2212)によって見出されている。その観察結果の一例を図6に示す。鎖状配列というのは、高温超伝導体中に生ずる、通常の磁束量子からなる稠密三角格子(Abrikosoﬀ flux lattice)とは別に、三角格子の間隔より狭い間隔で線状に配置する列のことである。

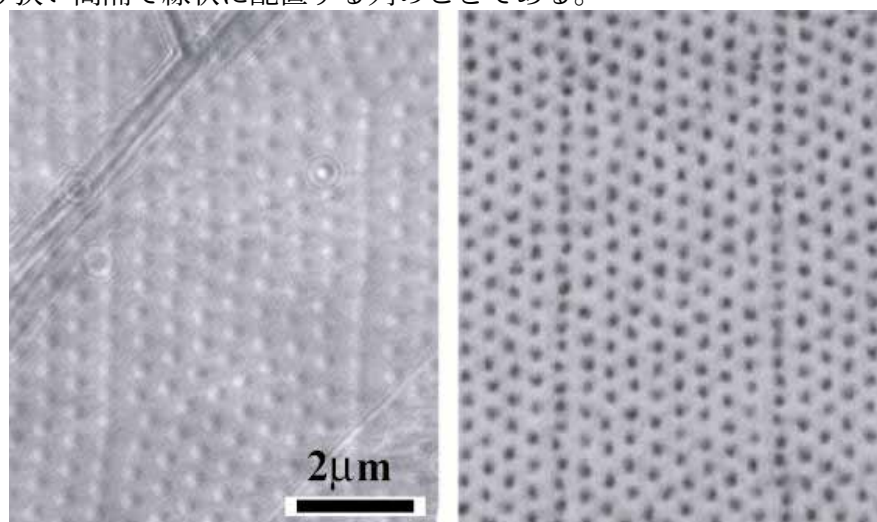


図6 Bi-2212の鎖状配列観察例

(左：Lorentz法、右：Bitter法による観察例)

この現象はYBa₂Cu₃O₇(Y-123)においても観察されている。しかし、Y-123ではすべ

ての磁束量子が鎖状配列を構成するのに対して、Bi-2212 では鎖状配列の列と通常の三角格子が混在するため、両者間では磁束量子の配置を決めるメカニズムが異なることが予想されている。Koshelevはこの現象に関して、層間のJosephson結合によって生ずるJosephson磁束量子と膜面垂直に貫く磁束量子*との相互作用によって生ずるというモデルを提案している。我々のサイトにおいても、究極の目的のひとつとしてこのJosephson磁束量子の可視化を掲げており、また先述の1 MV電顕と全方位磁場印加装置の高いポテンシャルを発揮できる格好のターゲットでもありと考えられることから、このモデルに沿ったJosephson磁束量子とPancake磁束量子との相互作用の観察実験を遂行した。

図7に実験配置を示す。全方位磁場印加装置を用い、あらかじめ膜面に平行な磁場(B_x)を印加し、これにより層間に横たわる Josephson 磁束量子を生成する。次に徐々に膜面垂直成分(B_z)の磁場を増加させ、Pancake 磁束量子を膜内に侵入させる（黄色で図示）。Josephson 磁束量子と Pancake 磁束量子とが何らかの相互作用した場合は、Pancake 磁束量子が周辺と特異的な配置をとることが予想される（赤で図示）。

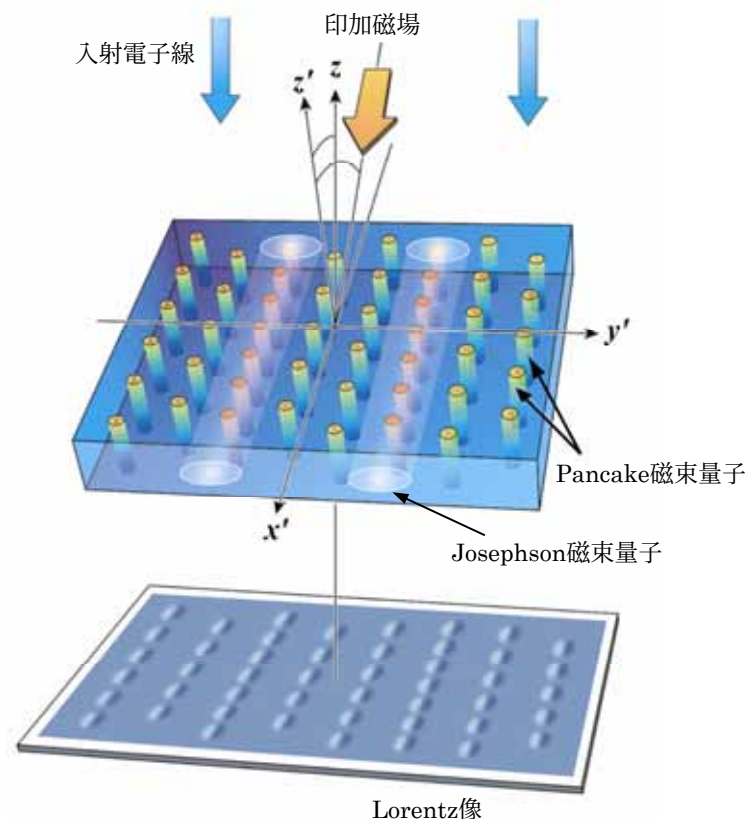


図7 鎖状配列観察の実験配置

* Josephson磁束量子と区別するため、以降この磁束量子をPancake磁束量子と呼ぶこととする。

図8に実験結果を示す。実験は、 $>T_c$ の状態では B_x を5 mT印加し、50 Kの状態を観察を行った。(a)→(d)は同一箇所における B_z を徐々に増加させた一連の過程を示したものである。また、白色の矢印は鎖状配列を示している。

B_z の増加とともに、Pancake磁束量子は膜内部に侵入する(b)。ところが、あたかも行き先が決まっているかのように、まず列状に配列し(c)、その後に列と列の間に配置していく様子が観察された(d)。この列状に配列する発端となっているものこそJosephson磁束量子にあると考えられる。この鎖状配列は高温超伝導体の高い異方性を反映した独特の現象であり、我々の得た実験結果は、Koshelevの提案したJosephson磁束量子とPancake磁束量子との相互作用モデルを説明できるものと考えている。

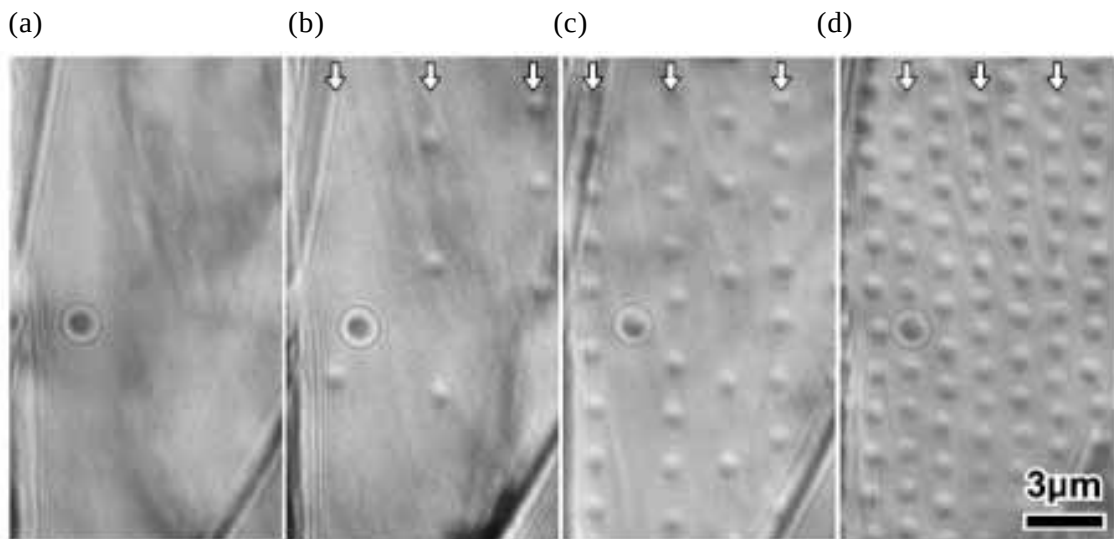


図8 Bi-2212における鎖状配列の動的観察結果

(試料温度：50 K、 $B_x=5$ mT、 B_z は各々、0,0.02,0.1,0.17 mT)

この研究を進める一方で、我々は(財)国際超伝導産業技術センター (ISTEC) と共同研究契約を結び、Y-123に生ずる磁束量子の鎖状配列の観察を試みた。

図9はY-123に代表される、比較的異方性の小さな高温超伝導体における鎖状配列のモデルを示したものである。このモデルでは、Bi-2212の場合のようなJosephson磁束量子とPancake磁束量子の相互作用モデルとは全く異なる。磁場をc軸から大きく傾けて印加した場合に、傾斜角度に応じて磁束量子も傾き、傾斜した二つの磁束量子間に吸引力が働いた結果、磁場の投影方向に磁束格子が歪み、あたかも列状に見えるというものがある。

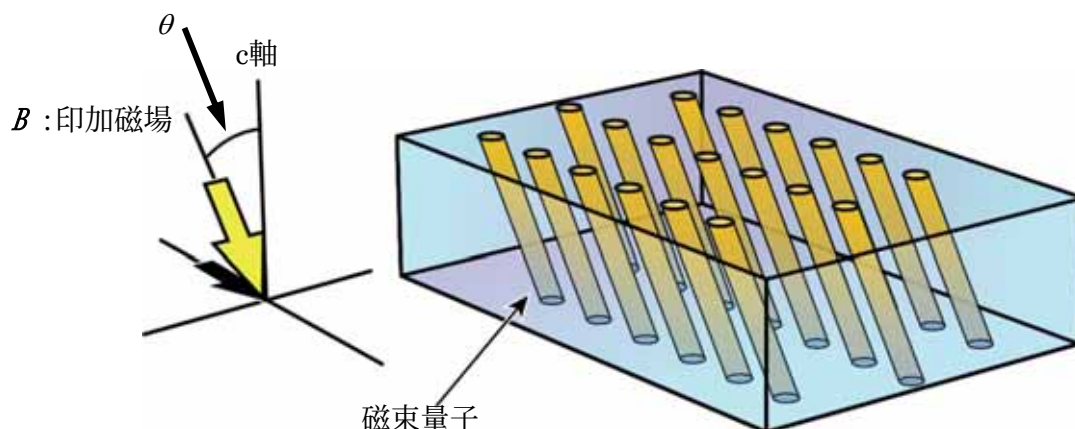


図9 鎖状配列のモデル (Y-123など)

図10にY-123における鎖状配列観察結果を示している。試料温度は30 K、印加磁場とc軸とのなす角度 θ は(a)→(d)の順に、75、82、83、84度である。 θ が75度の状態では磁束量子像に顕著な変化は見られないが、さらに傾斜させると傾斜角度に伴って磁束量子像も伸びていく様子が観察された。(c),(d)ではこのために列状に配列して見えている。これらの結果から、図9で示したモデルを説明可能であると考えている。一方前述のBi-2212での実験結果である図8 (c)或いは(d)に着目すると、鎖状配列を構成する磁束量子とそれ以外の磁束量子像にコントラストの差はほとんどなく、像自身に歪みも見られない。すなわち、Bi-2212における鎖状配列を構成する磁束量子は傾斜していないということが結論付けられ、異方性の異なる両者が別々の発現モデルで説明されることが、これらの実験結果を通し裏付けられる。

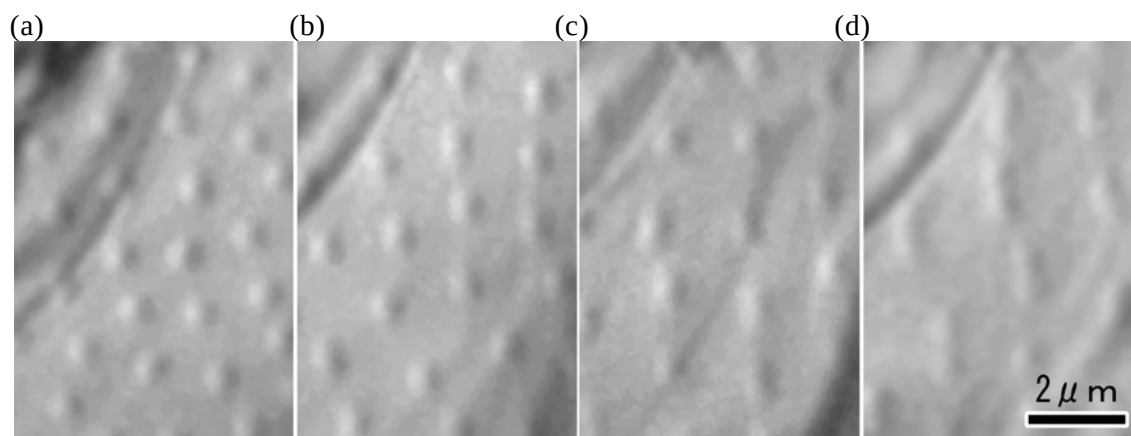


図10 Y-123における鎖状配列観察結果
(試料温度：30 K、 $\theta = 75^\circ, 82^\circ, 83^\circ, 84^\circ$)

(2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

大小2種類の異方性を持つ高温超伝導体を用いた鎖状配列の観察実験から、各々の発現モデルを用いて説明可能な実験結果得ることができた。すなわち、異方性の大きな場合にはJosephson磁束量子とPancake磁束量子との相互作用によって、異方性の小さな場合には磁束量子が傾くことで鎖状配列が発現すると思われる実験結果を得た。

本研究においては、Josephson磁束量子を可視化するまでには至っていない。しかしながら、この問題に関して、最適な試料の選定、電子光学系の最適化などの実験上の課題点も実験を通して明らかになった。これらの課題点を克服し、可視化が実現できれば、これまで観察不可能であったJosephson磁束量子の挙動或いは、Josephson磁束量子上に配列したPancake磁束量子の振る舞いの同時観察が実現できると考えている。実現できれば、磁束量子のポンプ作用の機構解明を始め、移動速度が極めて速いとされるJosephson磁束量子を使った電子デバイス（Josephson接合素子）への応用ができるものと期待される。

3. 2 “マクロな磁束挙動の観測、新高臨界電流密度超伝導材料の探索と単結晶育成（岸尾・下山グループ 東京大学大学院工学系研究科）”

(1) 実施の内容

我々の研究グループでは高温超伝導体の高臨界電流密度化を磁束ピンニングの強化、単結晶物性の把握、材料微細組織の改善の面から進める研究を実施した。このほか同様な層状構造を持つ酸化物熱電材料についても高温超伝導物質開発における知見を生かして化学組成、配向組織制御の観点から高機能化を図る研究を行った。

高温超伝導体については、その 1986 年の発見以来、臨界電流特性の支配因子の解明やその改善に向けた研究が単結晶を用いた基礎的なものから、材料形状の試料を用いた実用的なものまで幅広く展開されてきているが、構成元素が多様でかつ結晶構造が複雑であることから未解明な部分が多く、また改善の余地が大きい。このような背景の下、過去の戦略基礎研究で挙げてきた成果にも立脚して、本研究期間にはよりミクロな化学組成制御が臨界電流特性に及ぼす効果を中心的な課題とした研究を遂行した。

上述のように高温超伝導体は複雑な組成、構造を持つ酸化物であり、従来の多くの研究ではまず、単相の試料を作る、ということに力点が置かれ、単相試料内の化学組成の厳密な分析や解析がやや不十分であったことが否めない。また様々なドーピングに関する研究もその効果が顕わになるような数%以上の高濃度ドーピング研究が主体であり、できる限り組成ズレや欠陥が少ない母相中でのドーパントの物性に与える影響が調べられた例はほとんどなかった。

高温超伝導はその短いコヒーレンス長(絶対零度において結晶の ab 面方向で約 2 nm, c 軸方向は 0.01~1nm)に象徴されるように、極めて短距離の秩序によって本来の超伝導を発現するため、電子的にクリーンな状態を実現しやすい超伝導体と考えられてきた。しかし、2 nm の長さは高温超伝導体結晶の a 軸長の約 5 倍であり、半径 2 nm の ab 面内の円内には単位格子が約 80 個存在する。つまり 1%程度のわずかな組成のゆらぎがあってもマクロな超伝導特性に影響が現れる。さらにコヒーレンス長は臨界温度(T_c)に近付くとともに長くなるので、例えば液体窒素温度(77 K)での実用が考えられている希土類 123 相超伝導体($T_c = 90\sim 98$ K)などにおいては、組成の揺らぎの影響がより試料全体の性質として現われやすい。

本研究で意識した化学組成のミクロな制御には 2 つの目的がある。1 つは厳密な定比金属組成と金属占有サイトの制御を通じた、理想的にきれいな高温超伝導体の母相を持つ試料の物性を解明することであり、もう 1 つはそのようなきれいな母相中に意図的に微量の不純物ドーピングやわずかな組成揺らぎの導入の臨界電流特性改善効果を明らかにすることである。これらの目的に対して、良質な各種単結晶および希土類 123

相超伝導体では溶融凝固バルクも作製し、酸素組成の精密な制御を施した上で物性の評価を系統的に行った。

一方、材料組織の制御という観点では、磁場を用いた結晶配向法など、新規な微細組織制御技術が生まれていることを背景に、より高度に配向した材料作製法の開発を様々な高温超伝導体に対して実施した。特に材料開発では軽視されてきたミクロな組成制御研究から得た知見を生かし、新規な実用候補となり得る材料開発を試みた。

酸化物熱電材料については、層状の Co 酸化物およびペロブスカイト型構造を持つ Mn 酸化物を中心に高熱電特性物質の開発を目指した研究を実施した。主に多結晶体試料についてドーピングを主体とした化学組成の制御による熱電特性（電気抵抗率、熱起電力、熱伝導度）の変化を系統的に調べ、特性の改善に有効な手法の確立を目指すとともに、多結晶体の組織の制御も試みた。

(2) 得られた研究成果の状況および今後期待される効果

以下には本研究で実施した研究課題のなかで主なものについて記述した。

1. Bi2212 超伝導単結晶における不定比金属組成制御と超伝導特性

Bi2212 超伝導体は化学式 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ と表わされるが、このような定比の金属組成の化合物として得られることは稀である。つまり金属組成に比較的大きな不定比性があり、Bi が過剰で Sr が欠損したり、Sr サイトに Ca が置換しやすいことが知られている。Bi2212 は高温超伝導体のなかでも異方性が極めて大きい代表的物質として、良質な単結晶が得られることからその基礎物性の評価が盛んに行われてきた。特に磁束物理の分野では、高温超伝導体の特徴的な磁束の振る舞いを調べる格好の研究対象となり、その理解に貢献してきた。しかし Bi2212 単結晶は結晶性や超伝導特性の均一性こそ良質であるものの、上記のとおり金属組成に不定比性を持ちやすく、特に単結晶では Bi 過剰、Sr 欠損の組成において良質な単結晶が得られるというやや皮肉な性質を持っている。従来、最も頻繁に物性研究に用いられてきた単結晶の化学組成は、おおよそ $\text{Bi}_{2.1\sim 2.2}\text{Sr}_{1.8\sim 1.9}\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ であり、Bi, Sr 量は定比から 5~10% もズレている。

一方、Bi2212 超伝導体は銀基体上での溶融凝固法により高度に配向した緻密な多結晶線材が得られる。昨年にはこれを用いた 25 T 級超高磁界超伝導磁石が試作されるなど、極低温、高磁界応用の最右翼材料になっている。Bi2212 線材では溶融凝固後の組織中の不純物相を減らすべく出発組成を定比組成から若干(当該サイトの 3%以下)ズラすことが多い。この Bi2212 線材の臨界電流特性を Bi2212 単結晶と比較すると、10 K 以下では粒界を持たない単結晶のほうが優れるが、15 K 以上では線材の特性が大きく上回るようになり、臨界電流密度(J_c)がゼロになる不可逆磁場(H_{irr})は 20 ~ 50 K の中温

域において線材のほうが約 1 桁も高くなる。このような単結晶と線材の臨界電流特性の大きな違いについては、線材における小傾角粒界の磁束ピンニング効果などが理由として挙げられていたが、十分なコンセンサスは得られていなかった。なお、10 年以上前には Bi2212 単結晶において金属不定比性と臨界電流特性の関係を調べた研究例がいくつかあったが、当時はもう 1 つのキャリアドーピング状態を通じて物性に大きく影響する因子である酸素不定比性の制御の重要性が明らかになっておらず、金属不定比性が本質的な超伝導特性に与える影響は結局不明のままであった。

このような背景のもと、我々は Sr, Ca の比および Bi を定比に制御した Bi2212 単結晶を育成し酸素組成を制御した上で超伝導特性、特に臨界電流特性を系統的に評価した。

単結晶の育成は赤外線集光方式のフローティングゾーン炉を用い、Bi 過剰、Sr 欠損のを抑制を試みた単結晶では弱い還元雰囲気 ($P_{O_2} = 0.05 \text{ atm}$) で育成を行った。これらの結晶について 400°C 、空气中で十分平衡状態に達するまでポストアニールを施した後、急冷することにより酸素量を制御した。

仕込組成 $\text{Bi}_{2.1}(\text{Sr}_{2.8-x}\text{Ca}_x)\text{Cu}_2\text{O}_y$ [$x = 0.9, 1.0, 1.1, 1.3$] および $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ から育成し、得られた単結晶について ICP 発光分析により金属組成がほぼ仕込組成通りであることを確認した。これらの単結晶は定比組成に近づくほど T_c が高くなる傾向を示し、また、臨界電流特性を磁化ヒステリシス測定から Bean モデルをもとに解析したところ図 1 に示すような結果を得た。 J_c は明らかに定比組成に近づくに伴い大きく改善する傾向にあり、これは図に示した 20 K だけでなく 50 K までその変化が顕著であった。特に、これまで様々な研究に供してきた Bi 過剰、Sr 欠損の Bi2212 単結晶(図 2 では Bi : Sr : Ca = 2.1 : 1.8 : 1.0 の結晶に対応)の臨界電流特性は、定比組成仕込の単結晶のそれより大きく劣り、 J_c として約 1 桁、 H_{irr} も 3 割程度低下していることが明らかになった。このような金属の不定比組成が臨界電流特性を大きく低下させることは本研究で初めて明らかになったものであり、Bi2212 単結晶と線材の臨界電流特性の大きな違いの主因であることが示唆された。

不定比金属組成が臨界電流特性を劣化させた原因としては、ミクロな構造の歪が考えられる。Bi2212 では定比組成の理想的な結晶構造においても超伝導を担う CuO_2 面が平坦ではない。これは主に BiO 層の変調構造に起因するが、さらにその間の SrO 面のサイズが小さいことも影響している。 CuO_2 面の直上、直

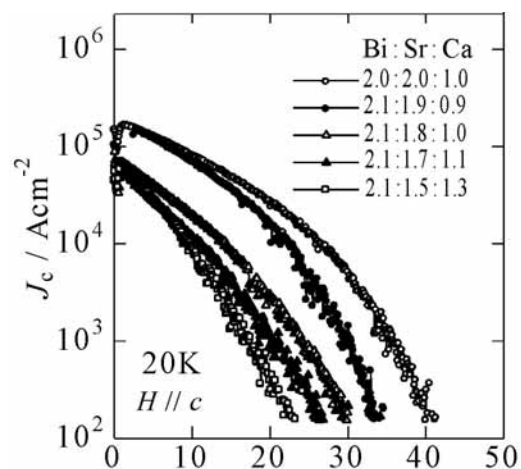


図 1. 様々な金属組成の Bi2212 単結晶の 20 K における J_c の磁場依存性。

下に SrO 面を持つ高温超伝導体は歪んだ CuO_2 面を持ち、SrO 面の代わりに BaO 面を持つ物質群に比べて必ず T_c が低下する。ここで Sr の一部をよりイオン半径が小さい Ca が置換したり、過剰 Bi が Sr サイト近傍に位置すると CuO_2 面の歪がより促進され、超伝導性の低下が考えられる。実際に本研究でも定比組成から離れるにつれて T_c が低下する傾向が認められたが、欠損や置換の割合が該当サイトの 5~10% またはそれ以上に及ぶことは、先にコヒーレンス長と不均一さの関係を述べたように、局所的な欠陥として扱うには密度が高過ぎ、単結晶内の超伝導を一様に劣化させていると考えるべきであろう。

この研究から得られた成果は、以下の 2 つの今後の課題を示している。1 つは実用材料においてより定比に金属組成を近付けた材料開発を実施することである。これは直接材料の高臨界電流特性化をもたらすと期待できるが、従来の簡便な空気中での熱処理プロセスではなく酸素分圧を制御した合成法の検討が必要であることを意味する。もう 1 つは、Bi2212 の臨界電流特性以外の基礎物性においても金属不定比性の影響の有無を慎重に調べなければならないことである。特に磁気相図に大きな変化が現れることは確かであるが、電氣的磁氣的異方性の評価と併せて、高異方性の代表的物質 Bi2212 の磁束の状態とピンニングの支配因子をより明解なものにしていけるはずであり、これは高温超伝導体の特異な磁束物理の理解をより本質的なものに近づける重要な一助になる。

2. Pb 置換 Bi2212 単結晶における不定比金属組成制御とドーピング

我々のグループは Bi2212 の Bi サイトに大量の Pb を置換することによって、電氣的磁氣的異方性の大幅な低下と同時に新たな磁束ピンニングサイトが生成し、特に 20 K 以上の臨界電流特性が劇的に改善することを戦略基礎研究期間内に単結晶試料において見出した。その後、Pb 置換 Bi2212 線材の開発に取り組んできたが、結晶粒内はともかく Pb 置換によって粒界の結合が著しく劣化する難題を克服する有効な手段が見つからず今日に至っている。しかし、 T_c がより高く (~110 K)、この数年実用が急速に進んでいる Bi2223 線材では、相の安定化のために Bi サイトの 10% 以上を Pb で置換しなければならない。Bi2212 線材は溶融凝固法であるのに対し Bi2223 線材は焼結法で作製されることから Pb 置換による粒界の結合劣化はほとんど無いと考えられている。しかし Pb 置換 Bi2223 も異方性がかなり高く、高温、磁界下での磁束ピンニングに優れないことから、送電ケーブル以外の応用は 20 K 以下の低温域に限られている。よって、化学的な物質制御の観点からの臨界電流特性の改善、特に結晶粒内の性質を本質的に改善していく必要がある。本来、単結晶を用いた研究が望ましいが、実用材料と同レベルの Pb 置換量が Bi2223 単結晶では達成されていないため、代わりに Pb 置換 Bi2212 単結晶に関する研究が Bi(Pb)2223 線材に対して重要な知見を与えることになる。

このような背景のもと、本研究では Pb 置換 Bi2212 単結晶の磁束ピンニング力の一層の強化を目的とし不純物置換効果を詳細に調べた。もちろん Bi2212 単結晶への不純物置換効果は古くより系統的に調べられており莫大な数の報告があるが、これらの研究の目的は、不純物置換によって超伝導を意図的に弱めた物性の評価から、逆に高温超伝導発現の機構解明の知見を得ようという物理的な興味に基づくもので、置換量は目的サイトの 1%以上であった。また、微量 Zn 置換 Bi2212 単結晶が育成された例もあるが、臨界電流特性の改善は報告されていない。いずれにせよ Bi2212 単結晶に対して明らかな臨界電流特性の向上に結びついた不純物置換は、微細な面状のアモルファス領域を形成した Ti 置換以外報告例がなかった。

本研究の特徴は Pb 置換によって異方性を低下させた Bi2212 単結晶に対する不純物置換であり、このとき不純物が周囲に弱超伝導領域を形成し磁束ピンニングサイトの機能を持つことを期待した。異方性低下の効果は、有効なピンニング体積を増やし、同様な形状、種類の欠陥でもその実効的なピンニング力を強化する、言い換えれば Bi2212 単結晶では顕わにならなかった不純物置換によるピンニング効果が、Pb 置換 Bi2212 単結晶において発現することが期待できるのである。しかし、Pb 置換 Bi2212 でも依然として異方性が高い部類に入り、点欠陥的なピンニングは超伝導を担う CuO_2 面以外のサイトでは効き難いと考え、直接 Cu の不純物元素置換を試みた。

実験では大量の Pb だけでなく Cu サイトに Fe, Co, Ni などの不純物も共置換した Bi2212 単結晶をフローティングゾーン法で育成し、酸素量を制御した後、臨界電流特性を前述のように磁化法によって評価した。ここで育成した単結晶の仕込組成は、 $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.6}\text{Sr}_{1.8}\text{Ca}(\text{Cu}_{1-x}\text{M}_x)_2\text{O}_y$ [M : Fe, Co, Ni]と表わせ、金属組成には不定比がある。なお、Bi に対して 20%以上 Pb を置換した Bi2212 単結晶では結晶の b 軸方向に沿って Pb 濃度が異なる 2 相が交互に現われるミクロな相分離(ラメラ構造)が数~数十 nm 間隔で発生し、その界面が有効な磁束ピンニングサイトとなることから、 a 軸方向の J_c は b 軸方向よりも必ず高い。つまり ab 面内にも J_c の異方性がある。そこで磁気光学法によって ab 面内の磁束密度分布を観察し、不純物置換による界面のピンニング効果の変化も調べた。

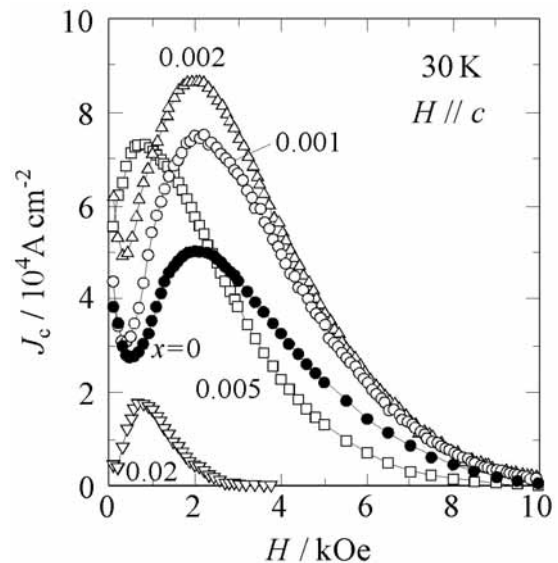


図 2. $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.6}\text{Sr}_{1.8}\text{Ca}(\text{Cu}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{O}_y$ 単結晶の 30 K における J_c の磁場依存性。微量 Co 置換が J_c 改善に有効であることを初めて見出した。

CuO₂ 面の Cu への Fe, Co, Ni などの置換が超伝導を著しく劣化させることは良く知られているが、本研究でもこれらを 2%置換($x = 0.02$)すると T_c は 10 K 以上低下した。しかし、0.2%程度の置換では T_c の低下はせいぜい 2~3 K であり、物質本来の T_c はほぼ保たれる。図 2 に Co 置換量を変えた Pb 置換 Bi2212 単結晶の 30K における J_c の磁場依存性を示した。2%置換した単結晶においては、大幅な T_c の低下もあり、著しく劣化した特性が観測されたが、驚くべきことに 0.1~0.5%置換した試料は無置換のものと比べて明らかに優れた臨界電流特性を示した。特に 0.2%置換した結晶が最も優れている。このような Co の微量置換による Pb 置換 Bi2212 単結晶の J_c の改善は 20~50 K の温度範囲において認められた。微量の不純物ドーピングによるピンニング力改善については希土類 123 相溶融凝固バルクへの Zn 置換の例があるが、Bi 系超伝導体では初めての発見であり、異方性の低下が微量不純物のピンニング効果を引き出す重要な役割を果たしていることがはっきりした。

図 3 は磁化緩和測定から評価した Pb 置換 Bi2212 単結晶のピンニングポテンシャルの Co 置換量による変化を表したものである。この結果は微量の Co 置換によって磁束ピンニング力が高められたことを示す強力な傍証である。また、図 4 に示したように微量置換の臨界電流特性改善の効果は Fe, Ni においても確認された、普遍的な高価であることが強く示唆された。

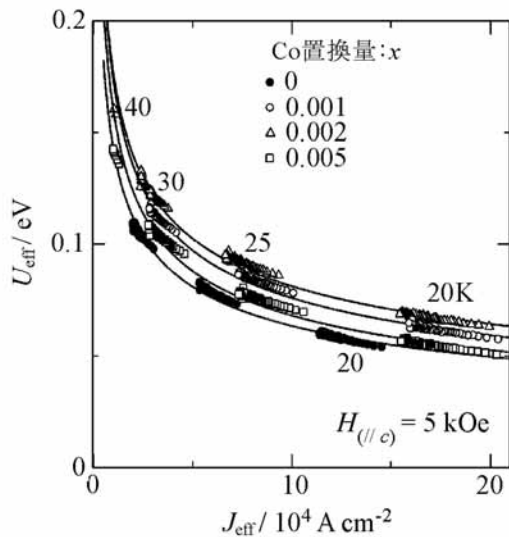


図 3. $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.6}\text{Sr}_{1.8}\text{Ca}(\text{Cu}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{O}_y$ 単結晶のピンニングポテンシャルの Co 置換量による変化。

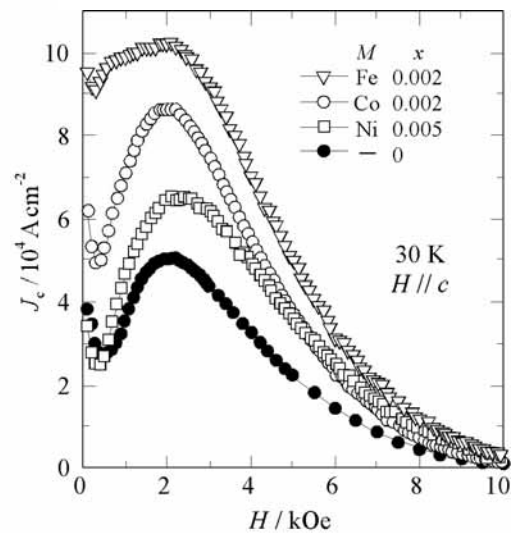


図 4. $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.6}\text{Sr}_{1.8}\text{Ca}(\text{Cu}_{1-x}\text{M}_x)_2\text{O}_y$ [M: Fe, Co, Ni]単結晶の 30 K における J_c の磁場依存性。

ところで、不純物元素Mが一様にCuO₂ 面に分布したと仮定した場合に、 $x = 0.002$ においてMの分布間隔は 9.1 nm となり超伝導コヒーレンス長 ξ_{ab} の 2 倍より T_c 近傍を除いて十分長い。ちなみに同じ条件でアニールしたBi(Pb)2212 単結晶の $\xi_{ab}(0)$ は 1.6nm

である。つまりMイオンの置換によって超伝導が弱められた微小な領域が健全なBi(Pb)2212のマトリクス中に分散した状態になっていると考えられ、このときCoイオン近傍の局所領域は有効なピンニングセンターとして働くことができる。一方で、Mを2%置換した場合、Mイオンの分布間隔が短く、超伝導が弱められた領域が重なり合ったため J_c 特性が大きく劣化してしまったと解釈できる。以上より、本系の臨界電流特性改善にはCuサイトに対して0.5%以下といった極微量の不純物置換が有効であることが

説明できる。なお、磁気光学観察からは不純物置換によって ab 面内の J_c の異方性が系統的に低下することがわかり、しかしながら透過型電子顕微鏡観察では不純物置換によらずラメラ構造が生成していることが確認できた。よって不純物置換によってラメラ構造界面のピンニング効果が弱められたことが示唆されたが、観測された J_c の向上はそれを補う以上のピンニング力が増強されたことを意味する。

一方、Pb置換Bi2212単結晶においても前項で述べた金属不定比性が臨界電流特性に与える影響を調べた。20~60Kにおける J_c の磁場依存性を図5に示したが、40K以下では明らかに定比組成の単結晶の方が明らかに優れた臨界電流特性、即ち、高い J_c と H_{irr} を示すことがわかった。

以上、本研究で得られたBi(Pb)2212単結晶における3d遷移金属の微量置換による J_c 特性改善の手法および定比組成へのアプローチはBi(Pb)2223実用材料の J_c の向上に生かせる成果である。前者では若干の T_c の低下を伴うが、Bi(Pb)2223本来の110 Kという高い T_c が数K低下するだけならば、例えば液体窒素温度(77K)での応用には全く差し支えないものと考えている。

3. 希土類123相溶融凝固バルクの開発と微量ドーピング効果

希土類123相超伝導体($\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$; RE = 希土類元素)は、 T_c が90~98 KでありBi2223超伝導体比べてやや劣るが、異方性が低く、77 K、高磁場下でも高い J_c を維持する。このため、近年は77 Kで広く実用できる可能性を持つ希土類123の薄膜線材開発に世界中で莫大な資金が投入されているが、このほか、本系では溶融凝固法によって数cm~十数cm大の大型の結晶を育成することができる。 J_c が高いほど大型結晶の内部に高磁場が捕捉できるのだが、その大きさは永久磁石をはるかに凌駕し30 K以

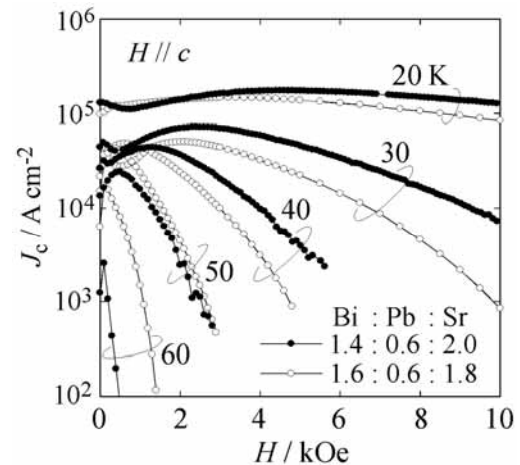


図5. 定比金属組成、不定比金属組成から育成したPb置換Bi2212単結晶の臨界電流特性の比較。

下に冷却すると優に 10 T を超えるものも作製されている。大型バルク状の超伝導結晶の強力磁石応用は高温超伝導体の誕生以後生まれた新しい超伝導応用の分野である。

ところで希土類 123 相では 13 種類の希土類元素が選択でき、うち Pr を除く 12 種類において 90 K 級の超伝導体となる。 T_c は希土類イオンが大きいほど高くなる傾向にあり、最高は La123 の 98 K で Lu123 では約 90 K となる。しかし、希土類イオンが大きくなるに伴い、Ba サイト

への希土類イオンの固溶が起りやすくなり、これを抑制しない限り高い T_c は実現せず、そのためには適切な還元雰囲気下で溶融凝固を行わなければならない。さらに、これらでは図 6 に示したように低い温度での酸素アニールが必要であり、酸素拡散が低温で遅くなることを考えると大型結晶材料では少なくとも数百時間の長時間アニールが要求される。このため、これまで実用バルク材料として開発されてきたのは主に Y123 の溶融凝固体であり、他の希土類 123 については研究室レベルの試作にとどまっている。

本研究では Er123 に注目した。図 6 から明らかなように Er123 では高い T_c を実現するための酸素アニール温度が高く、酸素の拡散が比較的速やかであることから大型結晶においても内部まで十分なアニールが短時間で達成できるためである。Er123 の H_{irr} は Y123 より若干劣り 77 K では結晶の c 軸に平行な磁場下で 50 kOe 程度であるが、バルク応用の多くで要求される捕捉磁場は 2~3 T であり、それ以下の磁場で十分に高い J_c を示すものであれば実用材料の候補に十分なり得ると考えた。

Er123 と Er211($\text{Er}_2\text{BaCuO}_5$)を出発原料とし、これらを 7:3 のモル比で混合後、Nd123 単結晶を種結晶として溶融凝固法によりバルク体を育成した。Er211 相は析出物として Er123 母相中に分散しその界面が強力な磁束ピンニングサイトとなる。そこで Er211 析出物の微細化に有効な手段として知られている Pt と CeO_2 の微量添加も同時に行った。溶融凝固の温度パターンおよび縦方向の温度勾配の最適化

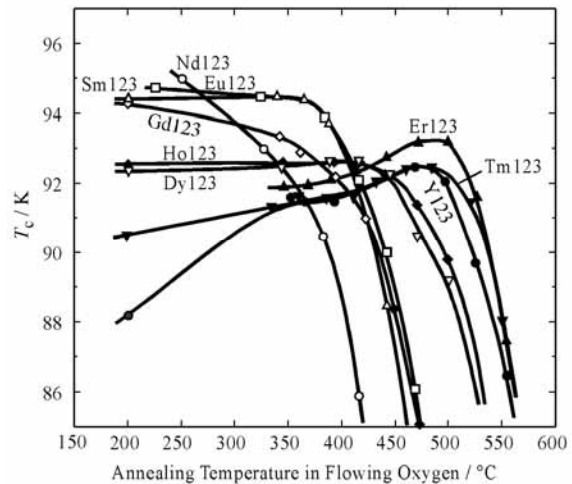


図 6. 様々な希土類 123 超伝導体の酸素アニール温度と T_c の関係。

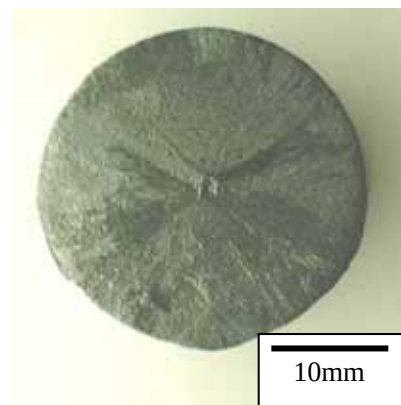


図 7. Er123 溶融凝固バルクを上から撮影した写真。種結晶より見事に成長したシングルドメインの大型結晶である。

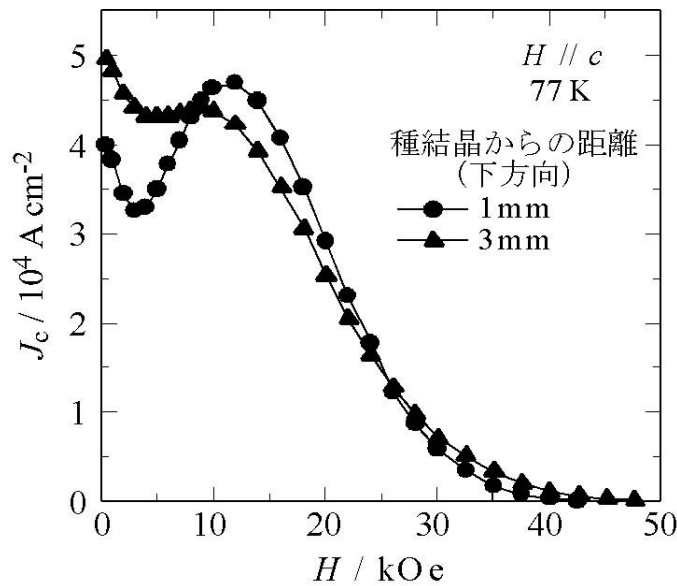


図 8. Er123 溶融凝固バルクの 77 K における臨界電流特性。 c 軸方向に成長した領域の特性であり、 H_{irr} は低いものの 77 K での強力磁石応用に対しては十分に優れた特性を持つ。



図 9. 溶融凝固バルク断面の概念図。背が高い円柱状バルクでは c 軸成長領域が大半を占める。

を経て、Er123 においても図 7 に示すようなシングルドメインから成る大型バルク体の育成に成功した。酸素アニールを 100 時間施した後の T_c は内部まで 93 K であり十分高い。このバルク体の 77 K における臨界電流特性は図 8 に示したように非常に優れたものであり、Er123 溶融凝固バルクが大型結晶材料として有望であることがはっきりした。

図 8 に示した結果は種結晶より下部のものであり、この領域は種結晶の c 軸方向に育った領域で、種結晶から横方向の ab 面方向に成長した領域より高い J_c を持つことも明らかになった。このことより、背が高い(図 7 の写真の奥行き方向に長い)円柱状の溶融凝固バルクを育成すれば c 軸方向に成長した領域が大半を占め、輪切りにすることによって大量に高特性の円盤状溶融凝固バルクが得られることを着想した(図 9)。現在、円柱状の希土類 123 相溶融凝固バルクの作製を進めており、Gd123, Ho123 において 77 K、5 T の高磁場下でも J_c が 10^4 A/cm^2 を超える画期的な高特性の溶融凝固バルクの作製に成功したところである。

4. 希土類 123 溶融凝固バルク体への微量ドーピング効果

先述のように希土類 123 への微量ドーピング効果は Cu サイトへの Zn ドーピングで確認されているが、この場合 Zn で置換された周辺は低磁場下においても既に超伝導が壊れた磁束ピンニングサイトになると考えられる。一方、希土類 123 相超伝導体の Ba

サイトの一部を Sr で置換した場合、 T_c はわずかに数 K 低下することがわかっており、この Sr が低濃度で Ba サイトに分散した場合、 T_c が局所的に低下した部分が散在し、77 K において磁場誘起型のピンニング効果の発現が期待できる。

この着想のもと、本研究では Sr を微量置換した Y123 溶融凝固バルクを上記方法と同様に作製した。77 K における J_c の磁場依存性を図 10 に示したが、Bi(Pb)2212 の場合と同様に非常に低濃度の Sr 置換によって顕著な J_c の第 2 ピーク効果が現われた。これは局所的に置換した Sr イオン周辺の超伝導が弱まり、有効な磁場誘起型ピンニングサイトとなったことを示すもので、希土類 123 溶融凝固バルクの臨界電流特性改善に普遍的に有効な手法であると考えている。

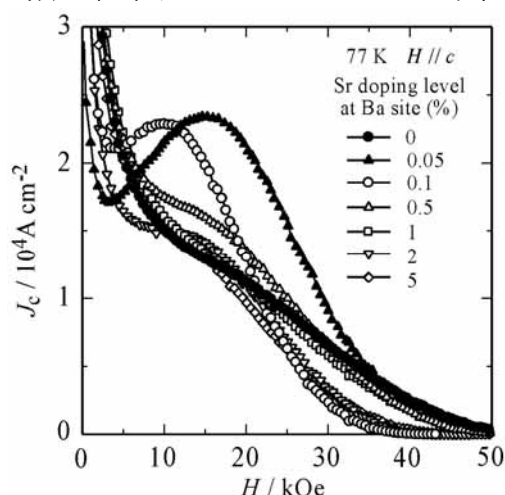


図 10. Sr 置換 Y123 溶融凝固バルクにおける低濃度 Sr 置換による J_c の第 2 ピークの発現。

5. Hg-Re系超伝導体の新展開

Hg 系超伝導体は、発見後 11 年を経た現在においても T_c が最も高い物質群で、特に $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ [Hg1223 相] は常圧下で最高の 135 K の T_c を示す。しかしこの物質群は化学的に不安定でかつ異方性が高く磁場下での臨界電流特性に優れないことから実用材料候補物質にはならなかった。これに対し、我々のグループは Hg サイトに Re (レニウム) を置換することによって化学的な安定化と異方性の低下を通じた臨界電流特性の改善が同時に達成されることを約 10 年前に見出していた。その後、Hg-Re 系超伝導体の実用材料化を目指した研究が各所で進められてきたが、焼成温度 ($\sim 850^\circ\text{C}$) における Hg の平衡蒸気圧が高いことに起因した粒界の弱結合の問題が解決できないままであった。しかしながら、我々のグループでは戦略基礎研究時に線材化研究の一環として行った予め表面酸化 (NiO で被覆) した Ni 箔上での厚膜作製において、非常に狭いながらも結晶が c 軸配向した Hg-Re1223 テープを得る条件を見出していた。ここで NiO 層は反応防止層の役割を果たすものである。

そこで、本研究では表面を酸化した Ni 管に Hg-Re1223 粉末を充填し、緻密化と配向強化のためのプレス過程と石英封管内での焼成を繰り返す新しい線材育成法を考案し、試作を行った。得られた単芯のテープ線材状の試料について様々な磁場下で評価した抵抗率の温度依存性を図 11 に示す。 H_{irr} はテープ面に垂直な磁場下で 77 K において 7 T を、平行な磁場下では 86 K で 9 T に達した。これらの値は焼結体としては史

上最高のものであり、一層の組織制御によって Hg-Re 系焼結体が高温应用到に適した材

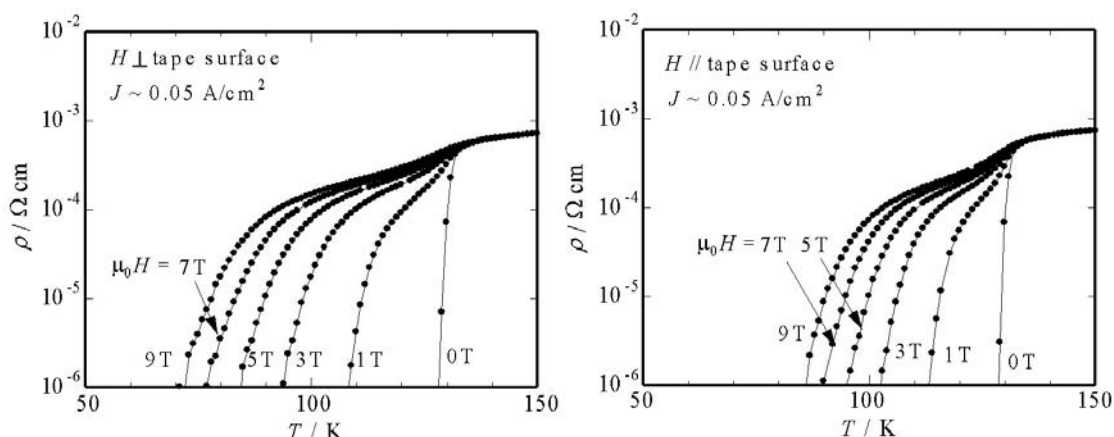


図 11. 表面酸化 Ni 管中で作製したテープ状 $\text{Hg}_{0.75}\text{Re}_{0.25}\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 焼結体の様々な磁場下における電気抵抗率の温度依存性。

料候補、特に電流リードなど短距離通電应用到に有望であることが実証できた。

今後は磁場配向技術を生かし、 c 軸配向を強化した Hg-Re 系材料の作製を進め、臨界電流の観点からも十分に実用に耐えうる特性を引き出していく予定である。このほか高温超伝導材料に関する研究は Ag シース Bi(Pb)2223 線材についても進めており、異方性を低下させるために還元雰囲気下焼成による Pb 固容量の増加を図るとともに、前述した定比金属組成材料の作製や微量不純物置換効果を調べはじめている。これまでのところまとまった成果はないが、実用されている Bi(Pb)2223 線材の高特性化に直接生かせる課題であるので、今後も積極的に研究を継続していく予定である。

6. 酸化物熱電材料の機能向上

この数年、 p 型、 n 型の次世代熱電材料として前者では Co 系層状酸化物が、後者では Mn 系ペロブスカイト型酸化物が注目を集めている。高温まで相が安定である特徴を生かした産業廃熱からの発電が大きなターゲットになっている。これらの系の熱電特性を支配する因子は、熱起電力や導電率に関わる Co, Mn の価数と熱伝導度に影響する結晶格子の乱れであり、もちろん多結晶体の組織は導電率と強く相関する。我々のグループでは化学的視点からドーピングによる Co, Mn の価数制御、および多結晶材料の配向組織形成を中心にこれらの熱電材料候補である酸化物群の特性改善を目指してきた。

Co 系層状酸化物は、高い電気伝導度と大きな熱起電力を担う CoO_2 層とその間のブロック層が交互に積層した構造を持ち、ブロック層の格子の歪みや両層間の格子のミスフィットによって低い熱伝導度が実現している。この物質群では CoO_2 層に沿った方向に優れた熱電特性が発現するので、多結晶材料ではこの層を通電方向につなげる、即ち結晶の c 軸配向が重要な技術となる。また、ドーピングは導電性と熱起電力を損なう

可能性が高い CoO_2 層ではなく、ブロック層に対して行うことが適切であると考えた。さらに、廃熱利用を想定した場合、できるだけ高温まで優れた熱電特性を維持することが要求される。遷移金属酸化物の多くは高温で酸素不定比性を示すが、特に Co 系層状酸化物では Co の価数が約 3.4 と高いことから、高濃度の酸素欠損を高温、特に還元雰囲気下で生じやすい。酸素欠損の生成は導電率の低下などを通じて熱電特性を損なうのでこれを抑制することも重要な課題である。

本研究では、主に Co 系層状酸化物の一種で高温での熱電特性に最も優れる $[\text{Ca}_2\text{CoO}_{3-\delta}]_{0.62}\text{CoO}_2$ 系における元素置換効果を評価した。方針はブロック層の構成金属元素を高価数の別元素で置換することで、これにより Co の平均価数が低下し熱起電力が上昇することと同時に酸素欠損生成の抑制を狙った。具体的には Co サイトの Re, Mo などによる置換を、また Ca サイトの希土類元素置換を試みた。

図 12 に示すように磁場配向と放電プラズマ焼結により高度に配向、緻密化させた試料において従来の焼結体と比べて劇的に優れた出力因子(S^2/ρ)が観測された。さらに酸素欠損量の小さい Mo 置換試料は高温でより優れた特性を示し、同様な傾向は Re 置換試料においても観測された。また、無配向焼結体について、Ca や Co サイトに高価数金属を置換することによって熱伝導度が低下する傾向を見出している。現在その定量化を進めているが、熱電材料の実用指標の性能指数(figure of merit)が高価数金属置換によって上昇することは確実で、本手法は他の Co 系層状酸化物にも展開可能である。

n 型熱電酸化物材料候補である $(\text{Ca}_{1-x}\text{RE}_x)\text{MnO}_3$ [RE は希土類元素]に関する研究からは、高温での酸素欠損生成が急激な電気伝導度の劣化を招き、これが実用温度を制限することを明らかにした。RE 置換量を増やすほど、酸素欠損の生成開始温度が上昇し、さらに熱伝導度が著しく低下することもわかったが同時に熱起電力が低下するので、これらを総合的に考慮した最適ドーパ量の決定と RE 元素の選択が必要である。また、焼結密度も 70%程度と十分ではなく、緻密化プロセスの探索も行う必要がある。

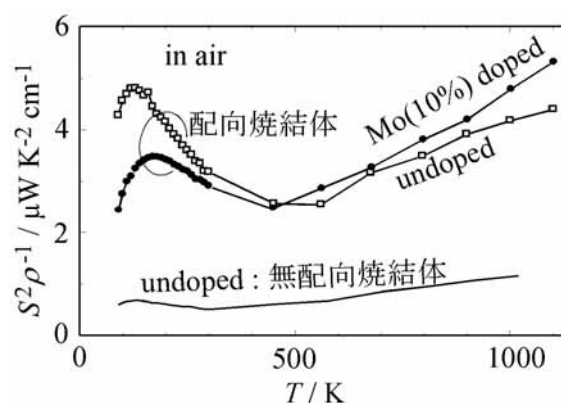


図 12. $[\text{Ca}_2\text{CoO}_{3-\delta}]_{0.62}\text{CoO}_2$ 多結晶体の出力因子への組織制御と Mo 置換効果。

3. 3 “マイクロメートルスケールにおけるボルテックス観察法の確立とASTを用いた超伝導体状態の微細解像（長谷川グループ 東京工業大学応用セラミックス研究所（現東京大学大学院理学系研究科））”

(1) 実施の内容

1. La214 系におけるボルテックスピンングの走査型SQUID観察

走査型SQUID顕微鏡（SSM）を用い、TSFZ法で合成された $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ 単結晶のボルテックス観測を行った。同装置は、弱磁場下(< 1 G)には限られるものの、個々のボルテックスを直接可視化することが可能であり、得られたボルテックスの分布パターンは、ピンングサイトの分布を表していると考えられる。

最適ドーピング試料 ($x = 0.15$) 及び高ドーピング試料 ($x = 0.20$) で観察された磁気イメージを図 1 に示す。最適ドーピング試料ではボルテックスはほぼランダムに分布しているのに対し、高ドーピング試料では結晶軸とは無関係の方向に沿った 1 次元配列が認められた。

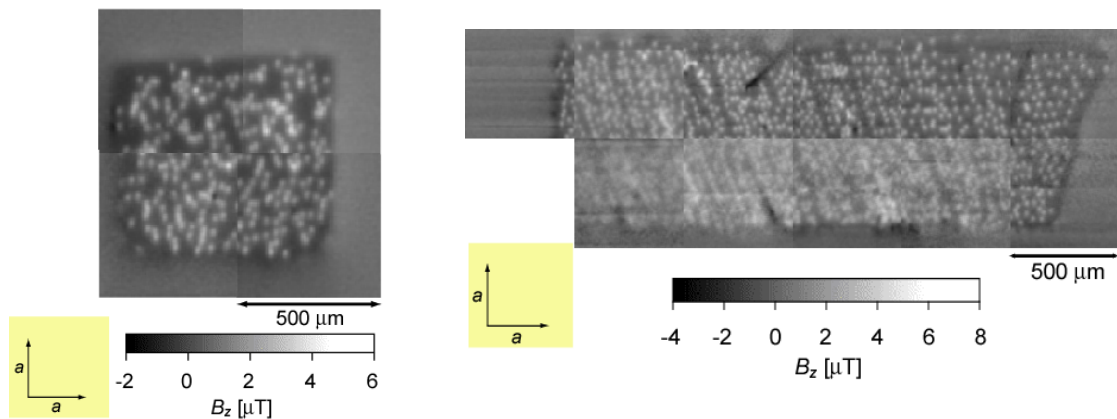


図 1 最適ドーピング (左) および高ドーピング (右) La214 の磁気イメージ (3K)

この 1 次元配列の起源を探るため、温度依存性を測定した結果を図 2 に示す。外部磁場は、紙面に対し上向きに印加されている。 T_c (30 K) 以上の 33 K では磁場は均一に分布しているが、 T_c 近傍で磁場値の低いストライプ状の領域が出現している。これは、局所的に反磁性が生じたこと、すなわち、上記ストライプ領域の T_c が若干高く、より高温で超伝導に転移したことを意味している。さらに温度を下げるとボルテックスが現れるが、注目すべきはボルテックス分布との関係であり、ボルテックスは、ストライプを避けるようにしてこれと平行に配列している。27 K 以下では、ボルテックスイメージは基本的には変化しない。上記温度依存性は、マクロは磁化測定の結果と良く一致している。また、磁場依存性の測定結果も、上記描像を支持する。 T_c 直下において外部磁場を印加すると、ストライプ構造を避けるようにして、磁束は試料内部に進入する (図 3)。

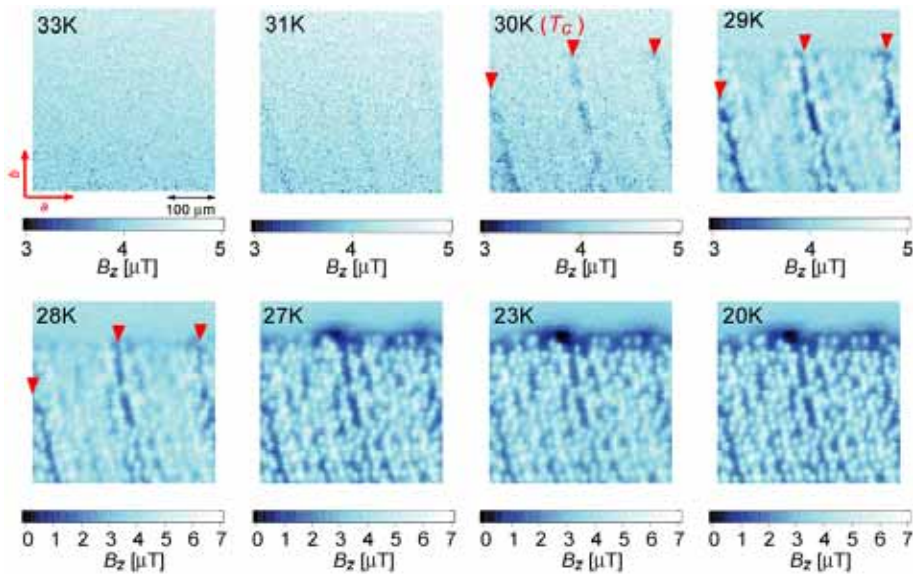


図 2 高ドープ La214 の磁気イメージの温度依存性

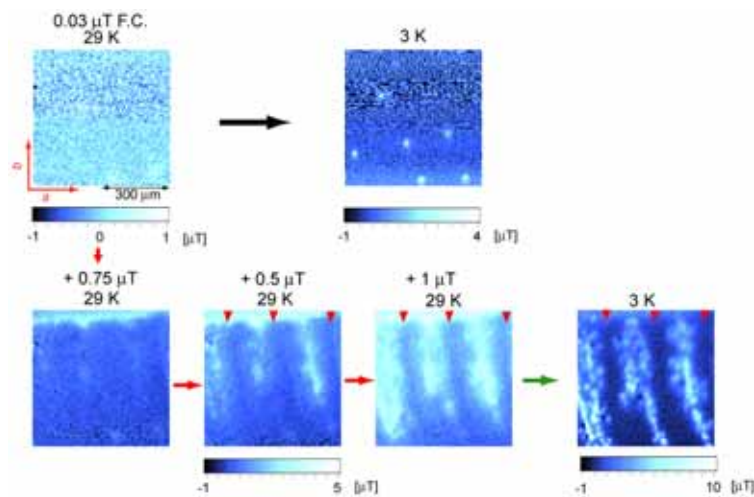


図 3 高ドープ La214 の磁気イメージの磁場依存性

SSM測定より試料中に T_c の分布があることが判明したが、この原因を探るため、エネルギー分散EPMAにより高精度元素分析を試みた。その結果、Sr組成が周期的に変調しており（Sr濃度にして 3%以下）、Sr濃度の低い領域が上記ストライプの位置と完全に一致することを見出した（図 4）。

一方、粒界などの効果によりボルテックスがトラップされている可能性も否定できない。これを検証するため、X線トポグラフィ測定を行った。その結果、a 軸に平行した小傾角粒界（傾斜角 $<2^\circ$ ）が確認され、試料は 4 つのラインからなっていることが判明した。しかし、ボルテックス分布との粒界との間には相関はまったく見られなかったことから、小傾角粒界によるピン止め力は弱い結論した。

以上をまとめると、化学組成のゆらぎに基づくキャリア量の僅かな違いが、ボルテッ

クスのピン止めに非常に有効であることが示された。

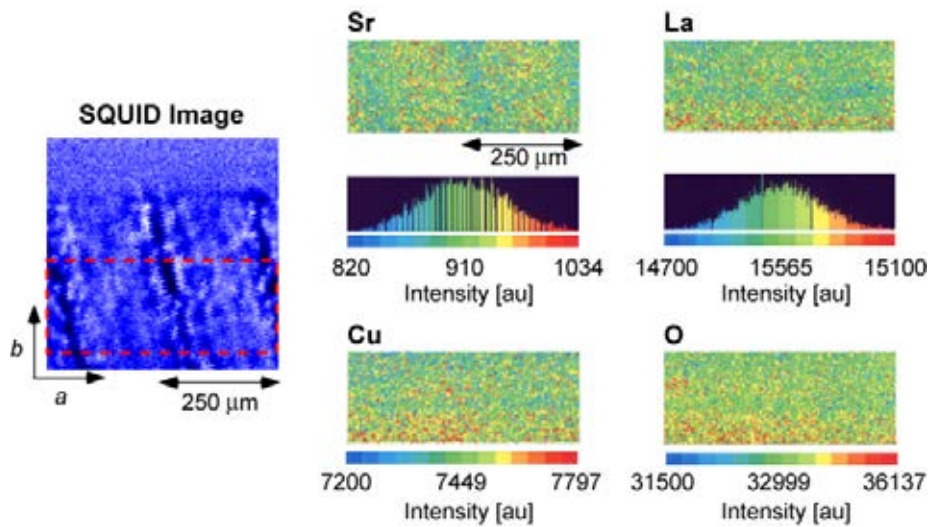


図 4 高ドープ La214 の元素マップ

2. Bi2212 系におけるジョセフソンボルテックスの走査型SQUID観察

高温超電導体は、シート状の超伝導層がジョセフソン接合によりc軸方向に連結したもののみなせる。このため、層断面を貫く磁束は、ジョセフソンボルテックスと呼ばれ、層に平行な方向に磁場分布が伸びる。この特性長 λ_c はミクロン以上にも及ぶため、SSMにより直接評価することが可能である。本研究では、これまで報告のないBi2212 系について λ_c の直接評価を試みた。

平坦な Bi2212 の層断面を得るため、Pb 添加 Bi2212 単結晶をエポキシ樹脂の中に埋め込んだ後、切断、研磨を行った（図 5）。

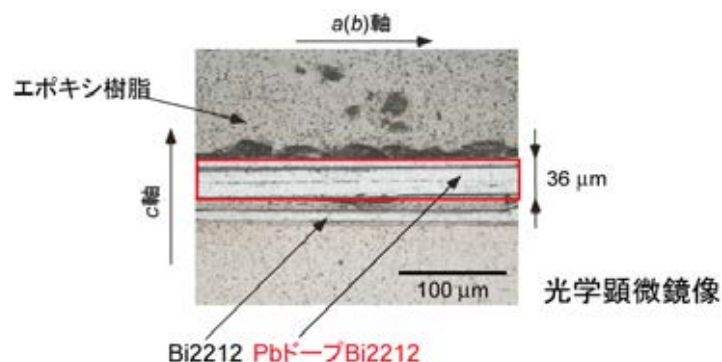


図 5 Bi2212 層断面试料

できるだけ、ボルテックス間の重なりがないよう、できるだけ低磁場下で SSM 測定を行ったところ、非常に良く分離されたジョセフソンボルテックスを観察することに成功した。観測された4つのジョセフソンボルテックスを図 6 に示す。

こうして得られたジョセフソンボルテックスに対して磁場の理論式をフィッティングし、 λ_c を見積もった（図 7）。その結果 $\lambda_c=11.2\pm0.7\mu\text{m}$ と見積もられ、この値は、光反射から求められた数値と良い一致を示した。

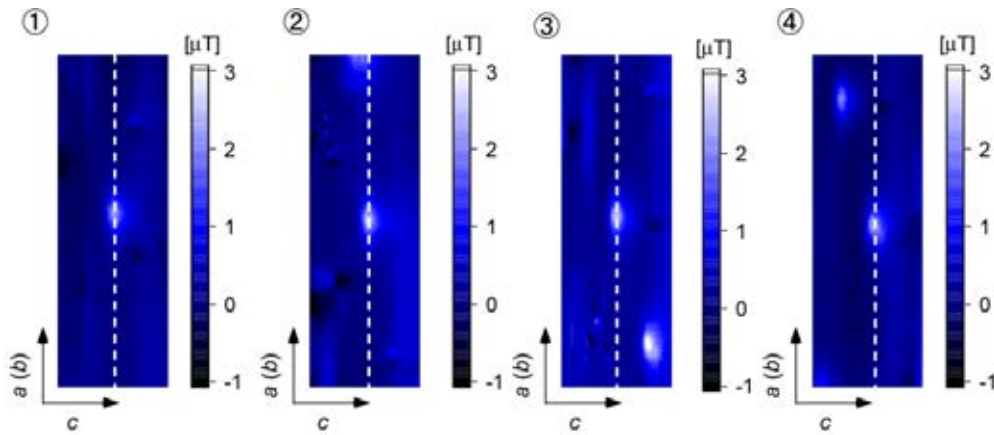


図 6 Bi2212 層断面のジョセフソンボルテックス

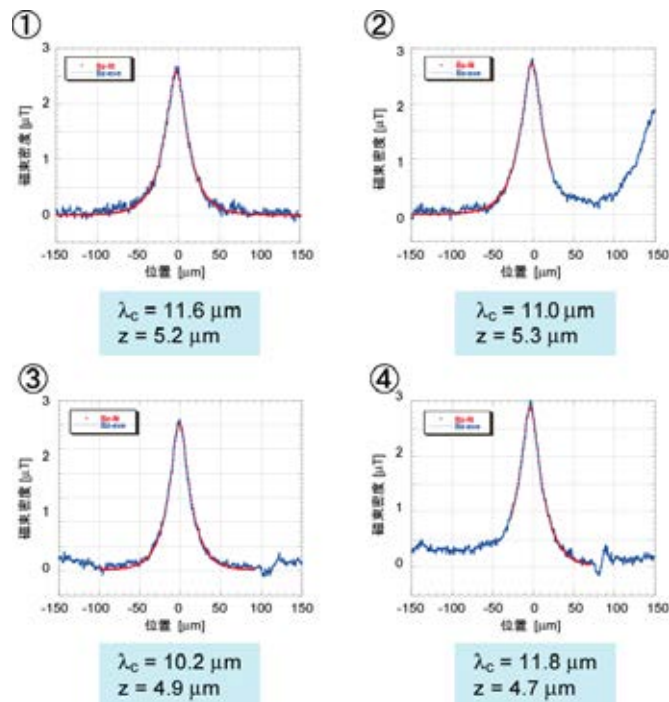


図 7 ジョセフソンボルテックス周囲の磁場分布からの λ_c の見積もり

3. 高濃度Pb添加Bi2212 における局所電子状態のSTM/STS観察

最近、アンダードーブおよび最適ドーブのBi2212 系伝導体 ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$) の STM/STS観察からナノスケールの不均一性が見出され、話題となっている。すなわち、

d 波的な超伝導ギャップを示す領域と擬ギャップを示す領域とに相分離しており、特にアンダードーブ試料では、島状の超伝導領域が擬ギャップ相内に分散していることから、granular superconductivityとも呼ばれている。その成因については、ペアブレイカあるいはキャリアの不均一な分布、遮蔽の不十分なイオンポテンシャル、原子レベルでのdisorder、などが議論されているが、コンセンサスは得られていない。

ところで、光電子分光によると、 T_c 以上での擬ギャップはアンダードーブ領域に特有の現象であり、最適ドーブ以上では、擬ギャップは観測されない。従って、少なくともマクロな意味ではキャリアドーブに従い、擬ギャップが小さくなる、あるいは擬ギャップ領域が減少すると考えられる。上記不均一性の原因を探る意味でも、オーバードープ領域での電子状態の不均一性を探ることは極めて重要である。本研究では、高濃度Pb添加によりheavily overdopedとしたBi2212系試料（Pb-Bi2212）についてSTM/STS測定を行った。

Pb-Bi2212 単結晶は、フローティングゾーン法により合成した。as-grown試料のほか、酸素アニール処理（400°C、3日間）により、さらにキャリアドーピングをすすめた試料も用意した。磁化率測定より求めた T_c は、それぞれ82 K、68 Kであった。

比較的広範囲において測定したSTM像を図8に示す。図より、2相への相分離が明らかに認められる。一方の相（ α 相）では変調構造が見られるのに対し、もう一方（ β 相）では変調が消失していることがわかる。このことは、後者では、よりキャリアドーピングが進んでいることを意味している。ただし、 α 相でも変調の周期はおよそ6nmであり、最適ドーブ試料の ~ 2.7 nmに比べかなり長いことから、 α 相、 β 相とも過剰ドーブの状態にあるものと考えられる。なお、多くの場合、ラメラ状の相分離を観測したが、一部ではバブル(泡)状のパターンも見られた。

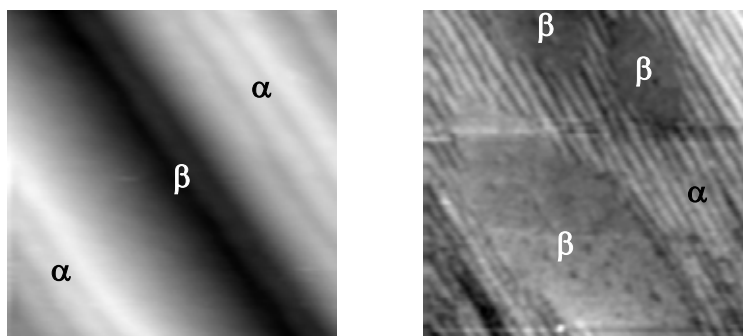


図8 ラメラ状（左）及びバブル状（右）の相分離

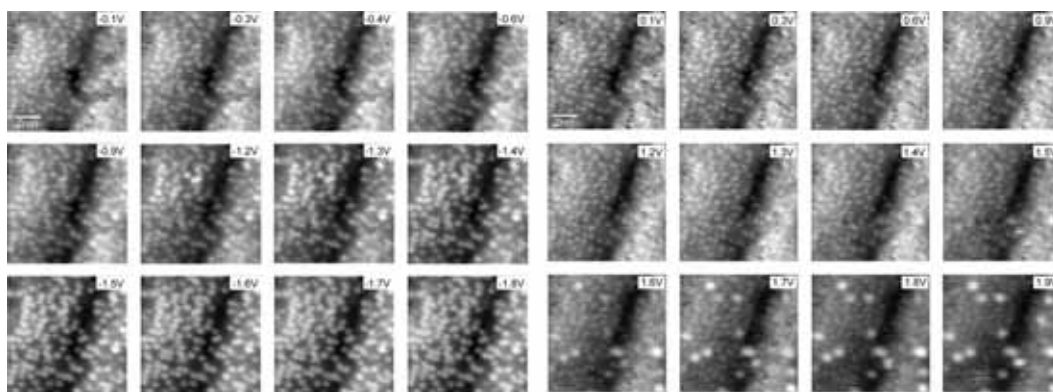


図 9 Pb-Bi2212 の STM 像のバイアス依

次に、原子分解能 STM 観察により、各種不純物について検討した。比較的狭い領域で測定した STM 像のバイアス依存性を図 9 に示す。図より、Bi 原子に対応する正方格子が認められるが、特にバイアス電圧-1.5V および+1.8V 近傍で、それぞれ異なる構造が現れることがわかる。前者は Bi サイトを占めていることから、Bi を置換した Pb 原子であると同定した。実際、STM 像より見積もった Pb 原子の占有率は、おおよそ 20~24%であり、ICP 分析値に近い。β 相の方が高い Pb 濃度 (~24%) を示しており、前節で述べた変調構造の有無と矛盾しない。一方、1.8V で見られる構造は、Bi 原子を結んだ正方形の中心に位置する。Bi 系の結晶構造から考え、Sr サイトあるいは Ca サイトの不純物や欠損によるものと考えられる。占有率は 1.3~1.4%である。また、ゼロバイアス近傍でのコンダクタンス像から、Cu サイトを置換した不純物も観測された(占有率: 0.05~0.08%)。

4.3K における STS 測定からは、トンネルスペクトルの顕著な空間依存性が観測された。典型的なスペクトルを図 10 に示す。上段のスペクトルは、ギャップ値は $\Delta \sim 20\text{meV}$ と比較的小さい、コヒーレンスピークが発達している、ギャップ内コンダクタンスが V 字型である、といった特徴を持ち、*d* 波超伝導を表していると考えられる。一方、下段のスペクトルでは、ギャップは大きく、またコヒーレンスピークも大幅に抑制されており、擬ギャップ的な様相を示す。

トンネルスペクトルから見積もった Δ 値 (ピーク間隔) を 2 次元マップとして表示してみると、 Δ は数 nm 程度の長さスケールで変化しており、この値は本系の面内コヒーレンス長とほぼ等しい。

上述のように、α 相に比べ、β 相の方が Pb 濃度が高い。一方、酸素アニール試料は、as-grown 試料に比べより多くの過剰酸素を含む。従って、各試料、各相における不均一性を比較することで、その起源に関する知見が得られるものと考えられる。図 11 は、

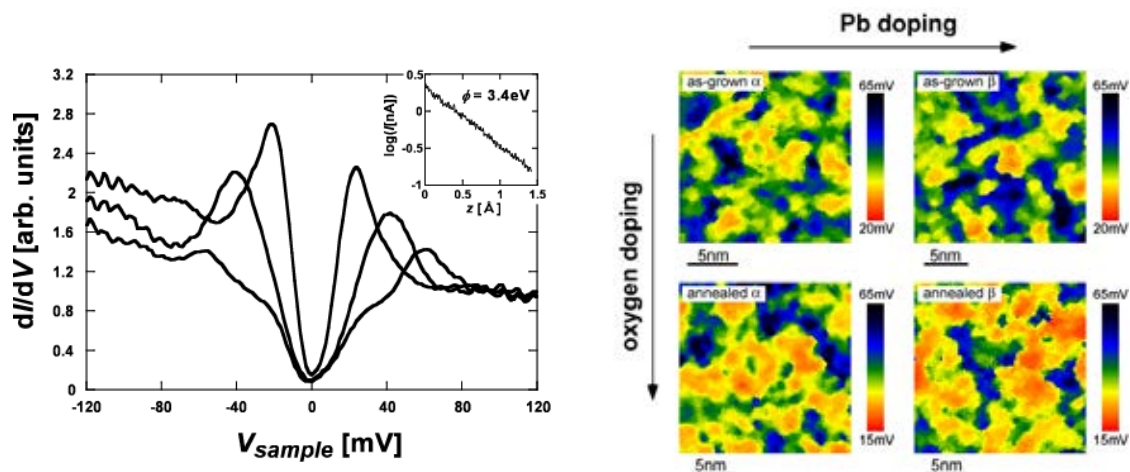


図 10 4.3K におけるトンネルスペクトル（左）とギャップの空間分布

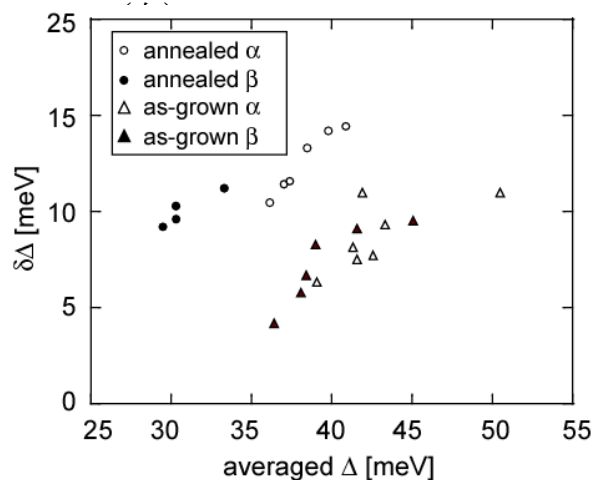


図 11 ギャップの平均値および標準偏差の試料依存

STS 測定から見積もった Δ の平均値 ($\bar{\Delta}$) および標準偏差 ($\delta \Delta$) を比較した結果である。まず、同じ試料で、 α 相と β 相を比べると、 β 相の方が $\delta \Delta$ が小さくなっており、Pb 置換は電子相分離の原因とはなっていないことを意味する。一方、as-grown 試料とアニール試料とを比較すると、明らかに、アニール処理により不均一性が増大していることがわかる。この結果は、酸素アニールにより導入された過剰酸素が、不均一性と深くかかわっていることを強く示唆する。

一般的に、オーバードープ試料ほど均一性は高いと考えられるが、本研究によると、過剰ドーピング領域でも電子相分離は起こっていることになる。しかも、不均一性の程度 ($\delta \Delta / \bar{\Delta}$) は、最適ドーピング Bi2212 とほぼ同等である。pure な Bi2212 系では、オーバードープになるほど、不均一性は減少する。従って、本研究の結果と一見矛盾するが、過剰酸素という観点では、必ずしも相反するものではない。すなわち、Pb 添加は、過剰酸素を減少させる効果があり、本研究で使用した Pb-Bi2212 試料の過剰酸素量は、pure な Bi2212 と同程度であるが見積もられている。従って、不均一性は過剰酸素量により

決まり、ギャリア量そのものにはあまり依存しないという描像が描ける。

上述の様々な不純物と不均一性との関係を調べた結果を図 12 に示す。Pb 原子および Ca(Sr)サイト欠陥の分布は、 Δ マップとは相関していないことがわかる。Cu サイトの不純物は、超伝導領域にある場合にのみ準粒子散乱を与えるため、擬ギャップ領域内の分布を直接「見る」ことはできないが、前述のように、密度は非常に低いため、これによって不均一性が生じたとは考えにくい。以上のように、今回可視化された不純物はいずれも、電子相分離とは本質的に無関係であり、過剰酸素を起因とするシナリオと矛盾しない。

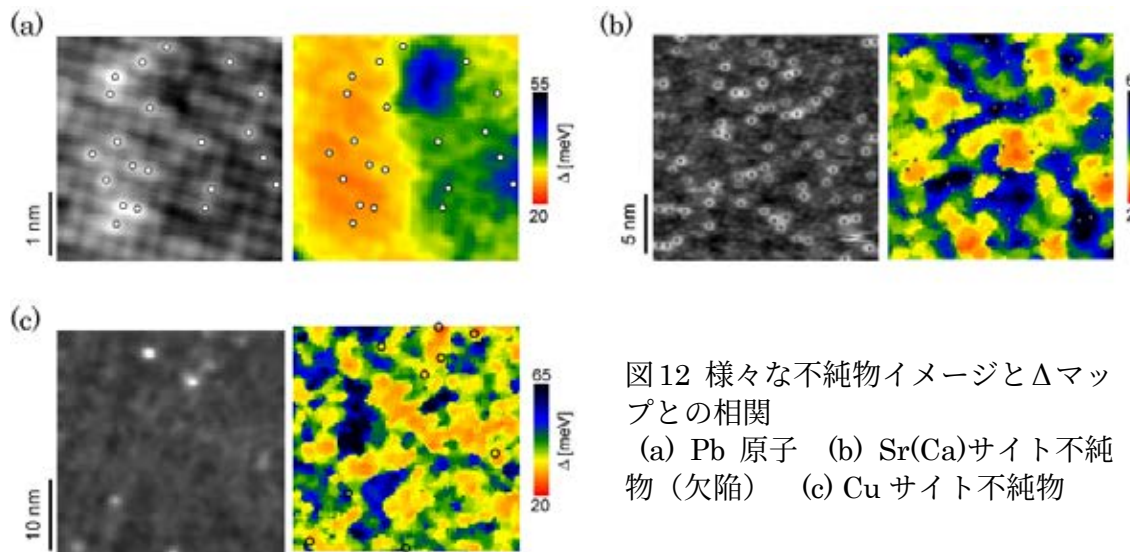


図 12 様々な不純物イメージと Δ マップとの相関
(a) Pb 原子 (b) Sr(Ca)サイト不純物 (欠陥) (c) Cu サイト不純物

T_c 以上の 77Kにおいて観測したトンネルスペクトルとギャップ Δ の空間依存性を図 13 に示す (アニール試料)。これより、 T_c 以上でも電子状態は不均一であることがわかる。A点でのスペクトルを見ると、ゼロバイアスに向かって、トンネルコンダクタンスが増加している。これは、一般的には、過剰ドーピングの実験的な証拠であるとされている。ゼロバイアス付近に、わずかなdipが見られるが、ギャップ構造としては非常に弱い。一方、スペクトルEは大きなギャップで特徴づけられ、擬ギャップ的な振る舞いを示す。

T_c を境に、不均一性がどのように変化するかは今後の課題であるが、77Kおよび T_c 以下の 63Kの結果を比較すると、超伝導領域がそのままスペクトルAの金属領域につながるとは考えにくく、 T_c 近傍で電子状態の空間分布が急激に変化していることを示唆する。

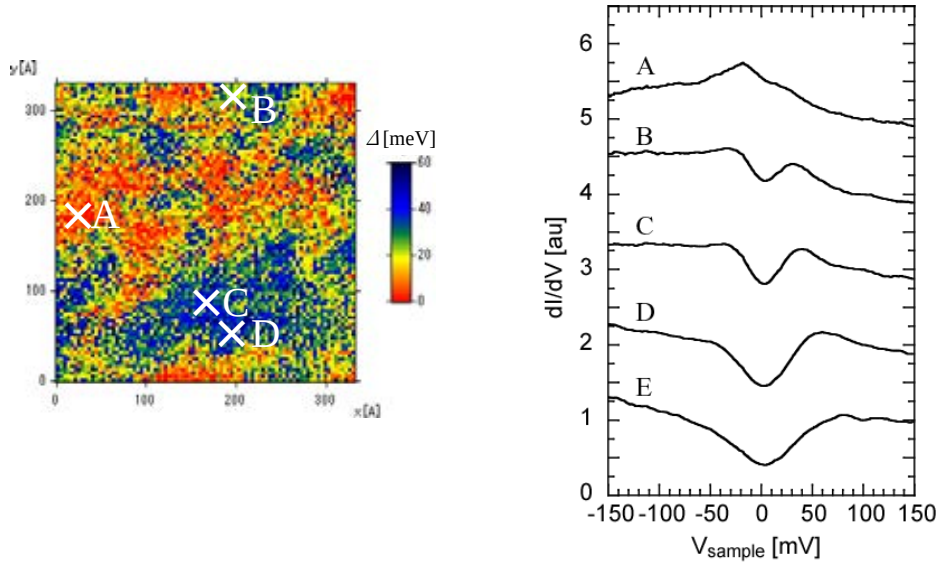


図 13 T_c 以上での不均一性

4. 低 T_c 超伝導体 Bi2201 における局所電子状態の STM/STS 観察

Pb-Bi2201 系についても、Pb-Bi2212 系と同様に STM/STS 観察を行った。Bi2201 は CuO_2 層の枚数が 1 枚であり、不均一性が高温超伝導にユニバーサルな性質かどうかを検証するのに最適である。

その結果、図 14 のように Pb-Bi2201 でも 2212 系と同様の不均一性を観測した。ギャップ値 Δ の分布を両者で比較してみると、 Δ の相対的な分散 ($\delta \Delta / \bar{\Delta}$) は同程度である。ただし、Pb-Bi2201 のスペクトルを見ると、超伝導領域におけるゼロバイアスコンダクタンス $\sigma(0)$ が非常に高い。実際、 Δ と $\sigma(0)$ との相関係数を見積もると、Pb-Bi2201 では両者の間に 4×10^{-4} 程度の弱い負の相関しか見られないのに対し、Pb-Bi2201 では、1 桁以上大きな相関が観測された。これは、対破壊の存在を示唆する。

さらに、同一領域において、 T_c の上下におけるトンネルスペクトルの温度依存性を調べた。その結果、温度が上昇することで、i) ギャップが小さいままの領域、ii) ギャップが増大する領域、また iii) ギャップが大きいままの領域の 3 つがあることがわかった。i) のトンネルスペクトルを詳細に調べたところ、明瞭なコヒーレンスピークが観測され、このスペクトルは超伝導ギャップのスペクトルであると考えられる。以上の結果から推測すると、この領域は T_c 近傍でも超伝導状態であると考えられる。ii) は超伝導から擬ギャップへと変化する領域であり、全体のかかなりの面積を占める。一方、iii) では、温度に関わらず擬ギャップ的な振る舞いを示す。

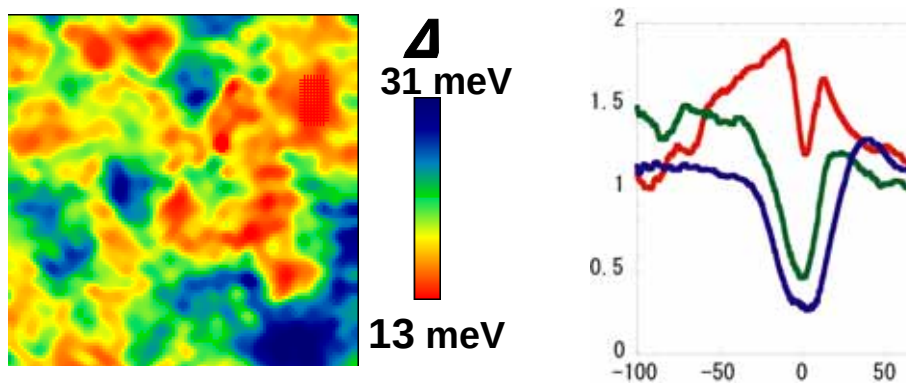


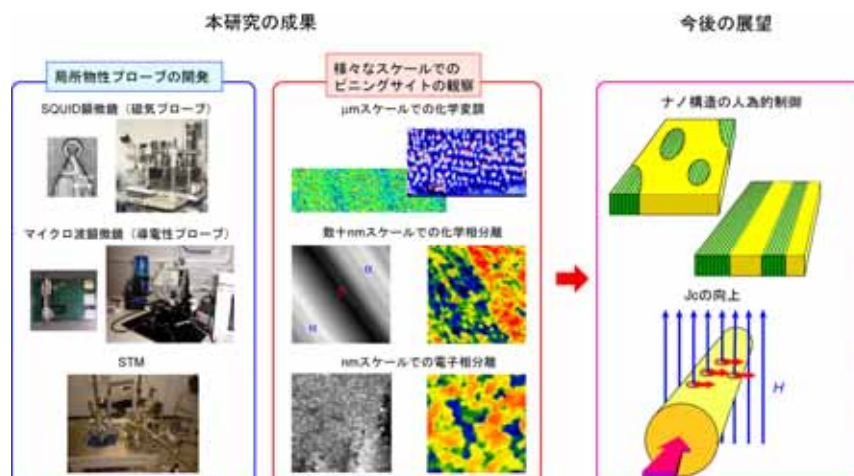
図 14 Pb-Bi2201 の不均一

(2)得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

本研究により、マイクロメートルスケールにおけるボルテックスの観察法が確立された結果、化学組成の僅かな変調が強いピンニングサイトとなることが明らかとなった。一方で、STMを用いたナノメートルオーダーでの超伝導電子状態の評価（Pb添加Bi2212系）により、 T_c 以下の温度でも超伝導と非超伝導（擬ギャップ状態）に相分離していることが確認され、特に低温で有効なピンニングを与えると結論した。また、Pb濃度の異なる2相への数十nmレベルの相分離も観測され、これは特に高温で効果的なピンニングサイトとなりうると提案した。

超伝導の発現機構と言った物理的な観点から不均一性について論じられた例はあるが、ボルテックスピンニングの観点からの研究は、国内外とも非常に少ない。

特に、ナノレベルの構造によるピンニングは、実用上重要となる高磁場下でのピンニングを決定する重要な要因となる。本研究により、組成変調や相分離境界が有効なピンニングサイトとして提案されたことから、今後は J_c の向上に向けて、上記構造を人為的に導入・制御する研究が始まるものと期待される。 J_c 向上への明確な指標が示されたという点で、超伝導科学技術全般に与える波及効果は大きい。



3. 4 “STM/STSの応用展開と新規機能材料探索（北澤・花栗・野原・ドラゴグループ（現花栗・野原グループ） 東京大学大学院新領域創成科学研究科（花栗は現独立行政法人理化学研究所高木磁性研究室））”

(1)実施の内容

本グループでは、STM/STSの多様な物質への応用可能性の探索と、新規物性を示す物質探索を行った。

STM/STSは花栗が担当し、既戦略基礎研究で建設したものをさらに改良した。特にSTM/STSの生命線ともいえる、鋭く清浄な探針を再現性良く作製する技術開発に注力し、電解イオン顕微鏡（FIM）を装置に組み込むことによって、探針のその場清浄化、先鋭化を可能にした。FIMを利用すると、図1に示すように探針先端の個々の原子を明瞭に識別することができる。現在ではFIM像を

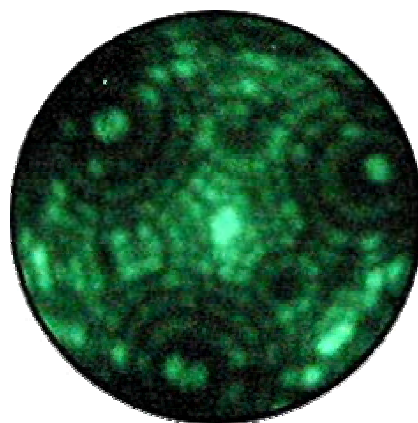


図 1 タングステン<111>単結晶探針の FIM 像

見ながらリアルタイムで電解蒸発を行い、探針先端にたった1個の原子を残すことが可能となっている。また、コンピュータ制御による探針の自動研磨装置の作製も行い、探針の歩留まりが飛躍的に向上した。この改良した装置を用いて、STM/STSの適用範囲を敷衍すべく、高温超伝導体と関連の深い強相関電子系化合物のSTM/STS測定を行った。その結果、以下に示すように、 $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ 、 $\text{Ni}(\text{S},\text{Se})_2$ 、 $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ 、 Na_xCoO_2 などの原子分解能STM像を初めて観察することに成功した。

物質開発は野原、ドラゴが担当した。銅酸化物における高温超伝導発現の舞台は、銅3d軌道および酸素2p軌道のつくる2次元正方格子である。このような3d軌道が主役となる化合物では、一般に強い電子間相互作用の影響で、電荷の運動の自由度のみならず、スピンや軌道の自由度の効果が現れ、様々な魅力的な物性や機能が発現する。その例が、超伝導と熱電変換であり、本研究グループでは、新規超伝導体および、高い熱電変換特性を示す物質の開発を進めた。

熱電変換材料は、温度差を用いた発電素子や、電流による冷却素子（ペルチェ素子）に用いられ、超伝導デバイスの局所冷却や廃熱利用発電などへの応用が期待されている。高性能な熱電材料には、相反する条件、すなわち低い電気抵抗率と大きな熱起電力の実現が要求される。現在では、これらのバランスがとれた、移動度の大きいナロ-ギャップ半導体が熱電変換材料の主役となっている。一方で、酸化物材料は移動度の点で不利であるが、その特徴であるスピンや軌道の自由度による輸

送エントロピーを利用することで、従来型材料を性能面でも凌駕できる可能性がある。本研究では、以下に詳述するように、超格子構造を有する層状コバルト酸化物 $\text{Li}_x\text{CoO}_2\text{-Na}_x\text{CoO}_2$ 、および層状ロジウム酸化物 $\text{Sr}_x\text{Rh}_2\text{O}_4$ が熱電変換材料として高いポテンシャルを有することを見いだした。

酸化物熱電変換材料のプロトタイプとなる物質は、1997年に寺崎らによって発見された層状コバルト酸化物 NaCo_2O_4 である。この化合物は、Coがつくる二次元三角格子の層間にNaイオンが挿入された2次元層状構造をとる。さらに、この化合物の層間に水分子を挿入した $\text{Na}_{0.35}\text{CoO}_2\cdot 1.3\text{H}_2\text{O}$ において、転移温度約5 Kの超伝導が、2003年に高田らによって発見された。それ以降、水和物 $\text{Na}_x\text{CoO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$ 、および非水和物 Na_xCoO_2 における超伝導と熱電特性の研究が飛躍的に進むことになった。本研究グループでは、単結晶試料の育成および、ソフト化学の手法をもちいた関連物質の開発を進め、STMおよび走査電子顕微鏡観察により、新しいNaイオンの秩序状態およびCoの電荷整列状態を見いだした。さらに、水分子を含む新規超伝導体の探索を進め、以下に詳述するように、水和した層状タンタル硫化物における超伝導を発見した。また、フラーレン関連物質における物質探索の一貫として、希ガス内包フラーレンの大量分離とアルカリ金属ドーピングによる超伝導化に成功した。

さらに、磁束状態に大きな影響を与えると考えられる異方的超伝導体の研究を進め、 $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ の超伝導ギャップの波数空間でのノード位置を超音波吸収測定から決定した。また、このようなギャップが磁束フローに及ぼす影響も調べた。

(2)得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

1. わずかにドーピングされたモット絶縁体の電子状態解像

高温超伝導は母物質であるモット絶縁体にキャリアドーピングすることで発現する。キャリアがドーピングされると母物質の長距離反強磁性ゆらぎは速やかに消失し、金属絶縁体転移を経て超伝導が発現する。超伝導が発現する組成近傍では、様々なエネルギースケールや電子相が競合するため、極めて不安定な電子状態が形成されと考えられる。したがって、この領域では電子の自己組織化による電子相分離や、特異な不純物効果が期待される。このような電子状態の特徴を実験的に調べるため、 $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2(\text{Na-CCOC})$ の電子状態解像を行った。この物質はMott絶縁体から高温超伝導体までの組成領域をカバーし、かつSTM測定に有利な劈開性を有するが、キャリアのドーピングが数GPaの高圧化でしか行えないという欠点を持っている。本研究では、京都大学化学研究所高野研究室との共同研究で高圧下でのフラックス法を行い、ドーピングされた単結晶の育成に始めて成功し、超伝導を示さない $x=$

0.06の試料から、 $T_c \sim 20$ Kの $x = 0.12$ の試料に対して系統的なSTM測定を行った。その結果、明瞭な正方格子の原子像に加え、全ての組成で図2に示すような数nmの特徴的サイズのパッチから成る不均一構造を発見した。

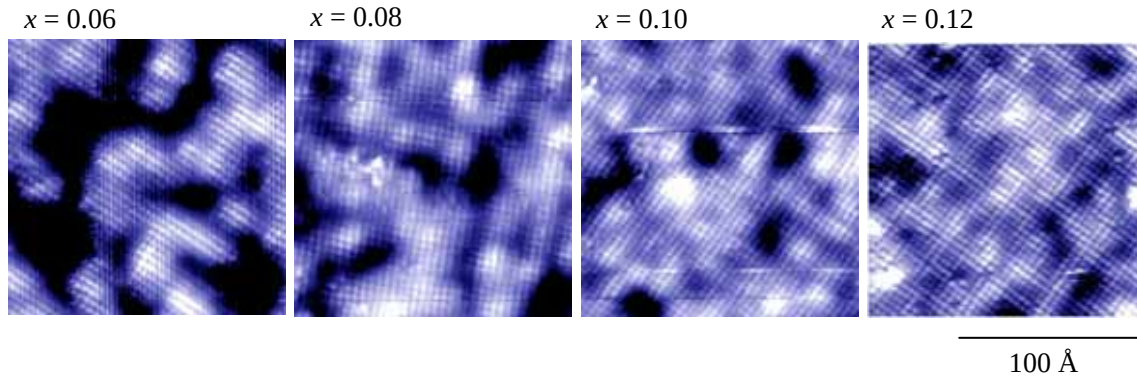


図 2 $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ (Na-CCOC) のSTM像。 $T = 5$ K

STM像は表面形状の他に電子状態の分布にも影響を受ける。ドーピングに伴うSTM像の変化と電子状態の関係を調べるため、STSを行った。その結果、図3に示すように、明るい（高い）部分の局所状態密度は暗い部分のそれに比べ大きく、より金属的であることが分かった。金属的な部分がドーピングと共に増加することは、ドーピングされたキャリアが何らかの形で不均化していることが強く示唆される。

このような不均一の原因としては、まずドーパントの分布が考えられる。この場合、パッチは、スクリーンされたドーパントポテンシャルに相当すると考えられるが、パッチの大きさはスクリーニング長より1桁程度長く、モット転移近傍の特徴である非線形なスクリーニングやスクリーニングに有効な電子状態の減少が考えられる。

ドーパント以外にも、ドーピングされたキャリアが強相関のために自己組織化し、電子的

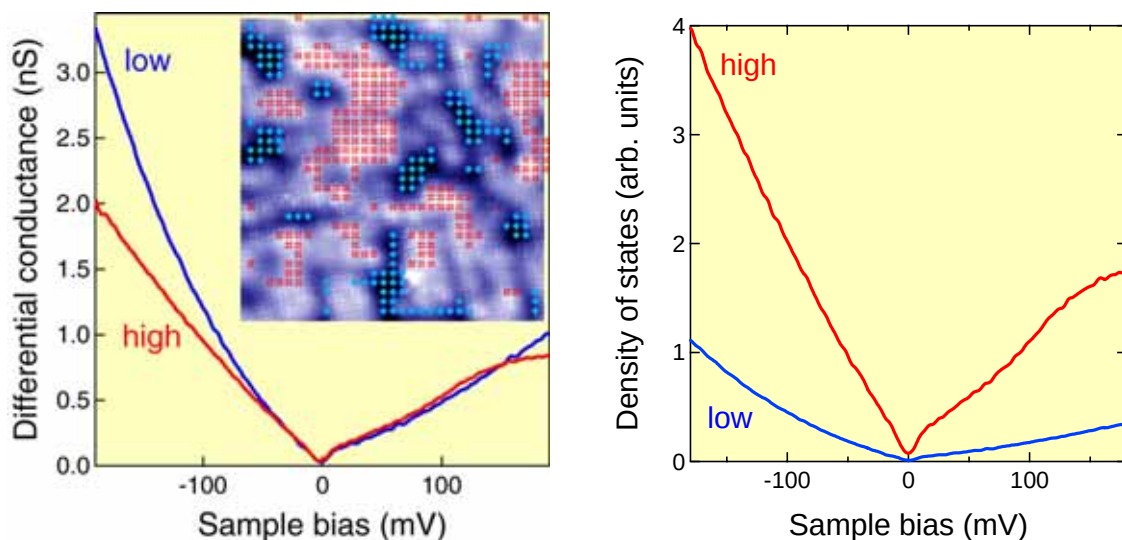


図 3 (a) $x = 0.08$ の試料の STM 像の高い部分と低い部分で得られたトンネルスペク

(b) トンネルギャップの影響を補正して得られた各場所での局所状態密度

な相分離が起きている可能性もある。しかし、明るい場所でのトンネルスペクトルはドーピングと共にわずかではあるが変化しており、単なる相分離では説明できない。現在、発見された電子状態の不均一に関して最終的な結論は出ていないが、強相関の効果が何らかの形で現れている可能性が高いと考えられる。

高温超伝導体の電子的不均一の問題はカリフォルニア大学バークレー校(現在コーネル大学)のDavis等による $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の不均一超伝導の発見を契機として盛んに研究され、本プロジェクトでも長谷川グループが大きな成果を上げている。 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の電子的不均一は十分にドーピングの進んだ超伝導領域で観測されているのに対し、ここで取り上げたNa-CCOCの電子的不均一は微小ドーピング域の常伝導状態で起こる現象である。したがって両者は質的に異なるが、ドーピングされたモット絶縁体では広いパラメータ範囲で電子的不均一が重要となることは興味深い。

単結晶中であってもナノスケールでの不均一電子状態が実現されることは機能の観点からも興味深い。不均一構造制御が可能となれば、例えばパーコレーション限界近傍では、わずかな外からの制御パラメータの変化でバルクの物性が大きく変る可能性もある。実際、Na-CCOCにおいて、明るい場所、暗い場所の局所トンネルスペクトルはドーピングによって大きく変化しないにもかかわらず、 $x = 0.08$ の試料は低温で絶縁体であり、 $x = 0.10$ の試料は $T_c = 15$ Kのバルク超伝導体である。僅か2%のドーピング量の差でバルク物性が劇的に変化しているわけである。この事実は金属絶縁体転移や超伝導発現のオンセットがパーコレーションによって支配されていることを示唆する。このようなナノ、バルク両面からのアプローチによって、今後、新しい機能のシーズが見つかることが期待される。また、さらにドーピング量を減らし、個々のドーパントにまで遡って電子状態評価を行うことは、未だ統一した描像の得られていない「モット絶縁体へのドーピング」に格好の実験的情報を提供することになり、将来の強相関エレクトロニクス的基础となる「モット絶縁体の半導体物理学」の構築に貢献できると考え、試料合成や手法の開発を含めて研究を進めている。

2. $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ における電子結晶状態の発見

上述のNa-CCOCの電子状態の不均一は、フェルミレベル近傍のV字型のギャップの空間変化に因っている。このようなギャップは、いわゆる高温超伝導の前駆現象として観測される擬ギャップと密接に関係していると考えられる。このギャップ構造の低エネルギー励起状態の空間分布をさらに詳細に調べるため、コーネル大学と共同で極低温 (~ 100 mK) でのSTM/STSを行った、その結果、図4に示すようにトンネルコンダクタンス像に明瞭な $4a \times 4a$ (a は格子定数) の長周期構造を発見した。

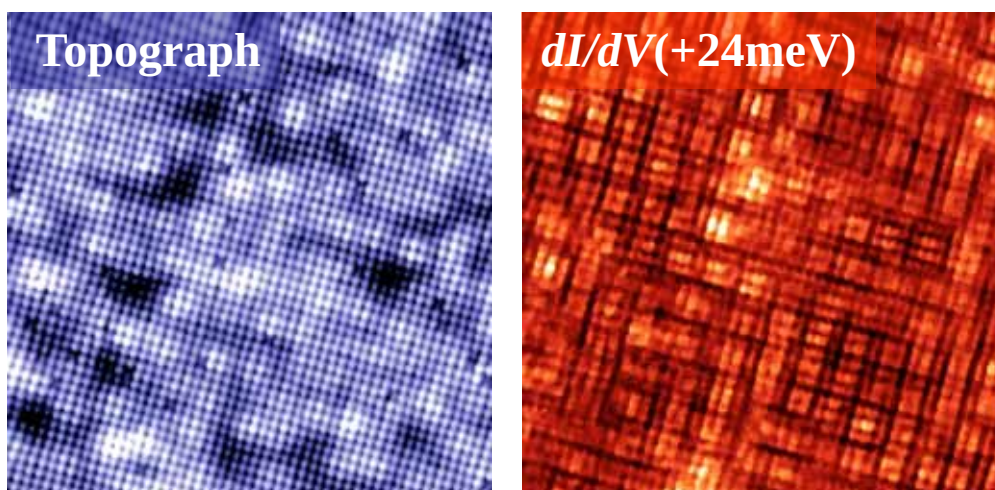


図 4 $\text{Ca}_{1.9}\text{Na}_{0.1}\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ の STM 像 ($20\text{ nm} \times 20\text{ nm}$) と同じ領域の dI/dV 像 (局所電子状態密度分布) .

この構造はエネルギー分散を示さず、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ で見出されているいわゆる準粒子干渉パターンとは全く異なる。このような長周期の構造は電荷密度波を想起させるが、トンネルスペクトルは通常の電荷密度波のものとは異なっており、いわば電子結晶というべき、ドーピングされたモット絶縁体の全く新しい基底状態であると結論した。さらに、この $4a \times 4a$ 構造は、その内部に 9 つのトンネルコンダクタンスの極大を持っている。すなわち、コンダクタンスの周期は $4a/3$ であり、驚くべきことに原子の周期と一致していない。最近の $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の T_c 以上の高温での STS や、磁束コア内の STS においても同様の長周期構造が不明瞭ながら見出されてきており、電子結晶状態が高温超伝導と競合する秩序であることが強く示唆される。このような電子結晶の存在は高温超伝導を記述するモデルに大きな制約を加えることになり、発現機構に迫る上で極めて重要な役割を果たすものである。

3. バンド幅制御モット転移の STM/STS 観察

モット絶縁体は高温超伝導体のようにドーピングによってフィリングを制御する以外に、バンド幅を変えて実効的な電子間斥力を弱めることによって金属化することができる (図 5)。上のような不均一な電子状態が強相関電子系のどのような特徴に由来するのか、また高温超伝導発現とどのように関わっているのかを知る上で、バンド幅制御モット転移近傍の電子状態解像は重要である。我々は典型的なバンド幅制御モット転移を示す $\text{NiS}_{2-x}\text{Se}_x$ が (100) 面に沿って良好な劈開

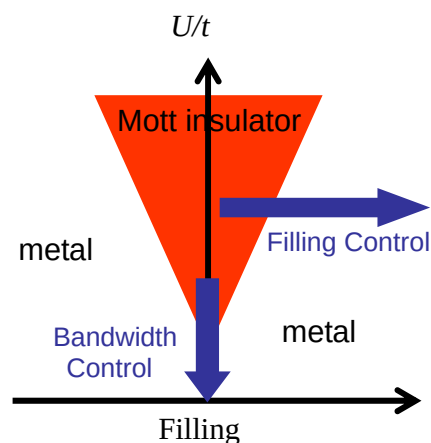


図 5 フィリング-相関相図

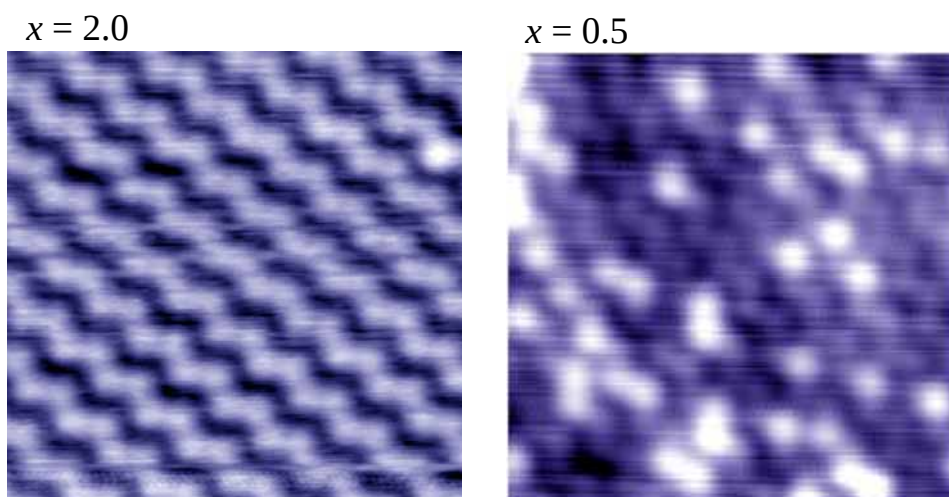


図 6 $\text{NiS}_{2-x}\text{Se}_x$ の STM 像 ($4.7 \text{ nm} \times 4.7 \text{ nm}$)

性を有することに着目し、系統的な STM/STS 測定を行った。図 6 に示すように、劈開面において明瞭な原子像が得られた。このようなジグザグの原子配置は、カルコゲン原子の配列に対応している。 $x = 0.5$ の試料に見られる輝点は、S を置換した Se と考えられる。

図 7 に様々な組成でとられたトンネルスペクトルを示す。この系は $x = 0.45$ 付近でモット転移を示すが、モット転移に近づくにつれてフェルミレベル近傍のピークが狭くなっており、有効質量の増大がモット転移に関与していることが示唆される。モット転移近傍の組成ではスペクトルに空間的不均一が見られるが、モット転移に関与していると考えられるフェルミレベル近傍のピークの形はほぼ均一であり、フィリング制御の系とは異なっていることが分かる。

$\text{NiS}_{2-x}\text{Se}_x$ は遷移金属の置換によってキャリアをドーピングすることも可能であり、フィリング-電子相関相図の広い範囲を研究する上で格好の系である。現在、相図上のどのような範囲で不均一が現れるのかを調べ、強相関電子系における電子状態の空間分布に関するの統一的な理解を図り、新機能を探索するため、系統的な試料作成を行っている。

4. $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ の STM/STS 観察

$\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ は遍歴強磁性に極めて近い常磁性金

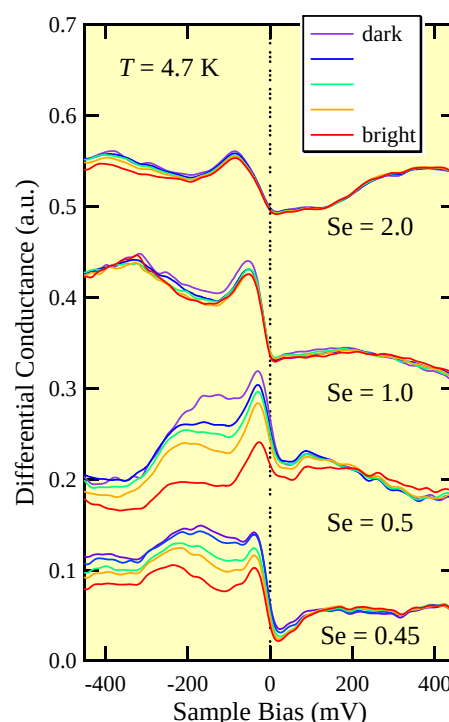


図 7 $\text{NiS}_{2-x}\text{Se}_x$ のトンネルスペクトル。異なる色は異なる場所で得られたデータである。

属である。したがって、磁気的な摂動に極めて敏感であることが予想される。我々は、この系に磁性不純物であるMnをドーピングし、電子状態の変化を調べた。まず、ドーピングしていない $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ のSTM/STS測定を行った。図8に示すように、明瞭で均一な正方格子が観測された。格子定数はX線回折から求められたバルクのものと同じであり、類縁構造を持つ Sr_2RuO_4 で報告されている表面再構成はこの系では観測されなかった。次にMnを5%Ruサイトに置換した試料に対して

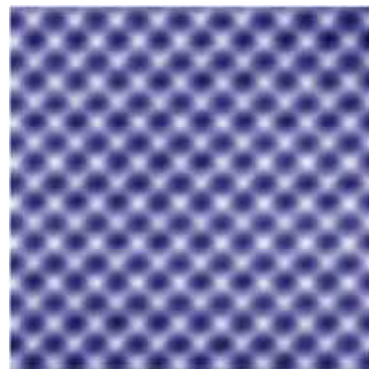


図 8 $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ のSTM像
(5 nm×5 nm) $T=5\text{ K}$

STM測定を行った。この系の基底状態は、弱強磁性を伴った反強磁性半導体であることが磁化測定から示唆されている。この系では図9に示すように、STM像に強いバイアス電圧依存性が見出された。

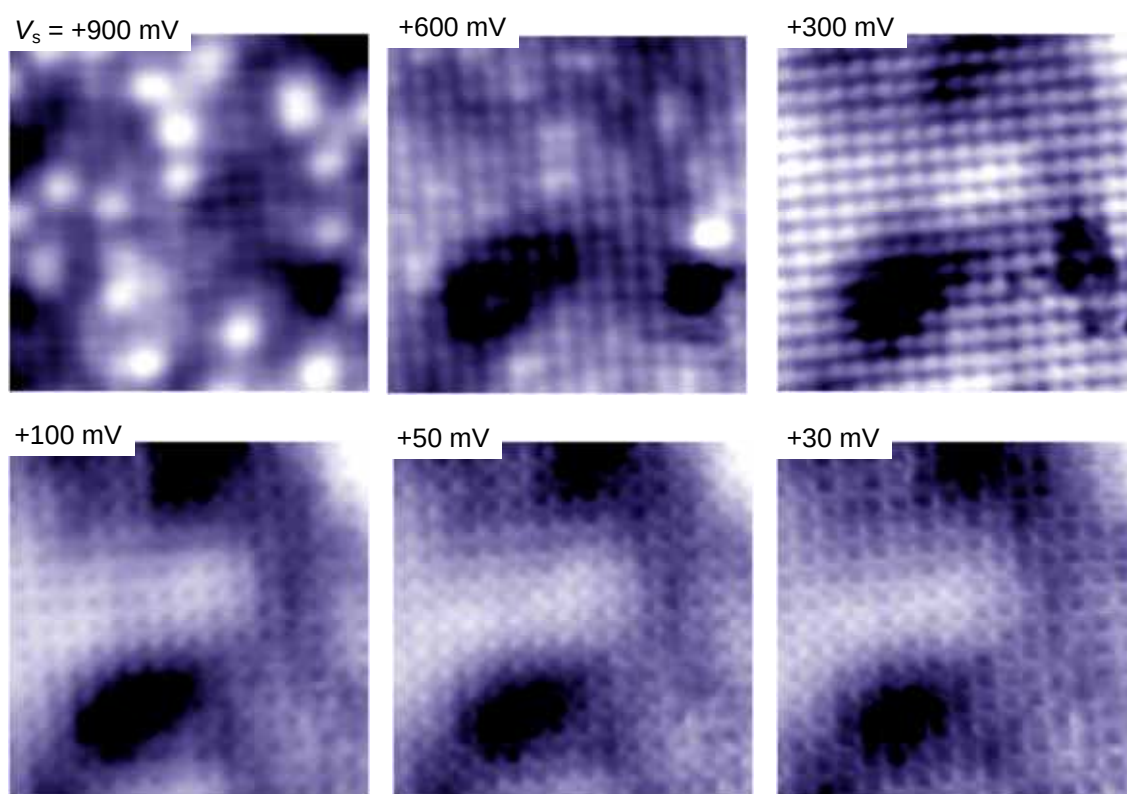
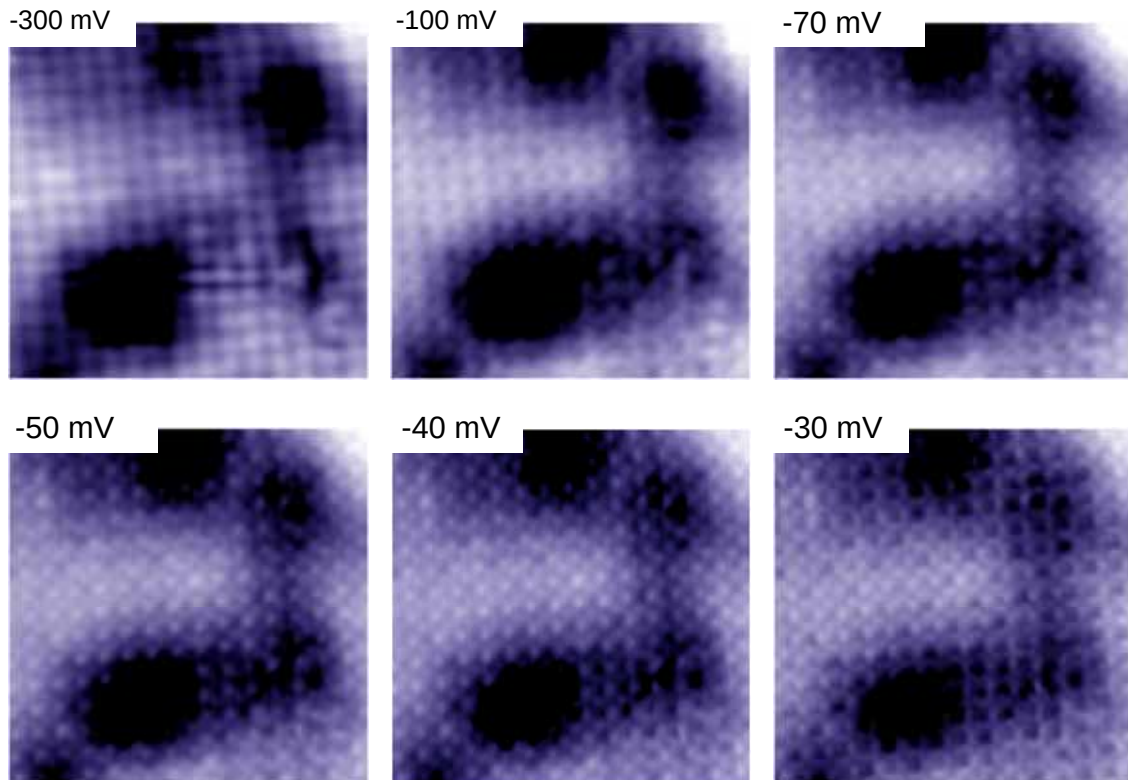


図 9 (a) $\text{Sr}_3\text{Ru}_{1.9}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_7$ のSTM像 (6 nm×6 nm) のバイアス依存性。(Empty states)



(b) $\text{Sr}_3\text{Ru}_{1.9}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_7$ のSTM像 (6 nm×6 nm) のバイアス依存性。(Filled states)

Empty statesの高バイアスで観測される輝点の数は、期待されるMnの数とほぼ一致しており、ドーピングされたMnの電子状態に関連していると考えられる。バイアス電圧を約300mV以下に下げると、Filled statesでもEmpty statesでも像に大きな変化が見られ、300 mV以上のバイアス電圧の時に観測される「原子」と「原子」の間にも凸が観測されていることが分かる。すなわち300mV近傍から、観測される電子状態が異なっていることが明確に分かる。このような強いバイアス依存性を持つSTM像は、結晶場分裂したRuの異なる軌道状態に対応している可能性があり、現在さらに実験を進めている。

5. Na_xCoO_2 のSTM/STS観察

Na_xCoO_2 は熱電材料として注目されている物質である。この系は CoO_2 層にNaがサンドイッチされた構造を持ち、高い熱電係数の他にNaがランダムに配置することによって、フォノンを散乱し、熱伝導が低下し、結果として熱電材料としての性能指数が向上している可能性が指摘されている。このことを確かめるため、劈開によって得られたNa層のSTM観測を行った。図10に示す

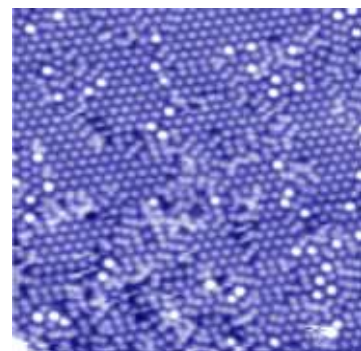


図 10 $\text{Na}_{0.5}\text{CoO}_2$ のSTM像 (25.6nm×25.6 nm)
 $T=10\text{K}$

ように、Naは部分的に 3×3 、もしくは 2×2 の秩序を形成するものの、ドメイン構造を作っている。このドメイン境界がフォノンの散乱体となっていると考えられる。

また、FZ法によって $x = 0.75$ の大型単結晶育成に成功した。この組成の試料は約20 KでSDW転移することが知られており、 CoO_2 面に何らかの長周期が存在する可能性がある。図11は $\text{Na}_{0.75}\text{CoO}_2$ の CoO_2 面のSTM像である。輝点の間隔はCo-Co間距離の2倍であり、電子状態の超構造を反映していると考えられる。また、この周期より長い構造も観測されている。 Na_xCoO_2 の濃度によって物性が様々に変化することが知られており、今後、異なるNa濃度の試料で系統的なNa層、 CoO_2 面のSTM/STS観察を行うことを計画している。

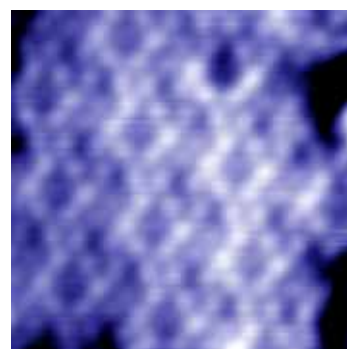


図 11 $\text{Na}_{0.75}\text{CoO}_2$ のSTM像 ($6\text{nm}\times 6\text{nm}$)
 $T=5\text{K}$

6. 酸化物熱電変換材料の物質開発

従来の複合酸化物熱電変換材料は Na_xCoO_2 なる組成式で表される。 $x = 0.6$ で熱電変換材料における熱起電力（ゼーベック係数）は最高 $95\mu\text{V/K}$ となっている。この酸化物熱電変換材料の問題点は、焼成過程の加熱によってアルカリ金属元素が欠損し、高い熱起電力を得るために必要な量のアルカリ金属元素の導入が困難であることである。本研究では、このような従来材料が有していた問題を2通りの方法で解決した。第一に、酸化物中で+1価となるアルカリ金属Naの代わりに+2価となるアルカリ土類金属元素Srを導入し、大きなゼーベック係数を有する酸化物熱電変換材料を実現した。第二に、結晶化学的に欠損が起こりにくいLiを導入し、Li層とNa層が交互に積層した超格子構造 $\text{Li}_x\text{CoO}_2\text{-Na}_y\text{CoO}_2$ を作ることにより、大きなゼーベック係数を有する酸化物熱電変換材料を実現することができた。

$\text{Sr}_x\text{Rh}_2\text{O}_4$ は、次項図12(a)に示すような結晶構造をとり、簡易な製法によってSr量を $0.7 < x < 1$ の範囲で制御することが出来る。アルカリ土類元素は+2価となるため、+1価となるアルカリ金属元素に較べて半分の量を導入するだけで、遷移金属元素の価数を+3.3価以下にすることが可能となった。これにより、図12に示したように、より簡易な製法により従来の材料と同等の大きさの熱起電力を持つ複合酸化物熱電変換材料を実現することができた。この化合物は摂氏1200度までの高温で安定であり、発電用途への応用が可能である。

$\text{Li}_x\text{CoO}_2\text{-Na}_y\text{CoO}_2$ は、図12(b)に示す超格子構造をとる。Liは Li_xCoO_2 においては $x = 1.0$ である組成を取りやすく、またNaは Na_xCoO_2 においては $x = 0.5$ となる組成を取りやすい。そこで、これら2つの酸化物を複合し、

$\text{Li}_x\text{CoO}_2\text{-Na}_y\text{CoO}_2$ で表される超格子構造を得ることによって、アルカリ金属元素の総量を $x+y=1.8$ まで大きくすることが可能となった。これにより、図13(c)に示したように、従来の材料に較べて、室温付近で約2倍の大きさの熱起電力をもつ複合酸化物熱電変換材料を実現した。

以上の2件の結果は、酸化物熱電変換材料として、特許出願中である。

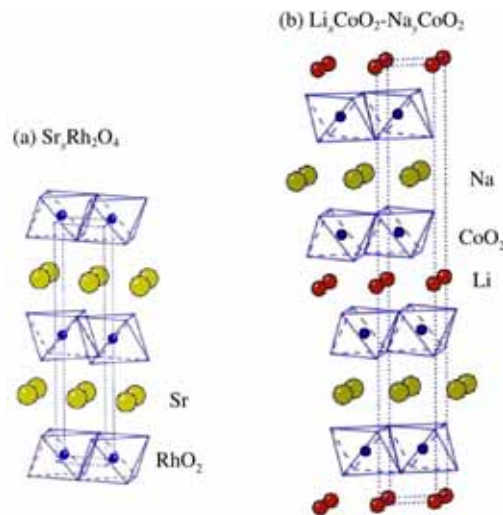


図12(a) $\text{Sr}_x\text{Rh}_2\text{O}_4$ と(b) $\text{Li}_x\text{CoO}_2\text{-Na}_y\text{CoO}_2$ の結晶構造

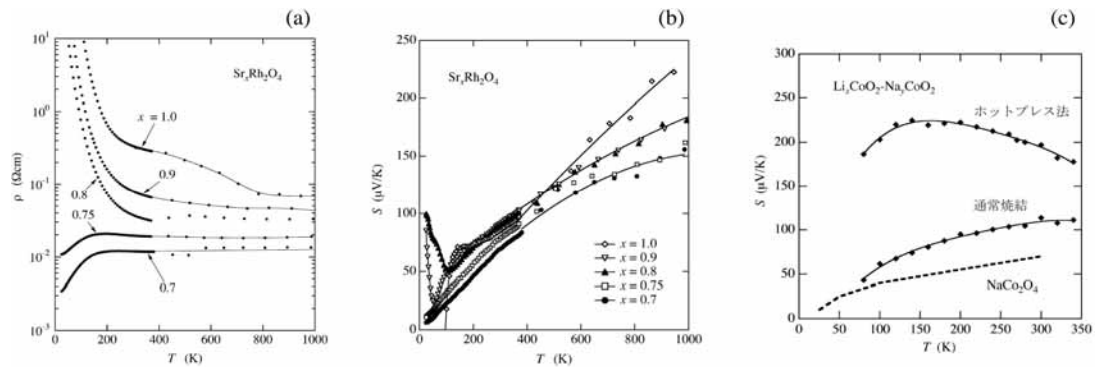


図13 層状Rh酸化物およびCo酸化物の熱電特性。(a) $\text{Sr}_x\text{Rh}_2\text{O}_4$ の電気抵抗率と(b)ゼーベック係数。(c)超格子 $\text{Li}_x\text{CoO}_2\text{-Na}_y\text{CoO}_2$ のゼーベック係数。

7. Na_xCoO_2 におけるNaイオンの秩序化

$\gamma\text{-Na}_x\text{CoO}_2$ は、通常の固相反応法では、Na量が $0.5 \leq x \leq 0.75$ の範囲において生成する。この物質は、高い熱電変換特性に加えて、最近では、 $x = 0.5$ におけるNaイオンの秩序化および電荷秩序状態の形成、 $x = 0.75$ におけるスピン密度波(SDW)など、特異な物性を示すことが知られるようになってきている。 $x < 0.5$ の領域では、水和物 $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ となり、無水物 Na_xCoO_2 は得られていなかった。

本研究では、ソフト化学の手法により、無水 Na_xCoO_2 ($x = 0.25$) の合成に成功した。図14は、透過型電子顕微鏡で観測した実空間像である。約0.57nmの辺をもつ三角格子が見て取れ、Naイオンが秩序化したものであると予想している。また、この物質は絶縁体であることから、Coにおいても Co^{3+} と Co^{4+} の電荷秩序状態が形成されていると考えられる。現在、その詳細を明らかにするために、X線構造解析および核磁気共鳴などの実験を進めている。

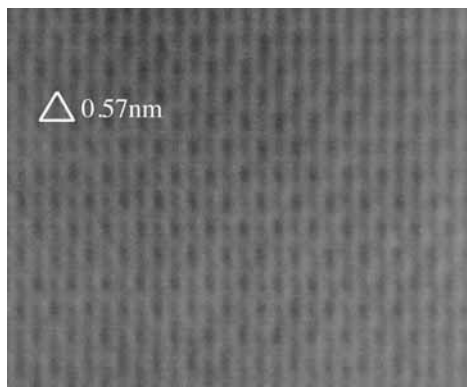


図14 Na_xCoO_2 ($x = 0.25$)の透過電子顕微鏡による実空間像。Naイオンがつくる三角格子が見える。

8. 水和した層状タンタル硫化物の超伝導

水分子を挿入した $\text{Na}_{0.35}\text{CoO}_2 \cdot 1.3\text{H}_2\text{O}$ における超伝導の発見を受けて、同様に水分子を含む超伝導体の探索を進めた。その結果、 $\text{Na}_x(\text{H}_2\text{O})_y(\text{MS})_{1+\delta}(\text{TaS}_2)_2$ で表される層状ミスフィット硫化物において、 $\text{M}=\text{Sn}, \text{Bi}$ とした化合物が、転移温度約4 Kの超伝導体であることを発見した。

母物質である $(\text{MS})_{1+\delta}(\text{TaS}_2)_2$ は、 TaS_2 層とMS層が、 $\text{TaS}_2\text{-TaS}_2\text{-MS}$ の順に積層した層状構造をとり、層状ミスフィット化合物として知られている。この物質にソフト化学の手法を適用することで、図14に示すように、母物質の隣接する TaS_2 層間にアルカリ金属イオンと水分子を挿入することが可能となった。 $\text{M}=\text{Sn}$ の場合、母物質は常伝導であるが、これに水分子を挿入すると、図15に示すように、 $T_c = 4$ Kの超伝導体となった。また、 $\text{M} = \text{Pb}$ における母物質は $T_c = 2.8$ Kの超伝導体であるが、水分子を挿入すると T_c が約3.7 Kまで上昇した。一方で、 $\text{M}=\text{Bi}$ の場合には、母物質は $T_c = 2.7$ Kの超伝導体であるが、水分子の挿入により超伝導が消失した。

ソフト化学の手法は、穏やかな反応条件において、溶媒交換やイオン交換反応を進めることが可能であり、多くの層状遷移金属酸化物やカルコゲン化物、さらには多孔質材料への適用も可能である。

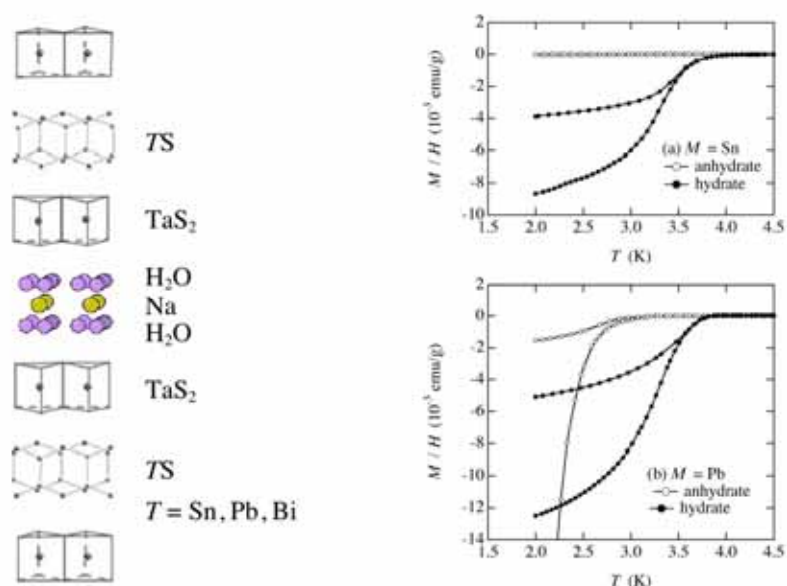


図15 水和した層状硫化物 $\text{Na}_x(\text{H}_2\text{O})_y(\text{MS})_{1+\delta}(\text{TaS}_2)_2$ の結晶構造（左）と、 $M=\text{Sn}, \text{Pb}$ における超伝導を示す磁化の温度依存性。

9. 希ガス内包フラーレンの超伝導

[60]フラーレン C_{60} は、ユニークなケージ状の分子構造を持ち、ナノテクノロジーの素材として注目されている。また、 C_{60} はアルカリ金属をドーピングすることにより、最高で33 Kという高い転移温度の超伝導体になることが知られており、その発現機構は興味深い。フラーレンの著しい特徴の一つにケージの中に広い空間があり、様々な分子、原子を内包させることが出来ることが挙げられる。本研究では、希ガスを C_{60} に内包させ、超伝導に与える影響を調べた。ケージ内の希ガスはケージと電子的な相互作用がほとんどないと考えられ、分子振動、格子振動の超伝導に与える影響を選択的に抽出できる。これは、分子の「同位体効果」とでもいえるべきフラーレンならではのユニークな視点である。

本研究では $\text{Ar}@\text{C}_{60}$ を合成、単離、物性評価を行った。合成には内熱式ガス圧装置を用い、圧力媒体のアルゴンガスが合成原料を兼ねている為、効率的に合成を行うことに成功した。また精製分離においても大容量のカラム、ポンプを備えた高速液体クロマトグラフィーを利用することで大量の試料を単離することに成功した。同定はMALDI-TOF-MSを用いた。図16に示すように、 $\text{K}_3(\text{Ar}@\text{C}_{60})$ が K_3C_{60} と同様、超伝導を発現することが明らかになった。その転移温度は17.1 ~ 17.3 Kと K_3C_{60} の19.3 Kに比べ、約2 K低下した。現在、フラーレン超伝導体の超伝導発現メカニ-

ズムではフラーレンの分子内振動の寄与が有力視されているが、Ar原子が内包されることでの分子内振動の変化では2 Kもの低下は説明できない。また分子間振動の寄与を考慮しても2 Kという変化は大きすぎるものである。よってAr原子が内包されることによるフラーレン cage への影響は振動や重さの変化以外にも存在するということが示されたと言える。例えばAr原子が内包されることによって、C₆₀ cage の電子状態が変化することや、Ar原子の振動とC₆₀の格子振動との結合によるフォノンの変化などが考えられる。またフラーレン cage の歪みに対する制限であるかもしれない。希ガス内包フラーレンにおける超伝導の発見により超伝導の発現機構に対する理解が深まるとともに、今後の研究に新たな道を切り開いたと信じるものである。また希ガス内包[60]フラーレンの研究にはフラーレンの生成メカニズムの探求などの基礎研究、フラーレンを原子と見立てたときの超原子性を用いた新規材料の探索など、期待できることは大きい。

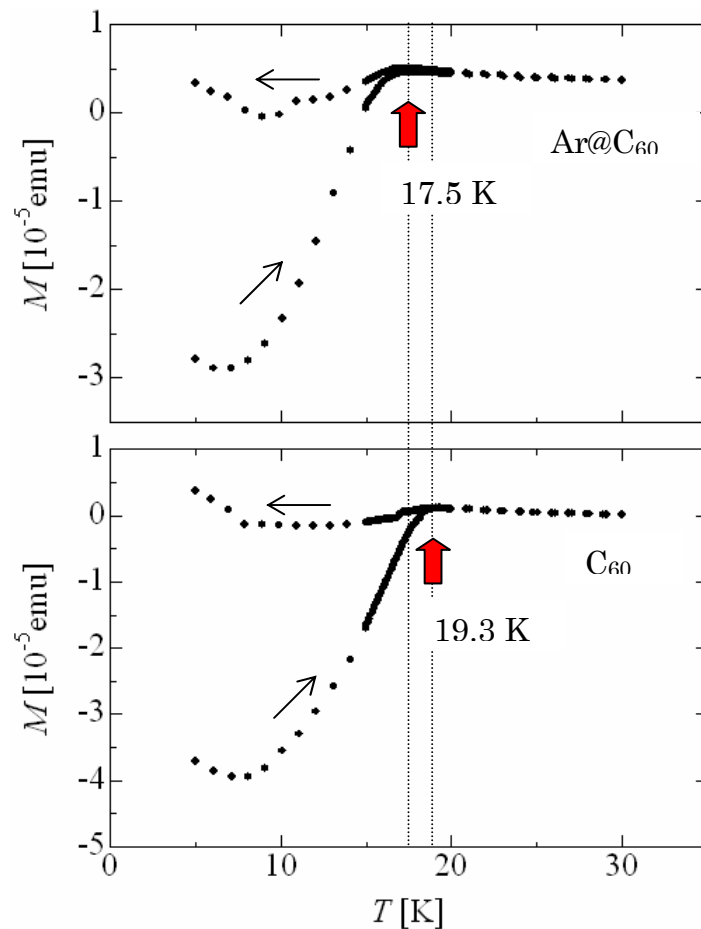


図16 $\text{K}_3(\text{Ar}@\text{C}_{60})$ 、 K_3C_{60} の磁化の温度依存性。

10. 超音波吸収法による超伝導ギャップ異方性の検出

近年、実験技術の進歩により、非従来型超伝導体における超伝導ギャップの異方性を、フェルミ面上の各位置において決定することができるようになりつつある。例えば、角度分解光電子分光や、磁束状態における比熱・熱伝導率測定があげられる。本研究では、そのような技術のひとつとして超音波吸収を取り上げた。超音波吸収自体は、超伝導ギャップの研究に古来より用いられてきたが、フェルミ面上のギャップ位置を検出できたという報告はなかった。本研究では、これまでに蓄積した高品質単結晶育成の技術を生かし、 $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ の大型単結晶の育成を行い、また高分解能超音波吸収測定装置の製作を進めた。これらと、近年発展した異方的超伝導体の超音波吸収に関する理論を組み合わせることにより、実際にフェルミ面上のどの位置がギャップレスであるのかを、超音波吸収によって検出可能であることを示すことが出来た。

図17に、 $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ の超伝導状態における縦波超音波の吸収係数を示す。L100で示したデータは、結晶の $\langle 100 \rangle$ 方向に進む超音波であり、 T_c 以下の温度においても大きな値を持つ。このことは $\langle 100 \rangle$ 方向の運動量を持つ準粒子が存在することを示しており、すなわち $\langle 100 \rangle$ 方向の超伝導ギャップが非常に小さくなっていることを示している。さらに全ての弾性モードの結果を総合することで、超伝導ギャップが $\langle 100 \rangle$ 方向でポイントノードを持つと結論できた。この結果から、ホウ炭化物における超伝導状態には、s波であるにもかかわらず異方的なギャップをもつ特異性があることが明らかになった。また、マイクロ吸収の測定によって、このようなギャップの異方性が、異常な磁束フロー抵抗の増大をもたらすことを見出した（図18）。高温超伝導体も異方的超伝導ギャップを持つため、このような異方的超伝導体特有の磁束ダイナミクスの知見は、今後の磁束を利用したデバイス研究の基礎データとして重要であると考えている。

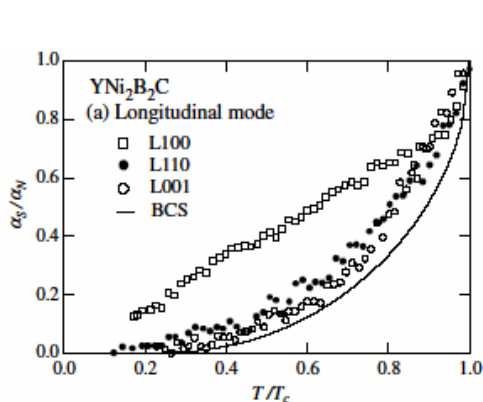


図 17 ホウ炭化物超伝導体 $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ における縦波超音波吸収係数の温度依存性

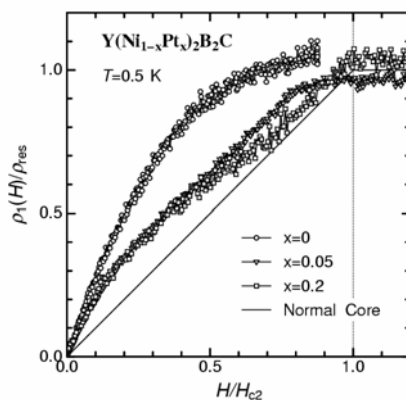
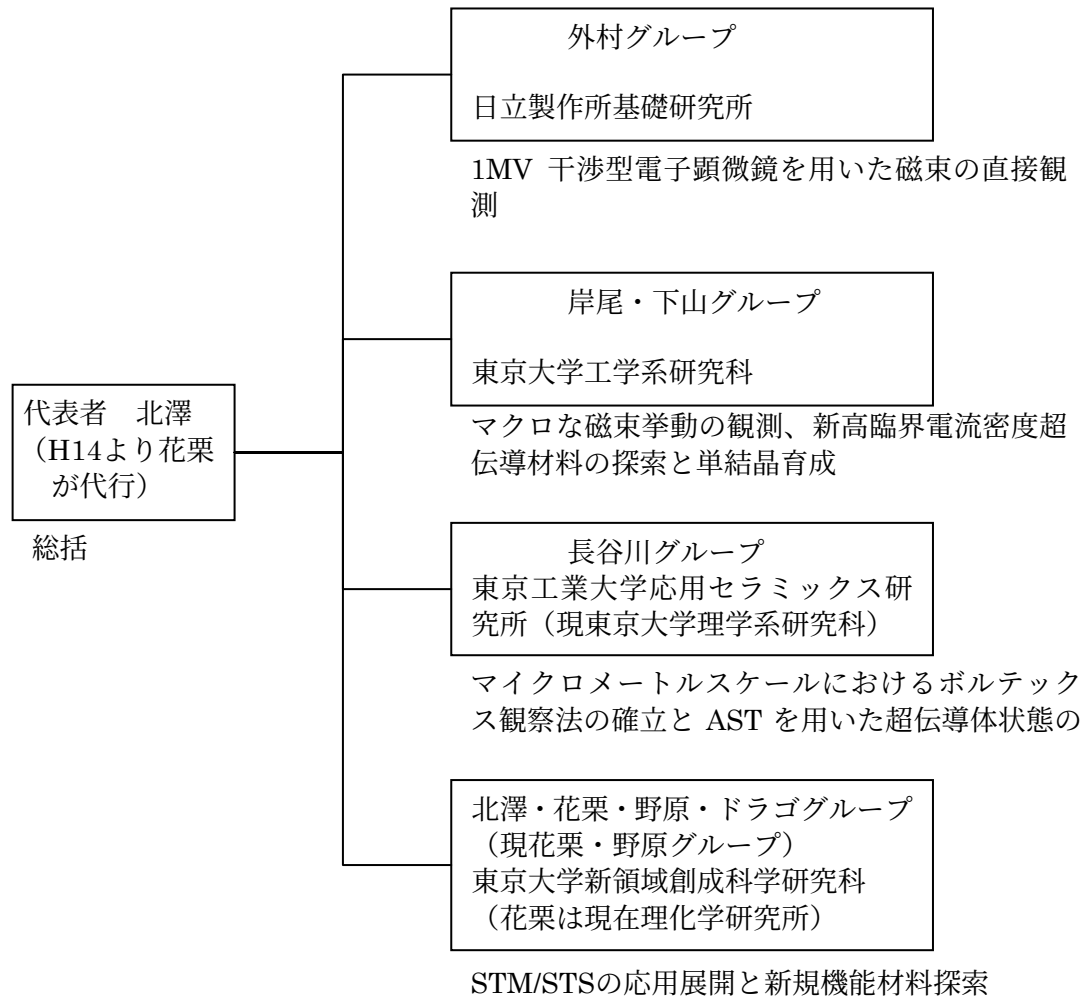


図 18 ホウ炭化物超伝導体 $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ における磁束フロー抵抗の磁場依存性

4. 研究実施体制

(1)体制



(2)メンバー表

①外村グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
外村 彰	(株)日立製作所	フェロー	当サイト研究取りまとめ	H13.4.1～ H16.3.31
川崎 猛	(株)日立製作所基礎研究所	主任研究員	1 MV 電顕の応用実験	H13.4.1～ H15.3.31
松元 隆夫	(株)日立製作所基礎研究所	主任研究員	〃	H13.4.1～ H15.3.31
吉田 高穂	(株)日立製作所基礎研究所	主任研究員	〃	H13.4.1～ H15.3.31
齋藤 栄	(株)日立製作所基礎研究所	主任技師	装置設計	H13.10.1～ H14.6.30
松波 正吉	(株)日立製作所基礎研究所	工程指導員	装置製作、追加工	H13.10.1～ H14.6.30
守谷 騰	(株)日立製作所基礎研究所	工程指導員	〃	H13.10.1～ H16.3.31
田子 英子	派遣先	研究補助員	電顕試料作成	H14.2.13～ H16.3.31
明石 哲也	日立計測器サ-ビス (株)	技師	1 MV 電顕の応用実験	H13.4.1～ H16.3.31
松井 功	(株)日立ハイテク ノロジーズ	――	〃	H15.10.1～ H16.3.31
松田 強	(株)日立製作所基礎研究所	主管技師	〃	H13.4.1～ H13.9.30
原田 研	(株)日立製作所基礎研究所	主任研究員	〃	H13.4.1～ H13.9.30
葛西 裕人	(株)日立製作所基礎研究所	研究員	〃	H13.4.1～ H13.9.30、 H15.2.1～ H16.3.31

②岸尾・下山グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
岸尾 光二	東京大学大学院工学系研究科	教授	層状超伝導体の異方性とピンニング特性の解析	H13.4.1～ H16.3.31
下山 淳一	東京大学工学部	助教授	層状超伝導体の異方性の制御とピンニング特性の評価	H13.4.1～ H16.3.31
越智 健二	東京大学工学部	助手	低異方性層状超伝導体の開発	H13.4.1～ H16.3.31
堀井 滋	東京大学大学院工学系研究科	助手	層状超伝導体の高度結晶配向手法の開発	H13.4.1～ H16.3.31
上田 真也	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	ドーピングによる層状超伝導体の機能制御	H13.4.1～ H16.3.31
清水 圭輔	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	層状超伝導体高品質単結晶の育成	H13.4.1～ H14.3.31
山際 龍太	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	強磁場を用いた組織制御による臨界電流特性の改善	H13.4.1～ H14.3.31
石田 純一	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	過剰酸素導入による層状超伝導体の異方性制御	H13.4.1～ H15.3.31
江藤 秀樹	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	強磁場による層状超伝導体の組織、結晶性の制御	H13.4.1～ H15.3.31
岡部 健彦	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	磁気光学法による層状超伝導体内の磁束密度分布観察	H13.4.1～ H15.3.31
佐野 光洋	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	高配向層状酸化物機能材料の開発	H13.4.1～ H15.3.31
鈴木 雅仁	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	機能性新規層状酸化物の設計と合成	H13.4.1～ H15.3.31
丸山 智弘	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	大型高温超伝導結晶材料の開発	H14.4.1～ H16.3.31
亀野 圭介	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	高臨界電流特性超伝導テープ材の開発	H14.4.1～ H16.3.31
重森 雅直	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	微量元素ドーピングによる高温超伝導体の臨界電流特性の改善	H14.4.1～ H16.3.31
杉岡 武也	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	高結晶性層状酸化物単結晶の育成と物性評価	H14.4.1 ～ H16.3.31
藤江 和之	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	新規酸化物機能材料の開発	H14.4.1 ～ H16.3.31
白木 正浩	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	新規酸化物機能材料の開発	H 15.4.1 ～ H16.3.31
杉浦 裕樹	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	微量元素ドーピングによる高温超伝導体の臨界電流特性の改善	H 15.4.1 ～ H16.3.31
中島 隆芳	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	高結晶性層状酸化物単結晶の育成と物性評価	H 15.4.1 ～ H16.3.31
山本 明保	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	ドーピングによる層状超伝導体の機能制御	H 15.4.1 ～ H16.3.31
横田 有為	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	高結晶性層状酸化物単結晶の育成と物性評価	H 15.4.1 ～ H16.3.31

③長谷川グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
長谷川 哲也	東京大学理学系研究科	教授	ボルテックス挙動の開明	H13.4.1 ～ H16.3.31
岡崎 紀明	物質材料研究機構	博士研究員	マイクロ波顕微鏡	H13.4.1 ～ H16.3.31
陳 昌明	東京工業大学フロンティア創造共同研究センター	博士研究員	STM/STS	H13.4.1～ H14.3.31
范 曉娟	東京工業大学フロンティア創造共同研究センター	博士研究員	STM/STS	H13.4.1～ H14.3.31
趙 小如	東京工業大学フロンティア創造共同研究センター	博士研究員	走査型 SQUID 顕微鏡	H13.4.1～ H16.3.31
長野 みか	東京工業大学フロンティア創造共同研究センター	博士研究員	局所熱物性評価	H13.9.1～ H15.3.31
木野田 剛	東京工業大学フロンティア創造共同研究センター	大学院生	超伝導体の STM/STS	H13.4.1 ～ H16.3.31
影山 剛史	東京工業大学フロンティア創造共同研究センター	大学院生	超伝導体の STM/STS	H13.4.1～ H14.3.31
笠井 淳平	東京工業大学フロンティア創造共同研究センター	大学院生	ボルテックスの可視化	H13.4.1 ～ H16.3.31
稲葉 和久	東京工業大学フロンティア創造共同研究センター	大学院生	光誘起磁気効果の測定	H13.4.1 ～ H16.3.31
中村 智明	東京工業大学フロンティア創造共同研究センター	大学院生	局所スピン計測	H13.4.1～ H14.3.31
菅谷 英生	東京工業大学フロンティア創造共同研究センター	大学院生	光誘起磁気効果の測定	H14.4.1 ～ H16.3.31
眞嶋 秀樹	東京工業大学フロンティア創造共同研究センター	大学院生	超伝導体の STM/STS	H14.4.1 ～ H16.3.31
岡崎 壮平	東京工業大学フロンティア創造共同研究センター	大学院生	局所マイクロ波計測	H14.4.1 ～ H16.3.31
末永 智郁	東京工業大学フロンティア創造共同研究センター	大学院生	単結晶育成	H14.4.1 ～ H16.3.31

④北澤：花栗・野原・ドラゴグループ（現花栗・野原グループ）

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
北澤 宏一	東京大学大学院新領域創成科学研究科	教授	研究統括	H13.4.1～ H14.5.14
花栗 哲郎	独立行政法人理化学研究所高木磁性研究室	先任研究員	AST の高度化と局所物性探索	H13.4.1～ H16.3.31
野原 実	東京大学大学院新領域創成科学研究科	助教授	無機材料新物質探索	H13.4.1～ H16.3.31
Dragoe, Nita	パリ大学固体化学研究所	助教授	フラーレン新物質探索分離	H13.4.1～ H15.3.31
中村 吉伸	東京大学大学院工学系研究科	助手	界面物性探索	H13.4.1～ H16.3.31
廣田 憲之	東京大学大学院新領域創成科学研究科	助手	強磁場中での新物性探索	H13.4.1～ H16.3.31
笹川 崇男	東京大学大学院新領域創成科学研究科	助手	超伝導物性探索	H13.4.1～ H16.3.31
勝藤 拓郎	派遣先	SORST 研究員	無機材料新物質探索	H13.4.1～ H14.3.31
近藤 眞一郎	東京大学大学院新領域創成科学研究科	学振研究員	無機材料新物質探索	H13.4.1～ H13.8.31
植田 浩明	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	量子臨界物性探索	H13.4.1～ H14.3.31
谷林 慧	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	AST シミュレーション	H13.4.1～ H15.3.31
和久 公則	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	超伝導物性探索	H13.4.1～ H15.3.31
池添 泰弘	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	強磁場中での新物性探索	H13.4.1～ H13.7.15
植竹 宏往	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	強磁場中での新物性探索	H13.4.1～ H15.3.31
岩谷 克也	東京大学大学院総合文化研究科	大学院生	AST の高度化と探針処理技術探索	H13.4.1～ H15.3.31
下谷 秀和	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	有機材料新物質探索	H13.4.1～ H15.3.31
中尾 祥一郎	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	無機材料の AST による評価技術の確立	H13.4.1～ H16.3.31
渡辺 忠孝	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	超伝導物性探索	H13.4.1～ H.15.3.31
上野 和紀	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	界面物性探索	H13.4.1～ H16.3.31
幸坂 祐生	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	電子相分離系の AST による評価	H13.4.1～ H16.3.31
松野 謙一郎	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	無機材料新物質探索	H13.4.1～ H16.3.31
伊藤 清太郎	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	有機材料新物質探索	H13.4.1～ H16.3.31
開発 徹	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	強磁場中での新物性探索	H13.4.1～ H14.3.31
栗原 佑介	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	界面物性探索	H13.4.1～ H14.3.31

	域創成科学研究科			
古泉 聡洋	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	超伝導物性探索	H13.4.1～ H14.3.31
末綱 倫浩	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	有機材料新物質探索	H13.4.1～ H14.3.31
谷口 耕治	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	無機材料新物質探索	H13.4.1～ H16.3.31
橋本 和也	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	超伝導物性探索	H13.4.1～ H14.3.31
益満 尚	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	AST による組織観察	H13.4.1～ H14.3.31
Suryadijaya	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	AST による電荷秩序系の評価	H13.4.1～ H16.3.31
正木 元基	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	無機材料新物質探索	H13.4.1～ H14.3.31
高山 知弘	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	強磁場中での新物性探索	H13.4.1～ H16.3.31
岡本 佳比古	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	無機材料新物質探索	H13.4.1～ H16.3.31
氏峰 潔	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	無機材料新物質探索	H13.4.1～ H15.3.31
羽場 靖洋	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	有機材料新物質探索	H13.4.1～ H15.3.31
疋田 育之	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	界面物性探索	H13.4.1～ H15.3.31
住田 知也	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	無機材料新物質探索	H13.4.1～ H15.3.31
堀雄一郎	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	AST による超伝導物性評価	H13.4.1～ H15.3.31
岡部 勇一	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	界面物性探索	H14.4.1～ H15.3.31
高橋 修平	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	無機材料新物質探索	H14.4.1～ H15.3.31
武田 淳彦	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	有機材料新物質探索	H14.4.1～ H16.3.31
中村 浩之	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	強磁場中での新物性探索	H14.4.1～ H16.3.31
長居 秀幸	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	超伝導物性探索	H14.4.1～ H16.3.31
市原 玲華	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	界面物性探索	H14.4.1～ H16.3.31
江口 朋子	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	無機材料新物質探索	H14.4.1～ H16.3.31
高島 信也	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	無機材料新物質探索	H14.4.1～ H16.3.31
富山 栄治	東京大学大学院工学系研究科	大学院生	無機材料新物質探索	H14.4.1～ H16.3.31
宮崎 崇	東京大学大学院新領域創成科学研究科	大学院生	有機材料新物質探索	H14.4.1～ H16.3.31

5. 研究期間中の主な活動

(1) ワ-クショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2002 年 7 月 12日	STM合同セミナー	東京大学 工学部	20	長谷川グループ、花栗・野原グループ、日立基礎研のSTMグループでSTMに関する成果発表と情報交換

(2) 招聘した研究者等

氏 名（所属、役職）	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Nikorn Mangkorntong （チェンマイ大学物理学科、 助教授）	酸化物単結晶試料 合成に関する共同 研究	東京大学北澤研 究室	2001 年 5 月 18 日～2001 年 8 月 29 日

6. 主な研究成果

(1)論文発表 (国内 24件、海外 127件)

1. A. Tonomura, H. Kasai, O. Kamimura, T. Matsuda, K. Harada, Y. Nakayama, J. Shimoyama, K. Kishio, T. Hanaguri, K. Kitazawa, M. Sasase and S. Okayasu: "Observation of individual vortices trapped along columnar defects in high-temperature superconductors", *Nature* **412** (2001) 620.
2. T. Matsuda, O. Kamimura, H. Kasai, K. Harada, T. Yoshida, T. Akashi, A. Tonomura, Y. Nakayama, J. Shimoyama, K. Kishio, T. Hanaguri, K. Kitazawa: "Oscillating Rows of Vortices in Superconductors", *Science* **294** (2001) 2136.
3. 外村 彰, 「1MV ホログラフィ電子顕微鏡」, *O plus E* **23** (2001) 83.
4. 外村 彰, 「電子顕微鏡で量子の世界を見る」, *日経サイエンス* **31** (2001) 46.
5. 外村 彰, 「電子の位相で見る極微の世界」 別冊数理科学 量子力学の発展 (2001) 56.
6. 川崎 猛, 松井 功, 吉田 高穂, 勝田 禎二, 林 総一郎, 遠藤 潤二, 窪田 重雄, 松田 強, 外村 彰, 北澤 宏一, 「1MV 電子波干渉型電子顕微鏡の開発」 *電子顕微鏡* **36** (2001) 61.
7. 外村 彰, 岸尾 光二, 北沢 宏一, 「柱状欠陥にピン止めされた磁束量子を見る (Direct Observation of Vortices Trapped at Columnar Defects)」 *日本物理学会誌* 2001 年 10 月号
8. 外村 彰, 「電子波が拓くナノ世界」 *マテリアルインテグレーション* **14** (2001)
9. J. Shimoyama, K. Murakami, K. Shimizu, Y. Nakayama, and K. Kishio, "Microstructure and critical current properties of Bi(Pb)2212/metal tapes and single crystals", *Physica C* **357** (2001) 1091.
10. Y. Matsuda, MB. Gaifullin, N. Chikumoto, J. Shimoyama and K. Kishio, "Josephson plasma resonance crossing the second peak; first order nature of the Bragg-to-vortex glass transition", *Physica C* **357** (2001) 432.
11. S. Nakaharai, T. Ishiguro, S. Watauchi, J. Shimoyama and K. Kishio, "Stitching of fluxoids parallel to the superconducting sheet in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ ", *Physica C* **357** (2001) 552.
12. E. Yasuda, N. Chikumoto, Y. Nakayama, K. Kishio, T. Nagatomo and M. Murakami, "Bitter pattern study of flux distribution in the BSCCO (2212)", *Physica C* **357** (2001) 564.
13. D. Darminto, MO. Tjia, AA. Nugroho, AA. Menovsky, J. Shimoyama and K.

- Kishio, "Variation of vortex-glass dynamics and critical region with oxygen content in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ single crystal", *Physica C* **357** (2001) 617.
14. S. Watauchi, H. Ikuta, H. Kobayashi, J. Shimoyama and K. Kishio, "First-order vortex phase transition in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_Y$ single crystals with different carrier concentrations studied by resistivity measurements", *Phys. Rev. B* **64** (2001) 064520.
 15. A. Lanzara, PV. Bogdanov, XJ. Zhou, SA. Kellar, DL. Feng, ED. Lu, T. Yoshida, H. Eisaki, A. Fujimori, K. Kishio, J. Shimoyama, T. Noda, S. Uchida, Z. Hussain and ZX. Shen, "Evidence for ubiquitous strong electron-phonon coupling in high-temperature superconductors", *Nature*. **412** (2001) 510.
 16. ES. Reddy, T. Murakami, Y. Nakayama, J. Shimoyama and K. Kishio, "Melt processing of Ba_2CuO_3 : Textured precursor for the fabrication of $\text{HgBa}_2\text{CuO}_Y$ superconductor", *J. Mat. Res.* **16** (2001) 1759.
 17. DL. Feng, NP. Armitage, DH. Lu, A. Damascelli, JP. Hu, P. Bogdanov, A. Lanzara, F. Ronning, KM. Shen, H. Eisaki, C. Kim, ZX. Shen, JI. Shimoyama and K. Kishio, "Bilayer splitting in the electronic structure of heavily overdoped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ ", *Phys. Rev. Lett.* **86** (2001) 5550.
 18. K. Murakami, K. Sugita, J. Shimoyama, S. Horii, K. Ottschi and K. Kishio, "Fabrication of heavily Pb-doped $\text{Bi}2212$ tapes", *IEEE Trans. Appl. Supercond.* **11** (2001) 3042.
 19. V. Zelezny, S. Tajima, D. Munzar, T. Motohashi, J. Shimoyama and K. Kishio, "Anomalies in the infrared spectra of underdoped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_Z$ as evidence for the intrabilayer Josephson effect", *Phys. Rev. B* **63** (2001) 050502.
 20. A. Fujimori, A. Ino, T. Yoshida, T. Mizokawa, M. Nakamura, C. Kim, ZX. Shen, K. Kishio, T. Kakeshita, H. Eisaki and S. Uchida, "Pseudogaps and dynamical stripes in $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ from photoemission spectroscopy", *J. Phys. Chem. Solids* **62** (2001) 15.
 21. A. Lanzara, PV. Bogdanov, SA. Kellar, XJ. Zhou, ED. Lu, G. Gu, JI. Shimoyama, K. Kishio, Z. Hussain and ZX. Shen, "Evidence for abrupt change in dispersion and scattering rate of quasiparticles in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ ", *J. Phys. Chem. Solids* **62** (2001) 21.
 22. Y. Tokunaga, K. Ishida, K. Yoshida, T. Mito, Y. Kitaoka, K. Asayama, Y. Nakayama, J. Shimoyama, K. Kishio, K. Kadowaki and T. Mochiku, "Spin gap

- and superconducting fluctuations in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ probed by Cu^{63} NMR", *J. Phys. Chem. Solids* **62** (2001) 167.
23. LH. Machtoub, L. Robinson, J. Shimoyama, T. Suemoto and K. Kishio, "Pseudo gap and its relation to anomalous features in underdoped $\text{Bi}_2\text{212}$ ", *J. Raman Spectroscopy* **31** (2001) 937.
 24. PV. Bogdanov, A. Lanzara, XJ. Zhou, SA. Kellar, DL. Feng, ED. Lu, H. Eisaki, JI. Shimoyama, K. Kishio, Z. Hussain, and ZX. Shen, "Photoemission study of Pb doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$: A Fermi surface picture", *Phys. Rev. B* **64** (2001) 180505.
 25. S. Tajima, V. Zelezny, T. Motohashi, J. Shimoyama, K. Kishio, and D. Munzar, "Optical response of the Josephson coupled CuO_2 -layers in high- T_c superconductors", *Physica C* **362** (2001) 86.
 26. MB. Gaifullin, Y. Matsuda, N. Chikumoto, J. Shimoyama, K. Kishio, and R. Yoshizaki, "c-Electron transport in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ and $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+\delta}$ probed by Josephson plasma resonance", *Physica C* **362** (2001) 228.
 27. ES. Reddy, KD. Ottschi, J. Shimoyama, and K. Kishio, "On the intermediate peak in melt textured $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ superconductors", *Physica C* **361** (2001) 114.
 28. Y. K. Yoo, F. Duewer, T. Fukumura, H. Yang, D. Yi, S. Liu, H. Chang, T. Hasegawa, M. Kawasaki, H. Koinuma, and X.-D. Xiang, "Strong Correlation between High Temperature Electronic and Low Temperature Magnetic Ordering in $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ Continuous Phase Diagram", *Phys. Rev. B.* **63** (2001) 224421.
 29. T. Fukumura, H. Sugawara, T. Hasegawa, K. Tanaka, H. Sakaki, T. Kimura, and Y. Tokura, "Anisotropic Magnetic Domain Structure of Layered Manganite $\text{La}_{1.4}\text{Sr}_{1.6}\text{Mn}_2\text{O}_7$ ", *Appl. Phys. Lett.* **78** (2001) 2023.
 30. G. Kinoda, T. Yamanouchi, H. Suzuki, T. Endo, K. Kitazawa, and T. Hasegawa, "Local Variations of Superconducting States in High J_c $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ Single Crystals Probed by Low Temperature Scanning Tunneling Spectroscopy", *Physica C* **353** (2001) 297.
 31. T. Kageyama, T. Hasegawa, T. Koida, M. Ohtani, T. Fukumura, M. Kawasaki, and H. Koinuma, "Local Magnetic Measurements of Composition-Spread Manganese Oxide Thin Films with a Scanning SQUID Microscope", *Appl. Phys. A* **72** (2001) S273.

32. J. Kasai, N. Okazaki, Y. Togawa, T. Sasagawa, J. Shimoyama, K. Kishio, H. Koinuma, and T. Hasegawa, "Direct Observation S of Vortices in a High- T_c Superconductor $(\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x)_2\text{CuO}_4$ by Scanning SQUID Microscopy", *Appl. Phys. A* **72** (2001) S263.
33. T. Fukumura, T. Shono, K. Inaba, T. Hasegawa, H. Koinuma, F Matsuura, and H. Ohno, "Magnetic Domain Structure of a Ferromagnetic Semiconductor $(\text{Ga,Mn})\text{As}$ Observed with Scanning Probe Microscopes", *Physica E* **10** (2001) 135.
34. Z. Jin, K. Hasegawa, T. Fukumura, Y. Z. Yoo, T. Hasegawa, H. Koinuma, and M. Kawasaki, "Magnetoresistance of 3d Transition-Metal-Doped Epitaxial ZnO Thin Films", *Physica E* **10**, (2001) 256.
35. Y. Mastumoto, R. Takahashi, M. Murakami, T. Kioda, X. Fan, T. Hasegawa, T. Fukumura, M. Kawasaki, S. Koshihara, and H. Koinuma, "Ferromagnetism in Co-Doped TiO_2 Rutile Thin Films Grown by Laser Molecular Beam Epitaxy", *Jpn. J. Appl. Phys.* **40** (2001) L1204.
36. Z. Jin, T. Fukumura, Y. Z. Yoo, M. Murakami, Y. Matsumoto, M. Kawasaki, T. Hasegawa, and H. Koinuma, "High Throughput Fabrication of Transition-Metal-Doped Epitaxial ZnO Thin Films: a Series of Oxide-Diluted Magnetic Semiconductors and Their Properties", *Appl. Phys. Lett.* **78** (2001) 3824.
37. Y. Matsumoto, M. Murakami, T. Shono, T. Hasegawa. T. Fukumura, M. Kawasaki, P. Ahmet, T. Chikyow, S. Koshihara, and H. Koinuma, "Room-Temperature Ferromagnetism in Transparent Transition Metal-Doped Titanium Dioxide", *Science* **291** (2001) 854.
38. T. Fukumura, Z. Jin, M. Kawasaki, T. Shono, T. Hasegawa, S. Koshihara, and H. Koinuma, "Magnetic Properties of Mn-Doped ZnO", *Appl. Phys. Lett.* **78** (2001) 958.
39. X. Zhao, J. Kasai, N. Okazaki, Y. Togawa, J. Shimoyama, K. Kishio, K. Kitazawa, T. Fukumura, M. Kawasaki, H. Koinuma, and T. Hasegawa, "Direct Observations of Vortices in Bi2212 Single Crystals by Scanning SQUID Microscopy", *Supercond. Sci. Technol.* **14** (2001) 1124.
40. I. Ohkubo, Y. Matsumoto, T. Hasegawa, K. Ueno, K. Itaka, P. Ahmet, T. Chikyow, M. Kawasaki, and H. Koinuma, "Pulsed Laser Epitaxy and Magnetic Properties of Single Phase Y-Type Magnetoplumbite Thin Films",

- Jpn. J. Appl. Phys. **40** (2001) L1343.
41. J. Kasai, Y. Togawa, T. Sasagawa, J. Shimoyama, K. Kishio, H. Koinuma, and T. Hasegawa, "Local Magnetic Properties of Underdoped $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ Single Crystal Probed by Scanning Superconducting Quantum Interference Device Microscopy", Jpn. J. Appl. Phys. **40** (2001) L1359.
 42. G. Kinoda, M. Nishiyama, Y. Zhao, M. Murakami, N. Okazaki, and T. Hasegawa, "Tunneling Spectroscopy of Non-Oxide Perovskite Superconductor MgCNi_3 ", Jpn. J. Appl. Phys. **40** (2001) L1365.
 43. 長谷川哲也, 「ハイスループット磁性材料評価」, 機能材料 **21** (2001) 70.
 44. 松本祐司, 長谷川哲也, 鯉沼秀臣, 「透明磁性酸化物のコンビナトリアル開発」, セラミックス **36** (2001) 591.
 45. H. Sugawara, T. Hasegawa, and K. Kitazawa, "Characterization of Cuprate Superconductors Using Tunneling Spectra and Scanning Tunneling Microscopy", "Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths", eds. K. A. Gschneidner, Jr., L. Eyring and M. B. Maple, Elsevier Science B.V. (2001) pp.563-607.
 46. N. Dragoe, H. Shimotani, J. Wang, M. Iwaya, A. de Bettencourt-Dias, A. L. Balch, and K. Kitazawa, "First unsymmetrical bisfullerene, C_{121} : Evidence for the presence of both homofullerene and methanofullerene cages in one molecule", Journal of the American Chemical Society **123** (2001) 1294.
 47. A. Maeda, Y. Tsuchiya, K. Iwaya, K. Kinoshita, H. Kitano, T. Hanaguri, T. Nishizaki, K. Shibata, N. Kobayashi, J. Takeya, K. Nakamura, and Y. Ando, "Dynamics vs electronic states of vortex core of high- T_c superconductors investigated by high-frequency impedance measurement", Physica C **362** (2001) 127.
 48. M. Nohara, H. Suzuki, N. Mangkorntong, and H. Takagi, "Impurity-induced gap modification in anisotropic superconductors: mixed-state specific heat of $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x(\text{Cu}_{1-y}\text{Zn}_y)\text{O}_4$ and $\text{Y}(\text{Ni}_{1-x}\text{Pt}_x)_2\text{B}_2\text{C}$ ", Physica C **357** (2001) 42.
 49. H. Shimotani, N. Dragoe, and K. Kitazawa, "Theoretical studies of the structures and stabilities of dumbbell-like fullerene dimers: C_{121} ", Journal of Physical Chemistry A **105** (2001) 4980.
 50. Y. Tsuchiya, K. Iwaya, K. Kinoshita, T. Hanaguri, H. Kitano, A. Maeda, T. Nishizaki, K. Shibata, and N. Kobayashi, "Estimation of vortex viscosity from the complex surface impedance measurement in the mixed state of

- YBa₂Cu₃O_y", *Physica C* **362** (2001) 273.
51. Y. Tsuchiya, K. Iwaya, K. Kinoshita, T. Hanaguri, H. Kitano, A. Maeda, K. Shibata, T. Nishizaki, and N. Kobayashi, "Electronic state of vortices in YBa₂Cu₃O_y investigated by complex surface impedance measurements", *Physical Review B* **63** (2001) 184517.
 52. A. Tonomura, H. Kasai, O. Kamimura, T. Matsuda, K. Harada, T. Yoshida, T. Akashi, J. Shimoyama, K. Kishio, T. Hanaguri, K. Kitazawa, T. Masui, S. Tajima, N. Koshizuka, P.L. Gammel, D. Bishop, M. Sasase, S. Okayasu, "Observation of structures of chain vortices inside anisotropic high-T_c superconductors", *Phys. Rev. Lett.* **88** (2002) 237001.
 53. H. Kasai, O. Kamimura, T. Matsuda, K. Harada, A. Tonomura, S. Okayasu, M. Sasase, Y. Nakayama, J. Shimoyama, K. Kishio, T. Hanaguri, and K. Kitazawa, "Observation of Vortices and Columnar Defects by 1-MV Lorentz Microscopy I", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* **689** (2002) 157.
 54. Kamimura, H. Kasai, T. Matsuda, K. Harada, A. Tonomura, S. Okayasu, M. Sasase, Y. Nakayama, J. Shimoyama, K. Kishio, T. Hanaguri, and K. Kitazawa, Observation of Vortices and Columnar Defects by 1-MV Lorentz Microscopy II", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* **689** (2002) 163.
 55. 外村 彰, 「電子線ホログラフィ」, 光学 **31** (2002) 281
 56. Osamu Kamimura, Hiroto Kasai, Tetsuya Akashi, Tsuyoshi Matsuda, Ken Harada, Jun Masuko, Takaho Yoshida, Nobuyuki Osakabe, Akira Tonomura, Marco Beleggia, Giulio Pozzi, Jun-ichi Shimoyama, Kohji Kishio, Tetsuo Hanaguri, Koichi Kitazawa, Masato Sasase⁷ and Satoru Okayasu "Direct Evidence of the Anisotropic Structure of Vortices Interacting with Columnar Defects in High-Temperature Superconductors through the Analysis of Lorentz Images", *J. Phys. Soc. Jpn.*, **71** (2002) 1840.
 57. 外村 彰, 「100万ボルト電界放出電子顕微鏡」 応用物理 **71** (2002)
 58. 外村 彰, 「ぶつかり合い、渦巻く磁力線が見える」, AERA Mook、(2002) 朝日新聞社.
 59. 外村 彰, 「超高圧電界放出電子顕微鏡によるフラクソンの観察 (ロ・レンツ顕微鏡法の原理)」, まてりあ **41** (2002) 888.
 60. 外村 彰, 「1 MV ホログラフィ電子顕微鏡で見るミクロの世界」 固体物理 **37** (2002) 13.
 61. A. Tonomura, H. Kasai, O. Kamimura, T. Matsuda, K. Harada, Y. Nakayama,

- J. Shimoyama, K. Kishio, T. Hanaguri, K. Kitazawa, M. Sasase and S. Okayasu "Lorentz microscopy observation of vortices inside Bi-2212 thin films with columnar defects" *Physica C* **369** (2002) 68.
62. A. Tonomura "Lorentz microscopy of vortices in superconductors" *J. of Elect. Microsc.* 51(Supplement), S3-S11 (2002).
 63. M. Beleggia, G. Pozzi, J. Masuko, N. Osakabe, K. Harada, T. Yoshida, O. Kamimura, H. Kasai, T. Matsuda and A. Tonomura "Interpretation of Lorentz Microscopy observations of vortices in high-temperature superconductors with columnar defects" *Phys. Rev. B* **66** (2002) 174518.
 64. A. Tonomura "1MV Holography Electron Microscope and Its Applications" *Proceedings of ICEM-15 Durban* (2002).
 65. S. Horii, S. Ueda, J. Shimoyama, and K. Kishio, "First-Order Vortex Phase Transition and Anisotropic Resistivities in the Trilayered Hg(Re)Ba₂Ca₂Cu₃O_y Superconductor", *Phys. Rev. B* **66** (2002) 132506.
 66. J. Shimoyama, K. Shimizu, S. Ueda, S. Horii, K. Ottschi, K. Kishio, and N. Chikumoto, "Flux Pinning Properties of Bi2223 and Hg(Re)1223 Single Crystals with Columnar Defects", *Physica C* **378-381** (2002) 457.
 67. DL. Feng, C. Kim, H. Eisaki, DH. Lu, A. Damascelli, KM. Shen, F. Ronning , NP. Armitage, N. Kaneko, M. Greven, J. Shimoyama, K. Kishio, R. Yoshizaki, GD. Gu, and ZX. Shen, "Electronic Excitations Near the Brillouin Zone Boundary of Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ}", *Phys. Rev. B* **65** (2002) 220501.
 68. LH. Machtoub, T. Suemoto, J. Shimoyama, and K. Kishio, "Resonance Raman and Quasi-Particle Dynamics Investigated in Underdoped Bi2212", *J. Phys. Chem. Solids* **63** (2002) 1077.
 69. LH. Machtoub, T. Suemoto, J. Shimoyama, and K. Kishio, "Picosecond Raman Spectroscopy and Relaxation Study of Elementary Excitations in Bi2212", *Physica C* **378-381** (2002) 187.
 70. LH. Machtoub, T. Suemoto, J. Shimoyama, and K. Kishio, "Relaxation Study of Elementary Excitations in Bi2212 Investigated by Picosecond Raman Spectroscopy", *J. Raman Spectroscopy* **33** (2002) 471.
 71. DL. Feng, H. Eisaki, KM. Shen, A. Damascelli, C. Kim, DH. Lu, ZX. Shen, K. Shimizu, JI. Shimoyama, K. Kishio, N. Motoyama, N. Kaneko, M. Greven and GD. Gu, "Photoemission Study of the Intra-Unit-Cell Coupling in a Trilayer Cuprate", *Intl. J. Mod. Phys. B* **16** (2002) 1691.

72. S. Nakaharai, T. Ishiguro, S. Watauchi, J. Shimoyama, and K. Kishio, "Creeping of Pinned Vortex Lines Nearly Parallel to the Superconducting Plane of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ in the Irreversible Region", *Physica C* **383** (2002) 31.
73. X. R. Zhao, K. Kitazawa, and T. Hasegawa, "Effects of Impurities on Magnetization in $\text{Bi}_{2.1}\text{Sr}_{1.8}\text{Ca}(\text{Cu}_{1-x}\text{M}_x)_2\text{O}_y$ ($\text{M}=\text{Co}, \text{Zn}$) Single Crystals", *Physica C* **370** (2002) 44.
74. T. Hasegawa, T. Kageyama, T. Fukumura, N. Okazaki, M. Kawasaki, H. Koinuma, Y. K. Yoo, F. Duewer, and X.-D. Xiang, "High-throughput Characterization of Composition-Spread Manganese Oxide Films with a Scanning SQUID Microscope", *Appl. Surf. Sci.* **189** (2002) 210.
75. N. Okazaki, H. Odagawa, Y. Cho, T. Nagamura, D. Komiyama, T. Koida, H. Minami, P. Ahmet, T. Fukumura, Y. Matsumoto, M. Kawasaki, T. Chikyow, H. Koinuma, and T. Hasegawa, "Development of Scanning Microwave Microscope with a Lumped Constant Resonator Probe for High-throughput Characterization of Combinatorial Dielectric Materials", *Appl. Surf. Sci.* **189** (2002) 222.
76. N. Nishiyama, G. Kinoda, S. Shibata, T. Hasegawa, N. Koshizuka, and M. Murakami, "Low Temperature Scanning Tunneling Spectroscopy Studies of High J_c $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ Single Crystals", *J. Supercond.: Incorp. Novel Magn.* **15** (2002) 351.
77. Y. Mastumoto, M. Murakami, T. Hasegawa, T. Fukumura, M. Kawasaki, P. Ahmet, K. Nakajima, T. Chikyow, and H. Koinuma, "Structural Control and Combinatorial Doping of Titanium Dioxide Thin Films by Laser Molecular Beam Epitaxy", *Appl. Surf. Sci.* **189** (2002) 344.
78. H. Kimura, T. Fukumura, M. Kawasaki, K. Inaba, T. Hasegawa, and H. Koinuma, "Rutile-type Oxide-diluted Magnetic Semiconductor: Mn-doped SnO_2 ", *Appl. Phys. Lett.* **80** (2002) 94.
79. X. Fan, H. Koinuma, and T. Hasegawa, "Direct Observation of Magnetic Domains in Phase Separated $\text{Nd}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{Mn}_3$ Single Crystals", *Phys. Rev. B* **65** (2002) 144401.
80. Y. Okimoto, Y. Ogimoto, M. Matsubara, Y. Tomioka, T. Kageyama, T. Hasegawa, H. Koinuma, M. Kawasaki, and Y. Tokura, "Direct Observation of Photo-Induced Magnetization in Relaxor Ferromagnet", *Appl. Phys. Lett.* **80** (2002) 1031.

81. N. Okazaki, P. Ahmet, T. Chikyow, H. Odagawa, Y. Cho, T. Fukumura, M. Kawasaki, M. Ohtani, H. Koinuma, and T. Hasegawa, "Development of Scanning Microwave Microscope for High-Throughput Characterization of Combinatorial Dielectric Thin Film", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* **700** (2002) 119.
82. X. J. Fan, M. Murakami, R. Takahashi, T. Koida, Y. Matsumoto, T. Hasegawa, T. Fukumura, M. Kawasaki, P. Ahmet, T. Chikyow, and H. Koinuma, "High Throughput Characterization of Magnetic Semiconductor Thin Films with a Scanning SQUID Microscope", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* **700** (2002) 55.
83. T. Fukumura, Y. Okimoto, M. Ohtani, T. Kageyama, T. Koida, M. Kawasaki, T. Hasegawa, Y. Tokura, and H. Koinuma, "A Composition-Spread Approach to Investigate Band-Filling Dependence on Magnetic and Electronic Phases for Perovskite Manganite", *Appl. Surf. Sci.* **189** (2002) 339.
84. Z.-W. Jin, T. Fukumura, K. Hasegawa, Y.-Z. Yoo, K. Ando, T. Sekiguchi, P. Ahmet, T. Chikyow, T. Hasegawa, H. Koinuma, and M. Kawasaki, "Optical and Electrical Properties of Co-Doped Epitaxial ZnO Films", *J. Crystal Growth* **237-239** (2002) 548.
85. T. Fukumura, M. Kawasaki, Zhengwu Jin, H. Kimura, Y. Yamada, M. Haemori, Y. Matsumoto, K. Inaba, M. Murakami, R. Takahashi, T. Hasegawa, and H. Koinuma, "Combinatorial Search for Transparent Oxide Diluted Magnetic Semiconductor", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* **700** (2002) 45.
86. I. Ohkubo, Y. Matsumoto, M. Ohtani, T. Hasegawa, K. Ueno, K. Itaka, A. Parhat, T. Chikyow, M. Kawasaki, and H. Koinuma, "High Throughput Optimization of Y-type Magnetoplumbite Epitaxial Thin Film Growth by Combinatorial Pulsed Laser Deposition Technique", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* **700** (2002) 61.
87. K. Ueno, I. Ohkubo, Y. Matsumoto, N. Okazaki, T. Hasegawa, K. Itaka, and H. Koinuma, "Characterization of Magnetic and Dielectric Properties on Y-type Magnetoplumbite Epitaxial Thin Films for High Frequency Application", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* **700** (2002) 67.
88. T. Chikyow, P. Ahmet, T. Naruke, K. Nakajima, N. Okazaki, K. Hasegawa, H. Minami, K. Itaka, T. Koida, J.H. Song, M. Yoshimoto, T. Hasegawa, M. Kawasaki, and H. Koinuma, "Combinatorial Synthesis Approach for Optimizing Oxide/Si Interfaces for the Future ULSI", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* **700** (2002) 85.

89. T. Y. Kim, T. Hirano, Y. Kitamoto, T. Hasegawa, H. Koinuma, and Y. Yamazaki, "Bi-YIG Nanoparticle and Plastic Hybridized Magneto-optical Material", *IEEE Trans. Mag.* **38** (2002) 3240.
90. I. Ohkubo, Y. Matsumoto, K. Itaka, T. Hasegawa, K. Ueno, M. Ohtani, M. Kawasaki, and H. Koinuma, "Quick Optimization of Y-type Magnetoplumbite Thin Films Growth by Combinatorial Pulsed Laser Deposition Technique", *Appl. Surf. Sci.* **197** (2002) 312.
91. 福村知昭, 長谷川哲也, 「走査型プローブ顕微鏡の磁性半導体及び超巨大磁気抵抗材料への適用」, *表面科学* **23** (2002) 233.
92. 長谷川哲也, 「走査 SQUID 顕微鏡の強磁性材料研究への応用」, *まてりあ* **41** (2002) 864.
93. 長谷川哲也, 「トンネル効果とナノケミストリ-」, *現代化学* **380** (2002) 58.
94. 長谷川哲也, 「超伝導酸化物の電子物性」, 「セラミックス工学ハンドブック(第2版)」, 技報堂出版 (2002), 分担執筆.
95. 長谷川哲也, 「ハイスループット磁性材料評価」, 「コンビナトリアルサイエンスの新展開」, シ-エムシ-出版 (2002), pp.261-269.
96. 長谷川哲也, 「超伝導体」, 「表面分析技術選書 走査プローブ顕微鏡」, 丸善 (2002), pp.150-158.
97. T. Katsufuji, M. Masaki, A. Machida, M. Moritomo, K. Kato, E. Nishibori, M. Takata, M. Sakata, K. Ohoyama, K. Kitazawa, and H. Takagi, "Crystal structure and magnetic properties of hexagonal $R\text{MnO}_3$ ($R=\text{Y, Lu, and Sc}$) and the effect of doping", *Physical Review B* **66** (2002) 134434.
98. K. Kinoshita, Y. Tsuchiya, T. Hanaguri, H. Kitano, A. Maeda, T. Nishizaki, T. Sato, and N. Kobayashi, "Effect of Zn doping on the electronic state of the vortex core in the mixed state of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ ", *Physica C* **378** (2002) 584.
99. Y. Kohsaka, M. Azuma, I. Yamada, T. Sasagawa, T. Hanaguri, M. Takano, and H. Takagi, "Growth of Na-doped $\text{Ca}_2\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ single crystals under high pressures of several GPa", *Journal of the American Chemical Society* **124** (2002) 12275.
100. H. M. Lee, M. M. Olmstead, T. Suetsuna, H. Shimotani, N. Dragoe, R. J. Cross, K. Kitazawa, and A. L. Balch, "Crystallographic characterization of $\text{Kr}@\text{C}_{60}$ in $(0.09\text{Kr}@\text{C}_{60}/0.91\text{C}_{60})\cdot\{\text{Ni-II}(\text{OEP})\}\cdot 2\text{C}_6\text{H}_6$ ", *Chemical Communications* (2002) 1352.
101. A. Maeda, T. Tsuboi, R. Abiru, Y. Togawa, H. Kitano, K. Iwaya, and T.

- Hanaguri, "Location-sensitive measurement of the local fluctuation of driven vortex density in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ ", *Physical Review B* **65** (2002) 054506.
102. H. Shimotani, N. Dragoë, and K. Kitazawa, "Theoretical studies on the structures and energetics of C_{122}H_4 isomers", *Physical Chemistry Chemical Physics* **4** (2002) 428.
 103. T. Suetsuna, N. Dragoë, W. Harneit, A. Weidinger, H. Shimotani, S. Ito, H. Takagi, and K. Kitazawa, "Separation of $\text{N}_2@\text{C}_{60}$ and $\text{N}@\text{C}_{60}$ ", *Chemistry-a European Journal* **8** (2002) 5079.
 104. T. Suetsuna, N. Dragoë, H. Shimotani, A. Takeda, S. Ito, R. J. Cross, M. Saunders, H. Takagi, and K. Kitazawa, "Chromatographic purification of $\text{Kr}@\text{C}_{60}$ ", *Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures* **10**(2002)15.
 105. K. Takaki, A. Koizumi, T. Hanaguri, M. Nohara, H. Takagi, K. Kitazawa, Y. Kato, Y. Tsuchiya, H. Kitano, and A. Maeda, "Effects of superconducting gap anisotropy on the flux flow resistivity in $\text{Y}(\text{Ni}_{1-x}\text{Pt}_x)_2\text{B}_2\text{C}$ ", *Physical Review B* **66** (2002) 184511.
 106. K. Taniguchi, T. Katsufuji, F. Sakai, H. Ueda, K. Kitazawa, and H. Takagi, "Charge dynamics and possibility of ferromagnetism in $\text{A}_{1-x}\text{La}_x\text{B}_6$ ($\text{A} = \text{Ca}$ and Sr)", *Physical Review B* **66** (2002) 064407.
 107. H. Ueda, K. Kitazawa, H. Takagi, and T. Matsumoto, "Strong carrier concentration dependence of pressure effect on bipolaronic transitions in Magneli phase $\text{Ti}_n\text{O}_{2n-1}$ ($n=4, 5, 6$)", *Journal of the Physical Society of Japan* **71** (2002) 1506.
 108. H. Ueda, M. Nohara, K. Kitazawa, H. Takagi, A. Fujimori, T. Mizokawa, and T. Yagi, "Copper pyrites CuS_2 and CuSe_2 as anion conductors", *Physical Review B* **65** (2002) 155104.
 109. 外村 彰, 「不可能を可能にする」, *応用物理* **72** (2003) 989.
 110. J. Shimoyama, K. Kitazawa, K. Shimizu, S. Ueda, S. Horii, N. Chikumoto, and K. Kishio, "Generic Guiding Law Between Irreversibility Field and Anisotropy - Chemical Control of Critical Current of High Temperature Superconductors", *J. Low Temp. Phys.* **131** (2003) 1043.
 111. YQ. Zhou, I. Matsubara, S. Horii, T. Takeuchi, R. Funahashi, M. Shikano, J. Shimoyama, K. Kishio, W. Shin, N. Izu, and N. Murayama, "Thermoelectric Properties of Highly Grain-Aligned and Densified Co-Based Oxide Ceramics", *J. Appl. Phys.* **93** (2003) 2653.

112. J. Shimoyama, S. Horii, K. Otschi, M. Sano, and K. Kishio, "Oxygen Nonstoichiometry in Layered Cobaltite $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_y$ ", Jpn. J. Appl. Phys. **42** (2003) L194.
113. M. Sano, S. Horii, I. Matsubara, R. Funahashi, M. Shikano, J. Shimoyama, and K. Kishio, "Synthesis and Thermoelectric Properties of Magnetically *c*-Axis-Oriented $[\text{Ca}_2\text{CoO}_3]_{0.62}\text{CoO}_2$ Bulk with Various Oxygen Content", Jpn. J. Appl. Phys. **42** (2003) L198.
114. T. Okabe, J. Shimoyama, M. Shigemori, S. Horii, and K. Kishio, "Characteristic Properties of Doped-Bi2212 Single Crystals Studied by Magneto Optical Measurement", IEEE Trans Appl. Supercond. **13** (2003) 3759.
115. L.H. Machtoub, T. Suemoto, J. Shimoyama, and K. Kishio, "Magnetic Excitations Investigated by Ultrashort Pulse Excitation in High T_c Superconductors", Physica C **388-389** (2003) 273.
116. L. Machtoub, G. E. Machtoub, J. Shimoyama, T. Suemoto and K. Kishio, "Elementary Excitations Investigated by Femtosecond Raman Spectroscopy in Underdoped Cuprates", Physica C **392-396** (2003) 291.
117. S. Horii, I. Matsubara, M. Sano, K. Fujie, M. Suzuki, R. Funahashi, M. Shikano, W. Shin, N. Murayama, J. Shimoyama and K. Kishio, "Thermoelectric Performance of Magnetically *c*-Axis Aligned Ca-Based Cobaltites", Jpn. J. Appl. Phys. **42** (2003) 7018.
118. T. Y. Kim, J. Nishimura, T. Fukumura, M. Kawasaki, T. Hasegawa, H. Koinuma Y. Taguchi, and Y. Tokura, "Magnetic Domain Structure of Growth Temperature-Gradient $\text{Sm}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ Thin Film Investigated by Scanning SQUID Microscopy", Physica B **329** (2003) 1046.
119. H. Sugaya, T. Y. Kim, J. Nishimura, T. Fukumura, M. Kawasaki, H. Koinuma Y. Tokura, and T. Hasegawa, "Scanning SQUID Microscopy on Composition-Spread NdSrMnO Films under Irradiation", Physica B **329** (2003) 787.
120. X. J. Fan, H. Koinuma, and T. Hasegawa, "Ferromagnetic Correlation and Metallic Behavior in Slightly Electron-Doped Antiferromagnetic CaMnO_3 ", Physica B **329** (2003) 723.
121. J. Kasai, N. Okazaki, Y. Nakayama, T. Motohashi, J. Shimoyama, K. Kishio, H. Koinuma, and T. Hasegawa, "Local Magnetic Properties of High- T_c

- Superconductors Probed by Scanning SQUID Microscopy”, *Physica C* **388** (2003) 267.
122. G. Kinoda, S. Nakano, T. Motohasho, Y. Nakayama, K. Shimizu, J. Shimoyama, K. Kishio, T. Hanaguri, K. Kitazawa, and T. Hasegawa, “Inhomogeneous Electronic Structures in Heavily Pb-Doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ Single Crystals Probed by Low Temperature STM/STS”, *Physica C* **388** (2003) 273.
 123. H. Mashima, G. Kinoda, H. Ikuta, and T. Hasegawa, “Cryogenic STM/STS observations of Pb-doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_y$ Single Crystals”, *Physica C* **388** (2003) 275.
 124. T. Fukumura, Y. Yamada, K. Tamura, K. Nakajima, T. Aoyama, A. Tsukazaki, M. Sumiya, S. Fuke, Y. Segawa, T. Chikyow, T. Hasegawa, H. Koinuma, and M. Kawasaki, “Magneto-Optical Spectroscopy of Anatase TiO_2 Doped with Co”, *Jpn. J. Appl. Phys.* **42** (2003) L105.
 125. G. Kinoda, T. Hasegawa, S. Nakao, T. Hanaguri, K. Kitazawa, K. Shimizu, J. Shimoyama, and K. Kishio, “Observations of Electronic Inhomogeneity in Heavily Pb-doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ Single Crystals by Scanning Tunneling Microscopy”, *Phys. Rev. B* **67** (2003) 224509.
 126. G. Kinoda, T. Hasegawa, S. Nakao, T. Hanaguri, K. Kitazawa, K. Shimizu, J. Shimoyama, and K. Kishio, “Electronic Structures of Two-phase microstructures Alpha and Beta in Heavily Pb-doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ Single Crystals Investigated by Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy”, *Appl. Phys. Lett.* **83** (2003) 1178.
 127. 笠井淳平, 長谷川哲也, 「SPM による高温超伝導体の量子化磁束観察」, セラミックス **38** (2003) 799.
 128. Y. Matsumoto, H. Koinuma, T. Hasegawa, I. Takeuchi, F. Tsui, and Y. K. Yoo, “Combinatorial investigation of spintronic materials”, *MRS Bulletin* **28** (2003) 734 (2003).
 129. 長谷川哲也, 「SQUID」, 「イオン工学ハンドブック」, イオン工学研究所 (2003), 分担執筆.
 130. T. Hanaguri, A. Koizumi, K. Takaki, M. Nohara, H. Takagi, and K. Kitazawa, "Anomaly of quasi-particle density of states in the vortex state of NbSe_2 ", *Physica B* **329** (2003) 1355.
 131. T. Hanaguri, K. Takaki, Y. Tsuchiya, and A. Maeda, "An instrument for low-

- and variable-temperature millimeter-wave surface impedance measurements under magnetic fields", *Review of Scientific Instruments* **74** (2003) 4436.
132. K. Iwaya, T. Hanaguri, A. Koizumi, K. Takaki, A. Maeda, and K. Kitazawa, "Electronic state of NbSe₂ investigated by STM/STS", *Physica B-Condensed Matter* **329** (2003) 1598.
 133. K. Kinoshita, Y. Inoue, T. Umetsu, H. Kitano, A. Maeda, T. Hanaguri, T. Nishizaki, T. Sato, K. Shibata, and N. Kobayashi, "Millimeter wave and microwave electrodynamic spectroscopy of YBa₂(Cu_{1-x}Zn_x)₃O_y in the Meissner and mixed state", *Physica C* **388** (2003) 417.
 134. Y. Kohsaka, T. Hanaguri, K. Kitazawa, M. Azuma, M. Takano, and H. Takagi, "STM/STS study on Ca_{2-x}Na_xCu₂Cl₂ single crystals", *Physica C* **388** (2003) 283.
 135. Y. Kohsaka, T. Hanaguri, K. Kitazawa, M. Azuma, M. Takano, and H. Takagi, "Real space imaging of the electronic states in underdoped Ca_{2-x}Na_xCuO₂Cl₂ single crystals", *Journal of Low Temperature Physics* **131** (2003) 299.
 136. Y. Kohsaka, T. Sasagawa, F. Ronning, T. Yoshida, C. Kim, T. Hanaguri, M. Azuma, M. Takano, Z. X. Shen, and H. Takagi, "Angle-resolved photoemission spectroscopy of (Ca,Na)₂CuO₂Cl₂ crystals: Fingerprints of a magnetic insulator in a heavily underdoped superconductor", *Journal of the Physical Society of Japan* **72** (2003) 1018.
 137. K. Matsuno, T. Katsufuji, S. Mori, M. Nohara, A. Machida, Y. Moritomo, K. Kato, E. Nishibori, M. Takata, M. Sakata, K. Kitazawa, and H. Takagi, "Charge ordering and spin frustration in AlV_{2-x}Cr_xO₄", *Physical Review Letters* **90** (2003) 096404.
 138. S. Nakao, T. Hanaguri, K. Hashimoto, M. Nohara, H. Takagi, and K. Kitazawa, "Specific heat study of magnetic superconductor ErNi₂B₂C single crystal under magnetic fields", *Physica C* **388** (2003) 179.
 139. T. Sasagawa, T. Sugioka, N. Takeshita, K. Kitazawa, and H. Takagi, "Uniaxial pressure control of superconductivity via stripe instability in La_{1.64}Eu_{0.2}Sr_{0.16}CuO₄ crystals", *Journal of Low Temperature Physics* **131** (2003) 395.
 140. 重森雅直, 内田智史, 堀井滋, 下山淳一, 岸尾光二 「3d 遷移金属置換 Bi(Pb)₂212 単結晶の磁束ピンニング特性」, *低温工学* **39** (2004) 155.
 141. T. Fukumura, Y. Yamada, H. Toyosaki, T. Hasegawa, H. Koinuma, and M. Kawasaki, "Exploration of Oxide-based Diluted Magnetic Semiconductors

- toward Transparent Spintronics”, Appl. Surf. Sci. **223** (2004) 62.
142. H. Sugaya, S. Okazaki, T. Hasegawa, N. Okazaki, J. Nishimura, T. Fukumura, M. Kawasaki, and H. Koinuma, “Photo-induced Magnetism in Perovskite-type Mn Oxides Investigated by Using Combinatorial Methodology”, Appl. Surf. Sci. **223** (2004) 68.
 143. X. R. Zhao, N. Okazaki, Y. Konishi, K. Akahane, Z. Kuang, T. Ishibashi, K. Sato, H. Koinuma, and T. Hasegawa, “Magneto-optical Imaging for High-throughput Characterization of Combinatorial Magnetic Thin Films”, Appl. Surf. Sci. **223** (2004) 73.
 144. N. Okazaki, S. Okazaki, H. Higuma, S. Miyashita, Y. Cho, J. Nishimura, T. Fukumura, M. Kawasaki, M. Murakami, Y. Yamamoto, Y. Matsumoto, and H. Koinuma, “Characterization of $\text{LiNb}_{1-x}\text{Ta}_x\text{O}_3$ Composition-spread Thin Film by the Scanning Microwave Microscope”, Appl. Surf. Sci. **223** (2004) 196.
 145. K. Hasegawa, P. Ahmet, N. Okazaki, T. Hasegawa, K. Fujimoto, M. Watanabe, T. Chikyow, and H. Koinuma, “Amorphous Stability of HfO_2 Based Ternary and Binary Composition Spread Oxide Films as Alternative Gate Dielectrics”, Appl. Surf. Sci. **223** (2004) 229.
 146. M. Murakami, Y. Matsumoto, M. Nagano, T. Hasegawa, M. Kawasaki, and H. Koinuma, “Combinatorial Fabrication and Characterization of Ferromagnetic Ti-Co-O System”, Appl. Surf. Sci. **223** (2004) 245.
 147. M. Murakami, Y. Matsumoto, T. Hasegawa, P. Ahmet, K. Nakajima, T. Chikyow, H. Ofuchi, I. Nakai, and H. Koinuma, “Cobalt Valence States and Origins of Ferromagnetism in Co Doped TiO_2 Rutile Thin Films”, J. Appl. Phys. **95** (2004) 5330.
 148. H. Toyosaki, T. Fukumura, Y. Yamada, K. Kakajima, T. Chikyow, T. Hasegawa, H. Koinuma, and M. Kawasaki, “Anomalous Hall Effect Governed by Electron Doping in a Room-temperature Transparent Ferromagnetic Semiconductor”, Nature Mater. **3** (2004) 221.
 149. T. Watanabe, M. Nohara, T. Hanaguri, and H. Takagi, "Anisotropy of the superconducting gap of the borocarbide superconductor $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ with ultrasonic attenuation", Physical Review Letters **92** (2004) 147002.
 150. 野原実, 高木英典, 「熱電効果, 熱伝導度」, 第5版実験化学講座7巻(電気物性, 磁気物性)丸善, (2004) pp115-124.
 151. 花栗哲郎, 「磁区・磁束の直接観察」, 第5版実験化学講座7巻(電気物性, 磁

気物性) 丸善, (2004) pp340-342..

(2)口頭発表

①招待、口頭講演 (国内 120件、海外 87件)

②ポスター発表 (国内 17件、海外 33件)

1. 外村 彰(日立), 「電子の波で見る量子の世界」, 上智大学談話会, 上智大学, 2001 年 4 月 19 日
2. A.Tonomura (Hitachi), “The direct observation of vortices in high- T_c superconductors by Lorentz microscopy”, Advances in High Temperature Superconductivity, Israel, 2001 年 5 月 24 日
3. A.Tonomura (Hitachi), “The Quantum World Unveiled by Electron Waves”, Univ. of Stockholm, Sweden Stockholm, 2001 年 6 月 13 日
4. A.Tonomura (Hitachi), “The Quantum World Unveiled by Electron Waves”, Annual Meeting of Norway Physical Society, Norway, 2001 年 6 月 16 日
5. A. Tonomura (Hitachi), “The microscopic world unveiled by electron waves”, Univ. of, Norway Oslo, 2001 年 6 月 18 日
6. A.Tonomura (Hitachi), “The Microscopy World Unveiled by Electron Waves”, SAIT FEEM Symposium, Korea Suwon, 2001 年 6 月 26 日
7. 外村 彰(日立), 「1MV ホログラフィ電子顕微鏡とその応用」, 次世代センサ協議会定時総会, 2001 年 7 月 4 日
8. 外村 彰(日立), 「電子波が拓くミクロの世界」, Seeds と Needs の会, 2001 年 7 月 5 日
9. 外村 彰(日立), 「電子波で見るミクロの量子」, 東京工業大学, 2001 年 7 月 11 日
10. 外村 彰(日立), “Microscopic Distributions of Electric and Magnetic Fields Observed by Using Electron”, PIERS2001, 大阪, 2001 年 7 月 18 日
11. A.Tonomura (Hitachi), “1MV Field-Emission Transmission Electron Microscope”, M&M2001, USA Long Beach, 2001 年 8 月 7 日
12. A.Tonomura (Hitachi), “Dynamic Observation of Vortices in High T_c Superconductors”, ISQM_Tokyo 2001, 日立製作所基礎研究所, 2001 年 8 月 30 日
13. A.Tonomura (Hitachi), “Direct observation of vortices in high- T_c superconductors”, Conf. On Magnetic Superconducting Materials, Yarmouk Univ. Jordan, 2001 年 9 月 10 日
14. A.Tonomura (Hitachi), “Development of coherent electron beams and their

- applications to the observation of vortex behaviors in superconductors”,
Vortex Matter in Superconductors at Extreme Scales and Conditions, Creta,
Greece, 2001 年 9 月 18 日
15. 外村 彰(日立), 「電子波で見るミクロの世界」, 北大有機電子材料研究分野講演会, 札幌 北海道大学, 2001 年 9 月 25 日
 16. 外村 彰(日立), 「電子波で見るミクロの世界」, 分子構造総合討論会特別講演, 北海道札幌サンプラザ, 2001 年 9 月 26 日
 17. 外村 彰(日立), 「1MV ホログラフィ顕微鏡の開発と開発を支えた匠の技」, 新経営研究会, 日立製作所基礎研究所, 2001 年 9 月 28 日
 18. 外村 彰(日立), “Plenary talk “1MV Holography Electron Microscope and Its Applications to the Observation of Superconductors”, ICMR2001, 秋田, 2001 年 10 月 11 日
 19. 外村 彰(日立), “1MV Holography Electron Microscope and Its Applications”, APF-7 つくば, つくば物質材料研究機構, 2001 年 11 月 13 日
 20. 外村 彰(日立), 「電子波が拓くミクロの世界」, 堀場製作所講演, 京都, 2001 年 11 月 16 日
 21. 外村 彰(日立), 「電子波で見るミクロの世界」, 神奈川科学技術アカデミ-, 日立製作所基礎研究所, 2001 年 11 月 20 日
 22. 外村 彰(日立), 「電子波で見るミクロの世界-1MV ホログラフィ電子顕微鏡-」, 日本機会学会計算力学講演会, 札幌 北海道大学, 2001 年 11 月 30 日
 23. 外村 彰(日立), 「1MV Holography Electron Microscope and Its Applications to Superconductors」, 日欧ワ-クショップ, つくば物質材料研究機構, 2001 年 12 月 13 日
 24. 外村 彰(日立), 「1MV ホログラフィ電子顕微鏡と高温超伝導体の観察への応用」, 原子力研究所講演会, 日本原子力研究所東海研究所, 2001 年 12 月 18 日
 25. 上村 理(日立) (代理発表 東大・下山), “Observation of Vortices and columnar defect by Lorentz Microscopy I”, 2001 MRS Fall Meeting, Boston USA, 2001 年 11 月 26 日
 26. 葛西 裕人(日立) (代理発表 東大・下山), “Observation of Vortices and columnar defect by Lorentz Microscopy II”, 2001 MRS Fall Meeting, Boston USA, 2001 年 11 月 26 日
 27. J. Shimoyama(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), K. Otzsch(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), “Relation between precisely determined oxygen

- nonstoichiometry and superconducting properties of Re123 compounds”, ISTECH-MRS Workshop 2001, Honolulu, June 24-26, 2001.
28. J. Shimoyama(Univ. Tokyo), K. Shimizu(Univ. Tokyo), S. Ueda(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), K. Ottschi(Univ. Tokyo), K. Kishio(Univ. Tokyo), and N. Chikumoto(ISTECH-SRL), “Flux Pinning Properties of Bi2223 and Hg(Re)1223 Single Crystals with Columnar Defects”, 14th International Symposium on Superconductivity (ISS 2001), Kobe, September 25-27, 2001.
 29. S. Ueda(Univ. Tokyo), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), T. Sato(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), K. Ottschi(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), “Critical Current Properties of Hg(Re)1223 Single Crystals with Various Oxygen Content”, Materials Research Society 2001 Fall Meeting, Boston, November 26-30, 2001.
 30. K. Shimizu(Univ. Tokyo), T. Okabe(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), K. Ottschi(Univ. Tokyo), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), “Crystal Growth and Superconducting Properties of Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O_y (Bi2223) Single Crystals”, Materials Research Society 2001 Fall Meeting, Boston, November 26-30, 2001. (Invited Talk)
 31. J. Shimoyama(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), K. Ottschi(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), “How to Optimize Critical Current Performance of RE123 Materials by Controlling Oxygen Content”, Materials Research Society 2001 Fall Meeting, Boston, November 26-30, 2001.
 32. S. Horii(Univ. Tokyo), S. Ueda(Univ. Tokyo), K. Kameno(Univ. Tokyo), K. Ottschi(Univ. Tokyo), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), “Transport Properties of Hg(Re)Ba₂Ca₂Cu₃O_y Single Crystals”, Materials Research Society 2001 Fall Meeting, Boston, November 26-30, 2001.
 33. J. Shimoyama(Univ. Tokyo), K. Shimizu(Univ. Tokyo), S. Ueda(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), K. Ottschi(Univ. Tokyo), N. Chikumoto(ISTECH-SRL), and K. Kishio(Univ. Tokyo), “Efficiency of Pinning Sites in Various HTSC Materials”, 10th US-Japan Workshop on HTSC, Santa Fe, December 2-4, 2001.
 34. K. Ottschi(Univ. Tokyo), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), “Superconductivity and Structural Properties of Fe1212 and Ru1212” , 10th US-Japan Workshop on HTSC, Santa Fe, December 2-4,

- 2001.
35. K. Kishio and J. Shimoyama, "Electromagnetic Properties of Triple CuO_2 Layer Single Crystals; Bi2223 and Hg(Re)1223 ", EU-Japan Workshop on Superconductivity, Tsukuba, December 12-13, 2001.
 36. 岸尾光二（東大工），「超伝導新物質開発への期待」，第 62 回応用物理学会学術講演会，名古屋，2001 年 9 月 11~14 日
 37. 下山淳一（東大工），越智健二（東大工），鈴木雅仁（東大工），堀井滋（東大工），岸尾光二（東大工），「 NaCo_2O_y , $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_y$ の酸素不定比性」，第 62 回応用物理学会学術講演会，名古屋，2001 年 9 月 11~14 日
 38. 越智健二（東大工），鈴木雅仁（東大工），堀井滋（東大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「酸素不定比化合物 $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_y$ の構造および物性」，第 62 回応用物理学会学術講演会，名古屋，2001 年 9 月 11~14 日
 39. 石田純一（東大工），堀井滋（東大工），越智健二（東大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「 $(\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x)_2\text{CuO}_{4+\square}$ ($x=0, 0.03$) 単結晶育成と酸素量制御」，第 62 回応用物理学会学術講演会，名古屋，2001 年 9 月 11~14 日
 40. 清水圭輔（東大工），岡部健彦（東大工），堀井滋（東大工），越智健二（東大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (Bi2223) 単結晶の酸素量制御と輸送特性評価」，第 62 回応用物理学会学術講演会，名古屋，2001 年 9 月 11~14 日
 41. 下山淳一（東大工），堀井滋（東大工），越智健二（東大工），岸尾光二（東大工），「 RE123 の酸素不定比性と超伝導特性-RE 元素依存性-」，第 62 回応用物理学会学術講演会，名古屋，2001 年 9 月 11~14 日
 42. 堀井滋（東大工），上田真也（東大工），亀野圭介（東大工），越智健二（東大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「 BaZrO_3 坩堝で育成した $\text{Hg(Re)Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 単結晶の電子輸送現象」，第 62 回応用物理学会学術講演会，名古屋，2001 年 9 月 11~14 日
 43. 下山淳一（東大工），清水圭輔（東大工），上田真也（東大工），堀井滋（東大工），越智健二（東大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），筑本知子（超電導工学研究所），「重イオン照射した Bi2223 , Hg(Re)1223 単結晶の磁化特性」，第 62 回応用物理学会学術講演会，名古屋，2001 年 9 月 11~14 日
 44. 山際龍太（東大工），堀井滋（東大工），江藤秀樹（東大工），越智健二（東大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「磁場下における RE123

- 溶融凝固体の作製と配向効果」, 第 62 回応用物理学会学術講演会, 名古屋, 2001 年 9 月 11~14 日
45. 岡部健彦(東大工), 清水圭輔(東大工), 下山淳一(東大工), 岸尾光二(東大工), 「Bi(Pb)2212 単結晶における磁束ピンニング機構」, 2001 年秋季低温工学・超電導学会, 福井, 2001 年 11 月 23~25 日
 46. J. Kasai (Tokyo Inst. Tech.), X. Zhao (Univ. Tokyo), N. Okazaki (NIMS), Y. Nakayama (Univ. Tokyo), Y. Togawa (Univ. Tokyo), J. Shimoyama (Univ. Tokyo), K. Kishio (Univ. Tokyo), K. Kitazawa (Univ. Tokyo), T. Fukumura (Tokyo Inst. Tech.), M. Kawasaki (Tokyo Inst. Tech.), H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.), T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), “Direct Observations of Vortices in High-Tc Superconductors by Scanning SQUID Microscopy”, ISEC'01, Osaka, June 19-22 (2001).
 47. G. Kinoda (Tokyo Inst. Tech.), T. Yamanouchi (Tokyo Inst. Tech.), M. Honda (Univ. Tokyo), T. Endo (Univ. Tokyo), K. Kitazawa (Univ. Tokyo), T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), “Stability of the cleaved surfaces of NdBa₂Cy₃O_y single crystals probed by scanning tunneling spectroscopy”, International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques (STM'01) , Vancouver, Canada, July 15-20 (2001).
 48. K. Inaba (Tokyo Inst. Tech.), C.-M. Chen (Tokyo Inst. Tech.), J. Kasai (Tokyo Inst. Tech.), T. Fukumura (Tokyo Inst. Tech.), M. Kawasaki (Tokyo Inst. Tech.), H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.) T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), “Scanning SQUID microscopy as a local characterization tool for magnetic semiconductors”, International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques (STM'01) , Vancouver, Canada, July 15-20 (2001).
 49. T. Nakamura (Tokyo Inst. Tech.), T. Endo (Univ. Tokyo), K. Kitazawa (Univ. Tokyo), T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), “Tunneling spectroscopy using superconducting Nb tips at cryogenic temperatures”, International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques (STM'01) , Vancouver, Canada, July 15-20 (2001).
 50. 岡崎紀明(物材機構), 小田川裕之(東北大), 長 康雄(東北大), 大谷 亮(東工大), 福村知昭(東工大), 松本祐司(東工大), 川崎雅司(東工大), 鯉沼秀臣(東工大), 長谷川哲也(東工大), 「走査型マイクロ波プローブ顕微鏡によるコンビナトリアル誘電体薄膜試料の定量評価」, 第 62 回 2001 年秋季応用物理学会学術講演会

- 演会, 愛知工業大学, 2001 年 9 月 11 日-14 日
51. 木野田剛 (東工大), 中尾祥一郎 (東大), 本橋輝樹 (東大), 中山有里 (東大), 下山淳一 (東大), 岸尾光二 (東大), 花栗哲郎 (東大), 北沢宏一 (東大), 長谷川哲也 (東工大), 「高濃度Pb置換Bi₂Sr₂CaCu₂O_y単結晶の低温STM/STS観測」, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 徳島文理大学徳島校, 2001 年 9 月 17-20 日
 52. 稲葉和久 (東工大), 福村知昭 (東工大), 鯉沼秀臣 (東工大), 長谷川哲也 (東工大), 千葉大地 (東北大), 篁耕司 (東北大), 松倉文礼 (東北大), 大野英男 (東北大), 「走査型 SQUID 顕微鏡による(Ga, Mn)As の磁区構造観察 - 光照射効果」, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 徳島文理大学徳島校, 2001 年 9 月 17-20 日
 53. 笠井淳平 (東工大), 岡崎紀明 (物材機構), 趙小如 (物材機構), 中山有理 (東大), 戸川欣彦 (東大), 本橋輝樹 (東大), 下山淳一 (東大), 岸尾光二 (東大), 北沢宏一 (東大), 鯉沼秀臣 (東工大), 長谷川哲也 (東工大), 「高温超伝導体単結晶中のジョセフソンボルテックスの直接観察」, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 徳島文理大学徳島校, 2001 年 9 月 17-20 日
 54. 西山政人 (ISTEC), 木野田剛 (東工大), 柴田進 (ISTEC), 長谷川哲也 (東工大), 腰塚直己 (ISTEC), 村上雅人 (ISTEC), 「NdBa₂Cu₃O_y 単結晶の低温走査型トンネル顕微鏡観察II」, 徳島文理大学徳島校, 2001 年 9 月 17-20 日
 55. X. J. Fan (NIMS), C.M. Chen (Tokyo Inst. Tech.), M. Murakami (Tokyo Inst. Tech.), R. Takahashi (Tokyo Inst. Tech.), Y. Matsumoto (Tokyo Inst. Tech.), T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), T. Fukumura (Tohoku Univ.), M. Kawasaki (Tohoku Univ.), P. Ahmet (NIMS), T. Chikyow (NIMS), and H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.), “High Throughput Characterization Of Magnetic Semiconductor Thin Films With A Scanning SQUID Microscope”, MRS 2001 Fall Meeting, Boston, Nov. 26-30 (2001).
 56. N. Okazaki (NIMS), P. Ahmet (NIMS), T. Chikyow (NIMS), H. Odagawa (Tohoku Univ.), T. Fukumura (Tohoku Univ.), Y. Cho (Tohoku Univ.), M. Kawasaki (Tohoku Univ.), M. Ohtani (Tokyo Inst. Tech.), H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.) and T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), “Development Of Scanning Microwave Microscope For High-Throughput Characterization Of Combinatorial Dielectric Thin Film”, MRS 2001 Fall Meeting, Boston, Nov. 26-30 (2001).
 57. G. Kinoda (Tokyo Inst. Tech.), S. Nakao (Univ. Tokyo), T. Motohashi (Univ.

- Tokyo), Y. Nakayama (Univ. Tokyo), J. Shimoyama (Univ. Tokyo), K. Kishio (Univ. Tokyo), T. Hanaguri (Univ. Tokyo), K. Kitazawa (Univ. Tokyo) and T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), “STM/STS Investigations on Local Electronic Structures in Heavily Pb-doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ Single Crystals”, The 9th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, Atagawa, Dec. 6-8 (2001).
58. J. Kasai (Tokyo Inst. Tech.), N. Okazaki (NIMS), Y. Nakayama (Univ. Tokyo), T. Motohashi (Univ. Tokyo), J. Shimoyama (Univ. Tokyo), K. Kishio (Univ. Tokyo), H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.) and T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), “Direct Observation of Josephson Vortices in Heavily Pb-doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ with a Scanning SQUID Microscope”, The 9th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy, Atagawa, Dec. 6-8 (2001).
 59. K. Inaba (Tokyo Inst. Tech.), T. Fukumura (Tohoku Univ.), T. Y. Kim (NIMS.), H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.), T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), D. Chiba (Tohoku Univ.), K. Takamura (Tohoku Univ.), F. Matsukura (Tohoku Univ.) and H. Ohno (Tohoku Univ.), “Magnetic domain structures of (Ga,Mn)As probed by scanning SQUID microscopy”, PASPS-7, Yokohama, Dec. 17-18 (2001).
 60. K. Taniguchi(Univ. Tokyo), T. Katsufuji(Univ. Tokyo), H. Ueda(RIKEN), H. Takagi(Univ. Tokyo), and K. Kitawaza(JST), “Electronic Transport and Optical Properties of $\text{A}_{1-x}\text{La}_x\text{B}_6$ ($\text{A} = \text{Ca}, \text{Sr}$)”, JRCAT-CERC Workshop, Maui Island, USA, 2001.June.
 61. T. Sasagawa(Univ. Tokyo), Y. Kohsaka(Univ. Tokyo), S. Okada(Univ. Tokyo), T. Hanaguri(Univ. Tokyo), H. Takagi(Univ. Tokyo), F. Ronning(Stanford Univ.), Z.-X. Shen(Stanford Univ.), H. Kishida(Univ. Tokyo), H. Okamoto(Univ. Tokyo), M. Azuma(Kyoto Univ.), and M. Takano(Kyoto Univ.), “Electronic Evolution in Ideal Square-Lattice CuO_2 plane : Recent Results on Na-doped $\text{Ca}_2\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ Single Crystals”, Sixth International Conference on Spectroscopies of Novel Superconductors, Chicago (USA), May 13-17, 2001.
 62. T. Hanaguri(Univ. Tokyo), “Electronic states of vortices in clean s-wave superconductors”, International Workshop on Quantum Transport in Synthetic Metals & Quantum Functional Semiconductors, 2001 (QTSM2001), Seoul, Korea, May 9-11, 2001.

63. 勝藤拓郎 (東大), 正木元基 (東大), 町田晃彦 (名大), 守友浩 (名大), 加藤健一 (名大), 西堀英治 (名大), 高田昌樹 (名大), 坂田誠 (名大), 森茂生 (大阪府大), 北澤宏一 (JST), 高木英典 (東大), 「六方晶 RMnO_3 の強誘電転移と置換効果」, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 徳島・徳島文理大徳島校 2001 年 9 月 17-20
64. 植田浩明 (東大), 疋田育之 (東大), 高木英典 (東大), 北澤宏一 (JST), 「マグネリ相の高压物性 II」, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 徳島・徳島文理大徳島校 2001 年 9 月 17-20 日
65. 中尾祥一郎 (東大), 橋本和也 (東大), 野原実 (東大), 花栗哲郎 (東大), 高木英典 (東大), 北澤宏一 (JST), 「磁性超伝導体 $\text{ErNi}_2\text{B}_2\text{C}$ の磁場中比熱」, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 徳島・徳島文理大徳島校 2001 年 9 月 17-20 日
66. 松野謙一郎 (東大), 勝藤拓郎 (東大), 野原実 (東大), 町田晃彦 (名大), 守友浩 (名大), 加藤健一 (名大), 西堀英治 (名大), 高田昌樹 (名大), 坂田誠 (名大), 高木英典 (東大), 「スピネル型 $\text{AlV}_{2-x}\text{Cr}_x\text{O}_4$ の電荷整列融解とスピントラストレ・ション」, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 徳島・徳島文理大徳島校 2001 年 9 月 17-20 日
67. 橋本和也 (東大), 渡辺忠孝 (東大), 野原実 (東大), 高木英典 (東大), 花輪雅史 (東大), 広井善二 (東大), 「 $\text{Cd}_2\text{Re}_2\text{O}_7$ の超音波吸収」, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 徳島・徳島文理大徳島校 2001 年 9 月 17-20 日
68. 古泉聡洋 (東大), 高木啓史 (東大), 花栗哲郎 (東大), 野原実 (東大), 高木英典 (東大), 北澤宏一 (JST), 「混合状態における NbX_2 ($\text{X} = \text{Se}, \text{S}$) の比熱」, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 徳島・徳島文理大徳島校 2001 年 9 月 17-20 日
69. 岡本佳比古 (東大), 野原実 (東大), 高木英典 (東大), 「 $(\text{Sr}, \text{La})_2\text{RuO}_4$ の熱電特性」, 日本物理学会 2001 年秋季大会, 徳島・徳島文理大徳島校 2001 年 9 月 17-20 日
70. 外村 彰(日立), 「電子波でみる量子の世界」, 徳島大学講演会, 徳島大学, 02/01/30
71. 外村 彰(日立), 「1MV ホログラフィ電子顕微鏡の高温超伝導への応用」, 電子顕微鏡学会高分解能分科会, 札幌 北海道大学, 02/02/09
72. A.Tonomura (Hitachi), “Observation of individual vortices trapped along columnar defects in HTSC”, アメリカ物理学会, Indianapolis USA, 2002 年 3 月 20 日
73. 外村 彰(日立), 「電子波でみる量子の世界」, 情報処理学会全国大会, 東京電

機大学 鳩山キャンパス, 2002 年 3 月 13 日

74. 外村 彰(日立), “1MV Holography Electron Microscope and Its Applications to the Observation of High-Tc Superconductors”, Rohrer, Eigler Workshop, 東北大学, 2002 年 3 月 5 日
75. A. Tonomura (Hitachi), “Direct Observation of Structures and Dynamics of Vortices inside High-Tc Superconductors”, European Science Foundation の Structure and arrangement of Vortices in Superconductors Meeting, チェコ, プラハ, 2002 年 4 月 3 日.
76. A. Tonomura (Hitachi), “Physics Workshop Brookhaven, USA, The dynamic observation of quantized vortices in superconductors with electron waves”, Physics Workshop Brookhaven, Brookhaven, USA, 2002 年 4 月 22 日.
77. 葛西 裕人 (日立), 「高温超伝導体中のボルテックスと柱状欠陥との相互作用の観察」, 電子顕微鏡学会, 大阪, 2002 年 5 月 14 日.
78. 川崎 猛(日立), 「高電圧電界放出電子顕微鏡の開発と応用」, 電子顕微鏡学会, 大阪, 2002 年 5 月 14 日.
79. A. Tonomura (Hitachi), “The Microscopy World Observed with Holography Electron Microscope”, Angstrom Lec., Sweden, 2002 年 5 月 22 日.
80. 川崎 猛 (日立), 「1MV-FE-TEM の開発と FIB 加工によるロ-レンツ観察用試料作成」, エレクトロニクステクノフォーラム, 2002 年 6 月 14 日.
81. A. Tonomura (Hitachi), “Dynamic Observation of Vortices in High-Tc Superconductors by Lorentz Microscopy”, MSA, Canada, 2002 年 8 月 4 日.
82. A. Tonomura (Hitachi), “Bright Electron Beams and Their Applications to Electron Phase Microscopy”, MSA, Canada, 2002 年 8 月 7 日.
83. T. Akashi, “11.000 Interference Fringes by 1-MV Field Emission Electron Microscope”, MSA, Canada, 2002 年 8 月 4 日.
84. A. Tonomura (Hitachi), “Lorentz Microscopy Observation of Unconventional Behaviors of Vortices”, MOS2002, Taiwan, 2002 年 8 月 17 日.
85. A. Tonomura (Hitachi), “The Microscopic Unveiled by Electron Waves”, Physics Enrichment Camp, Singapore, 2002 年 8 月 30 日.
86. A. Tonomura (Hitachi), “Direct Observation on Low Temperature Physics”, LT23, Hiroshima, 2002 年 8 月 27 日.
87. A. Tonomura (Hitachi), “1MV Holography Electron Microscope and Its Applications”, ICEM, South Africa, 2002 年 9 月 8 日.
88. A. Tonomura (Hitachi), “The Quantum World Observed by Electron Wave”

Vienna Physics Colloquim, Austria, 2002 年 10 月 28 日.

89. A. Tonomura (Hitachi), “Direct Observation of Vortices in Superconductors by Electron Waves”, Atom Institute WS, 2002 年 10 月 31 日.
90. A. Tonomura (Hitachi), “Observation of Quantized Vortices in High- T_c Superconductors”, 界面微小領域の評価と制御, 仙台, 2002 年 11 月 11 日.
91. J. Shimoyama (Univ. Tokyo), K. Kitazawa(JST) and K. Kishio(Univ. Tokyo), “Generic Guiding Law Between Irreversibility Field and Anisotropy – Chemical Control of Critical Current of High Temperature Superconductors”, Physics and Chemistry of Molecular and Oxide Superconductors (PCMOS2002), Hsinchu, August 13-17, 2002.(Invited Talk).
92. 下山淳一(東大工), 「超伝導パワ-応用への期待」(イントロダクトリ-ト-ク), 第 49 回応用物理学関係連合講演会, 平塚, 2002 年 3 月 27~30 日.
93. 下山淳一(東大工), 江藤秀樹(東大工), 丸山智弘(東大工), 石井浩一(東大工), 堀井滋(東大工), 越智健二(東大工), 岸尾光二(東大工), 「RE123 の酸素不定比性と超伝導特性-RE 元素依存性-(2)」, 第 49 回応用物理学関係連合講演会, 平塚, 2002 年 3 月 27~30 日.
94. 鈴木雅仁(東大工), 越智健二(東大工), 堀井滋(東大工), 下山淳一(東大工), 岸尾光二(東大工), 「酸化物高温超伝導体 $\text{FeSr}_2\text{RECu}_2\text{O}_y$ に対する Cu 置換効果」, 第 49 回応用物理学関係連合講演会, 平塚, 2002 年 3 月 27~30 日.
95. 三田寺正樹(東大工), 越智健二(東大工), 堀井滋(東大工), 下山淳一(東大工), 岸尾光二(東大工), 「金属間化合物 $\text{MgC}_{1-x}\text{Ni}_3$ の炭素不定比性と超伝導性」, 第 49 回応用物理学関係連合講演会, 平塚, 2002 年 3 月 27~30 日.
96. 堀井滋(東大工), 佐野光洋(東大工), 越智健二(東大工), 下山淳一(東大工), 岸尾光二(東大工), 「高い熱電特性を有する $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ の磁場配向効果」, 第 49 回応用物理学関係連合講演会, 平塚, 2002 年 3 月 27~30 日.
97. 山際龍太(東大工), 堀井滋(東大工), 江藤秀樹(東大工), 越智健二(東大工), 下山淳一(東大工), 岸尾光二(東大工), 「REBaCuO 溶融凝固体の磁場配向化における 211 相の影響」, 第 49 回応用物理学関係連合講演会, 平塚, 2002 年 3 月 27~30 日.
98. 重森雅直(東大工), 岡部健彦(東大工), 堀井滋(東大工), 下山淳一(東大工), 岸尾光二(東大工), 「Co ドープ Bi(Pb)2212 単結晶の磁束ピンニング機構」, 2002 年度春季低温工学・超電導学会, 東京, 2002 年 5 月 18~20

- 日.
99. 江藤秀樹（東大工），堀井滋（東大工），越智健二（東大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「RE123(RE=Dy,Ho)溶融バルク体作製における磁場効果」，2002 年度春季低温工学・超電導学会，東京，2002 年 5 月 18～20 日.
 100. 丸山智弘（東大工），江藤秀樹（東大工），堀井滋（東大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「Flux 法による Nd-rich な $\text{Nd}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ 単結晶育成と臨界電流特性」，第 63 回応用物理学会学術講演会，新潟，2002 年 9 月 24～27 日.
 101. 下山淳一（東大工），鈴木雅仁（東大工），白木正浩（東大工），堀井滋（東大工），越智健二（東大工），岸尾光二（東大工），「 $\text{MAE}_2\text{RECu}_2\text{O}_y$ [M=Fe,Co,Cu; AE=Sr,Ba]の酸素不定比性と超伝導特性」，第 63 回応用物理学会学術講演会，新潟，2002 年 9 月 24～27 日.
 102. 堀井滋（東大工），佐野光洋（東大工），鈴木雅仁（東大工），藤江和之（東大工），越智健二（東大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「コバルト酸化物系熱電変換材料の磁場配向効果」，第 63 回応用物理学会学術講演会，新潟，2002 年 9 月 24～27 日.
 103. 下山淳一（東大工），鈴木雅仁（東大工），堀井滋（東大工），越智健二（東大工），岸尾光二（東大工），「Co 系層状酸化物の酸素不定比性と欠陥平衡」，第 63 回応用物理学会学術講演会，新潟，2002 年 9 月 24～27 日.
 104. 鈴木雅仁（東大工），堀井滋（東大工），佐野光洋（東大工），藤江和之（東大工），越智健二（東大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「 $[\text{Ca}_2(\text{Co}_{1-x}\text{Cu}_x)_2\text{O}_4]_y\text{CoO}_2$ 単結晶の育成と物性」，第 63 回応用物理学会学術講演会，新潟，2002 年 9 月 24～27 日.
 105. 佐野光洋（東大工），堀井滋（東大工），松原一郎（産総研），鹿野昌弘（産総研），舟橋良次（産総研），越智健二（東大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「磁場配向した $[\text{Ca}_2\text{CoO}_{3-\delta}]_{0.62}\text{CoO}_2$ 多結晶体の酸素量制御と熱電特性」，第 63 回応用物理学会学術講演会，新潟，2002 年 9 月 24～27 日.
 106. 下山淳一（東大工），江藤秀樹（東大工），丸山智弘（東大工），中島隆芳（東大工），堀井滋（東大工），岸尾光二（東大工），「化学的・磁気的手法による RE123 の臨界電流特性の制御」，2002 年秋季低温工学・超電導学会，長崎，2002 年 10 月 30 日～11 月 1 日.
 107. J. Shimoyama(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), K. Ottschi(Univ. Tokyo),

- and K. Kishio(Univ. Tokyo), “Guiding Principle for the Synthesis of Practical RE123 Materials with Optimized Critical Current Properties”, Applied Superconductivity Conference 2002, Houston, August 5-9, 2002.
108. T. Okabe(Univ. Tokyo), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), M. Shigemori(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), “Characteristic Pinning Properties of Doped Bi2212 Single Crystals Studied by Magneto-Optical Method” Applied Superconductivity Conference 2002, Houston, August 5-9, 2002.
 109. 木野田剛（東工大）、中尾祥一郎（東大）、本橋輝樹（東大）、中山有理（東大）、清水圭輔（東大）、下山淳一（東大）、岸尾光二（東大）、花栗哲郎（東大）、「高濃度Pb置換Bi₂Sr₂CaCu₂O_y単結晶の低温STM/STS観測Ⅱ」, 日本物理学会第57回年次大会, 立命館大学びわこくさつキャンパス, 2002年3月24日-27日.
 110. 笠井淳平（東工大）、岡崎紀明（物材機構）、戸川欣彦（東大）、下山淳一（東大）、岸尾光二（東大）、大谷亮（東北大）、福村知昭（東北大）、川崎雅司（東北大）、鯉沼秀臣（東工大）、長谷川哲也（東工大）、「走査型SQUID顕微鏡による高ドーパ(La_{1-x}Sr_x)₂CuO₄単結晶中のボルテックス観察」, 日本物理学会第57回年次大会, 立命館大学びわこくさつキャンパス, 2002年3月24日-27日.
 111. 菅谷英生（東工大）、金泰燁（物材機構）、西村潤（東北大）、福村知昭（東北大）、川崎雅司（東北大）、鯉沼秀臣（東工大）、十倉好紀（東大）、長谷川哲也（東工大）、「コンポジションスプレッド NdSrMnO 薄膜における光誘起磁気効果の走査型SQUID 観察」, 第49回2002年春季応用物理学会, 東海大学湘南校舎, 2002年3月27日-31日.
 112. 岡崎紀明（物材機構）、長谷川顕（東工大）、アヘメト・パルハット（物材機構）、長康雄（東北大）、鯉沼秀臣（東工大）、知京豊裕（物材機構）、長谷川哲也（東工大）、「走査型マイクロ波プロ・ブ顕微鏡による多成分コンポジションスプレッド誘電体薄膜の迅速評価」, 第49回2002年春季応用物理学会, 東海大学湘南校舎, 2002年3月27日-31日.
 113. 稲葉和久（東工大）、福村知昭（東北大）、金泰燁（物材機構）、鯉沼秀臣（東工大）、長谷川哲也（東工大）、千葉大地（東北大）、篁耕司（東北大）、松倉文礼（東北大）、大野英男（東北大）、「走査 SQUID 顕微鏡による(Ga,Mn)As の磁区構造観察-光照射効果」, 第49回2002年春季応用物理学会, 東海大学湘南校舎, 2002年3月27日-31日.
 114. T. Y. Kim (NIMS), T. Hirano (Tokyo Inst. Tech.), Y. Kitamoto (Tokyo Inst. Tech.), T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.) and Y. Yamazaki (Tokyo Inst. Tech.), “Bi-YIG Nanoparticle And Plastic Hybridized

- Magneto-optical Material”, Intermag 2002, Amsterdam, April 28-May 3 (2002).
115. M. Nishiyama (ISTEC), G. Kinoda (Tokyo Inst. Tech.), S. Shibata (ISTEC), N. Koshizuka (ISTEC), T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.) and M. Murakami (ISTEC), “Low Temperature Scanning Tunneling Spectroscopy Studies of High J_c $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ Single Crystals”, SCRM2002, Giens, June 1-8 (2002).
 116. T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), G. Kinoda (Tokyo Inst. Tech.), H. Mashima (Tokyo Inst. Tech.), S. Nakao (Univ. Tokyo), Y. Nakayama (Univ. Tokyo), K. Shimizu (Univ. Tokyo), J. Shimoyama (Univ. Tokyo), K. Kishio (Univ. Tokyo), T. Hanaguri (Univ. Tokyo) and K. Kitazawa (Univ. Tokyo), “Local Electronic Structures of Heavily Overdoped PbBi2212 Probed by Low Temperature STM/STS”, MOS2002, Hsinchu, Taiwan, Aug. 13-18 (2002).
 117. X. J. Fan (NIMS), H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.), T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), “Ferromagnetic correlation and metallic behavior in slightly electron-doped antiferromagnetic CaMnO_3 ”, The 23rd International Conference on Low Temperature Physics, Hiroshima, Aug. 20-27 (2002).
 118. G. Kinoda (Tokyo Inst. Tech.), S. Nakao (Univ. Tokyo), T. Motohashi (Univ. Tokyo), Y. Nakayama (Univ. Tokyo), K. Shimizu (Univ. Tokyo), J. Shimoyama (Univ. Tokyo), K. Kishio (Univ. Tokyo), T. Hanaguri (Univ. Tokyo), K. Kitazawa (Univ. Tokyo), T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), “Inhomogeneous electronic structures in heavily Pb-doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ single crystals probed by low temperature STM/STS”, The 23rd International Conference on Low Temperature Physics, Hiroshima, Aug. 20-27 (2002).
 119. J. Kasai (Tokyo Inst. Tech.), N. Okazaki (NIMS), Y. Nakayama (Univ. Tokyo), T. Motohashi (Univ. Tokyo), J. Shimoyama (Univ. Tokyo), K. Kishio (Univ. Tokyo), H. Koinuma (Univ. Tokyo), T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), “Local magnetic properties of high- T_c superconductors probed by scanning SQUID microscopy”, The 23rd International Conference on Low Temperature Physics, Hiroshima, Aug. 20-27 (2002).
 120. H. Sugaya (Tokyo Inst. Tech.), T.-Y. Kim (NIMS), J. Nishimura (Tohoku Univ.), T. Fukumura (Tohoku Univ.), M. Kawasaki (Tohoku Univ.), H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.), Y. Tokura (Univ. Tokyo) and T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), “Scanning SQUID microscopy on composition-spread NdSrMnO films under irradiation”, The 23rd International Conference on Low Temperature Physics, Hiroshima, Aug. 20-27 (2002).

121. H. Mashima (Tokyo Inst. Tech.), G. Kinoda (Tokyo Inst. Tech.), H. Ikuta (Nagoya Univ.) and T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), "Cryogenic STM/STS observations of Pb-doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_y$ single crystals", The 23rd International Conference on Low Temperature Physics, Hiroshima, Aug. 20-27 (2002).
122. 木野田剛 (東工大), 中尾祥一郎 (東大), 本橋輝樹 (東大), 中山有理 (東大), 清水圭輔 (東大), 下山淳一 (東大), 岸尾光二 (東大), 花栗哲郎 (東大), 北沢宏一 (東大), 長谷川哲也 (東工大), 「高濃度Pb置換 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ 単結晶の低温STM/STS観測III」, 日本物理学会 2002 秋季大会, 中部大学, 2002 年 9 月 6 日-9 日.
123. 眞嶋秀樹 (東工大), 木野田剛 (東工大), 生田博志 (名大), 長谷川哲也 (東工大), 「高濃度 Pb 置換 $\text{Bi}_2\text{201}$ 単結晶の低温 STM/STS」, 日本物理学会 2002 秋季大会, 中部大学, 2002 年 9 月 6 日-9 日.
124. 岡崎紀明 (物材機構), 岡崎壮平 (東工大), 趙小如 (物材機構), 長康雄 (東北大), 鯉沼秀臣 (東工大), 長谷川哲也 (東工大), 「走査型マイクロ波顕微鏡を用いたコンビナトリアル誘電体薄膜定量評価手法」, 第 63 回 2002 秋季応用物理学会, 新潟大学, 2002 年 9 月 24 日-27 日.
125. 木野田剛 (東工大), 中尾祥一郎 (東大), 本橋輝樹 (東大), 中山有理 (東大), 清水圭輔 (東大), 下山淳一 (東大), 岸尾光二 (東大), 花栗哲郎 (東大), 北沢宏一 (東大), 長谷川哲也 (東工大), 「高濃度Pb 置換 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ 単結晶における局所電子状態の低温STM/STS 観測」, 第 63 回 2002 秋季応用物理学会, 新潟大学, 2002 年 9 月 24 日-27 日.
126. 笠井淳平 (東工大), 岡崎紀明 (物材機構), 戸川欣彦 (東大), 下山淳一 (東大), 岸尾光二 (東大), 大谷亮 (東北大), 福村知昭 (東北大), 川崎雅司 (東北大), 鯉沼秀臣 (東工大), 長谷川哲也 (東工大), 「走査型 SQUID 顕微鏡による高温超伝導体単結晶中のボルテックス観察II」, 第 63 回 2002 秋季応用物理学会, 新潟大学, 2002 年 9 月 24 日-27 日.
127. 菅谷英生 (東工大), 西村潤 (東北大), 福村知昭 (東北大), 川崎雅司 (東北大), 鯉沼秀臣 (東工大), 十倉好紀 (東大), 長谷川哲也 (東工大), 「コンポジションスプレッド NdSrMnO 薄膜における光誘起磁気効果の走査型 SQUID 観察II」, 第 63 回 2002 秋季応用物理学会, 新潟大学, 2002 年 9 月 24 日-27 日.
128. T. Hanaguri(Univ. Tokyo), "Electronic States of heavily underdoped $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ investigated by STM/STS", The 15th International Symposium on Superconductivity (ISS-2002), Yokohama, Japan Nov. 11-13, 2002.
129. K. Ueno(Univ. Tokyo), K. Kitawaza(JST), H. Takagi(Univ. Tokyo), M.

- Kawasaki(Tohoku Univ.), A. Sawa(CERC), T. Okuda(CERC), H. Tachibana(CERC), R. Kumai(CERC), and Y. Tokura(Univ. Tokyo), “Carrier Doping Effect of Compounds by the FET Structure”, CERC-ERATO 2002 International Workshop, Hawaii, USA, 2002 May.
130. Y. Okamoto(Univ. Tokyo), T. Eguchi(Univ. Tokyo), F. Sakai(Univ. Tokyo), M. Nohara(Univ. Tokyo), H. Takagi(Univ. Tokyo), and K. Kitawaza(JST), “Novel Approach toward High-Performance Thermoelectric Materials”, CERC-ERATO 2002 International Workshop, Hawaii, USA, 2002 May.
 131. Y. Kohsaka(Univ. Tokyo), T. Hanaguri(Univ. Tokyo), K. Kitawaza(JST), M. Azuma(Kyoto Univ.), M. Takano(Kyoto Univ.) and H. Takagi(Univ. Tokyo), “Real Space Imaging of the Electronic States in Underdoped $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ Single Crystals”, The 2002 International Conference on Physics and Chemistry of Molecular and Oxide Superconductors, Hsinchu, Taiwan, Aug. 13-18 2002.
 132. S. Nakao(Univ. Tokyo), T. Hanaguri(Univ. Tokyo), K. Hanshimoto(Univ. Tokyo), M. Nohara(Univ. Tokyo), H. Takagi(Univ. Tokyo), and K. Kitawaza(JST), “Specific Heat Study of Magnetic Superconductor $\text{ErNi}_2\text{B}_2\text{C}$ Single Crystal under Magnetic Fields”, The 23rd International Conference on Low Temperature Physics, Hiroshima, Japan, Aug. 20-27, 2002.
 133. K. Iwaya(Univ. Tokyo), T. Hanaguri(Univ. Tokyo), A. Koizumi(Univ. Tokyo), K. Takaki(Univ. Tokyo), A. Maeda(Univ. Tokyo), and K. Kitawaza(JST), “Electronic State of NbSe_2 investigated by STM/STS”, The 23rd International Conference on Low Temperature Physics, Hiroshima, Japan, Aug. 20-27, 2002.
 134. Y. Kohsaka(Univ. Tokyo), T. Hanaguri(Univ. Tokyo), K. Kitawaza(JST), M. Azuma(Kyoto Univ.), M. Takano(Kyoto Univ.), and H. Takagi(Univ. Tokyo), “STM/STS Study on $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ Single Crystals”, The 23rd International Conference on Low Temperature Physics, Hiroshima, Japan, Aug. 20-27, 2002.
 135. T. Hanaguri(Univ. Tokyo), A. Koizumi(Univ. Tokyo), K. Takaki(Univ. Tokyo), M. Nohara(Univ. Tokyo), H. Takagi(Univ. Tokyo) and K. Kitazawa(JST), “Anomaly of quasi-particle density of states in the vortex state of NbSe_2 ”, The 23rd International Conference on Low Temperature Physics, Hiroshima, Japan, Aug. 20-27, 2002.

136. 伊藤清太郎 (東大), 末綱倫浩 (東大), 武田淳彦 (東大), N. Dragoie (Univ. Paris-Sud), 下谷秀和 (東大), 北澤宏一 (JST), 高木英典 (東大), 「N@C₇₀の分離とキャラクタリゼーション」, 第 23 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 松島 2002 年 7 月.
137. 下谷秀和 (東大), 武田淳彦 (東大), 伊藤清太郎 (東大), 北澤宏一 (JST), 「メタノフラーレンの熱分解によるC₆₀とC₇₀の連結」, 第 23 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 松島 2002 年 7 月.
138. 野原実 (東大), 江口朋子 (東大), 岡本佳比古 (東大), 高木英典 (東大), 「電荷密度波を用いた熱電変換材料の開発」, 日本物理学会 2002 年秋季大会, 愛知・中部大学, 2002 年 9 月 6 日-9 日.
139. 岩谷克也 (理研), 幸坂祐生 (東大), 佐藤誠一 (東大), 花栗哲郎 (東大), 前田京剛 (東大), 北澤宏一 (JST), 宮坂茂樹 (東大), 高木英典 (東大), 「STM/STS によるパイライト型化合物NiS_{2-x}Se_xの電子状態」, 日本物理学会 2002 年秋季大会, 愛知・中部大学, 2002 年 9 月 6 日-9 日.
140. 幸坂祐生 (東大), 岩谷克也 (理研), 佐藤誠一 (東大), 花栗哲郎 (東大), 北澤宏一 (JST), 東正樹 (京大), 高野幹夫 (京大), 高木英典 (東大), 「(Ca,Na)₂CuO₂Cl₂のSTM/STS III」, 日本物理学会 2002 年秋季大会, 愛知・中部大学, 2002 年 9 月 6 日-9 日.
141. 高島信也 (東大), 野原実 (東大), 植田浩明 (理研), 香取浩子 (理研), 竹下直 (CERC), 高木英典 (東大), 「遍歴電子弱強磁性体における量子臨界点超伝導の探索 - ZrZn₂とNi₃Al-」, 日本物理学会 2002 年秋季大会, 愛知・中部大学, 2002 年 9 月 6 日-9 日.
142. 岡本佳比古 (東大), 江口朋子 (東大), 野原実 (東大), 北澤宏一 (JST), 高木英典 (東大), 「BaIrO₃の熱電特性」, 第 63 回応用物理学会学術講演会, 新潟・潟大学, 2002 年 9 月 24 日-27 日.
143. 江口朋子 (東大), 岡本佳比古 (東大), 野原実 (東大), 高木英典 (東大), 「モリブデンブル-ブロンズの熱電特性」, 第 63 回応用物理学会学術講演会, 新潟・潟大学, 2002 年 9 月 24 日-27 日.
144. 末綱倫浩 (東大), N. Dragoie (Univ. Paris-Sud), 武田淳彦 (東大), 下谷秀和 (東大), 伊藤清太郎 (東大), 羽場靖洋, R. J. Cross, M. Saunders, 高木英典 (東大), 北澤宏一 (JST), 「Kr@C₆₀のクロマトグラフィ-による分離評価」, 第 22 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 岡崎コンファレンスセンタ- 2002 年 1 月.
145. 勝藤拓郎 (東大), 原英和 (東大), 北澤宏一 (JST), 高木英典 (東大), 「パイ

- ロクロア型 $R_2Ti_2O_7$ の誘電率とスピン揺らぎ」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 滋賀・立命館大 2002 年 3 月 24 日-27 日.
146. 渡辺忠孝 (東大), 橋本和也 (東大), 野原実 (東大), 高木英典 (東大), 北澤宏一 (JST), 「 YNi_2B_2C 単結晶の超音波吸収 2」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 滋賀・立命館大 2002 年 3 月 24 日-27 日.
 147. 幸坂祐生 (東大), 花栗哲郎 (東大), 高木英典 (東大), 北澤宏一 (JST), 東正樹 (京大), 高野幹夫 (京大), 「 $(Ca,Na)_2CuO_2Cl_2$ のSTM/STS II」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 滋賀・立命館大 2002 年 3 月 24 日-27 日.
 148. 谷口耕治 (東大), 勝藤拓郎 (東大), 坂井富美子 (東大), 高木英典 (東大), 北澤宏一 (JST), 「 $Ca_{1-x}La_xB_6$ の強磁性と表面の効果」, 日本物理学会 第 57 回年次大会, 滋賀・立命館大 2002 年 3 月 24 日-27 日.
 149. 岡本佳比古 (東大), 野原実 (東大), 高木英典 (東大), 北澤宏一 (JST), 「 $Li_xNa_xCoO_2$ の熱電特性」, 第 49 回応用物理学関連連合講演会, 東海大学湘南校舎, 2002 年 3 月 27 日-31 日.
 150. A. Tonomura (Hitachi), “Observation of Unusual of Vortices in High- T_c Superconductors by Lorentz Microscopy”, Vortex ESP, Finland, 2003 年 1 月 6 日.
 151. A. Tonomura (Hitachi), “The Quantum World Observed by Electron Waves”, Weizman Institute Seminar, Israel, 2003 年 1 月 16 日.
 152. A. Tonomura (Hitachi), “The Microscopic World Observed by Using Electron Waves”, Avishai’s Symposium, Israel, 2003 年 1 月 18 日.
 153. 川崎 猛 (日立), 「1MV ホログラフィ電子顕微鏡とその応用」, ナノテク総合シンポ, 東京, 2003 年 2 月 3 日.
 154. 外村 彰 (日立), 「1MV ホログラフィ電子顕微鏡と高温超伝導体の観察への応用」, ナノテク総合シンポ, 東京, 2003 年 2 月 4 日.
 155. A. Tonomura (Hitachi), “Observation of unusual of vortices in high- T_c superconductors by Lorentz microscopy”, FIMS2003, Tsukuba, 2003 年 3 月 1 日.
 156. A. Tonomura (Hitachi), “Observation of Unconventional Behaviors of Vortices inside High- T_c Superconductors”, International Workshop on Unconventional Superconductors, リオデジャネイロ ブラジル, 2003 年 5 月 25 日.
 157. 葛西 裕人(日立)他, 「高温超伝導体における異方性を反映した鎖状磁束量子列の観察」, 日本顕微鏡学会第 59 回学術講演会, 北海道-札幌, 2003 年 6 月 7 日.

158. 外村 彰(日立), 「1MV 電界放出電子顕微鏡による高温超伝導体中の磁束量子の観察」, 日本顕微鏡学会第 59 回学術講演会, 北海道-札幌, 2003 年 6 月 9 日.
159. A. Tonomura (Hitachi), “ Real time Observation of Unconventional Behaviors of Vortices in High-Tc by LM”, International Workshop on Vortex Dynamics and Vortex Matter, Oleron France, 2003 年 6 月 22 日.
160. A. Tonomura (Hitachi), “Direct Observation of Unconventional Behaviors of Vortices” アメリカ顕微鏡学会, Texas USA, 2003 年 8 月 7 日.
161. A. Tonomura (Hitachi), “1MV field emission transmission electron microscope and its applications”, 4th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New materials and Devices, Hawai USA, 2003 年 10 月 6 日.
162. A. Tonomura (Hitachi), “ Electron Phase Microscopy to Observe Microscopic Objects”, New Horizons in Molecular Sciences and Systems 事務局, 沖縄, 2003 年 10 月 16 日.
163. K. Kishio(Univ. Tokyo), and J. Shimoyama(Univ. Tokyo), “Universal Guiding Principles and Chemical Designing of HTSC Cuprates for Improved Electromagnetic Properties and Critical Currents”, Materials Research Society 2002 Fall Meeting, Boston, December 1-6, 2003. (Invited Talk).
164. J. Shimoyama(Univ. Tokyo), M. Suzuki(Univ. Tokyo), M. Shiraki(Univ. Tokyo), K. Otzchi(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), “Wide Range Phase Formation and Superconducting Properties of Substituted Fe-Based Cuprates”, Materials Research Society 2002 Fall Meeting, Boston, December 1-6, 2003.
165. M. Sano(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), K. Otzchi(Univ. Tokyo), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), K. Kishio(Univ. Tokyo), I. Matsubara(AIST), M. Shikano(AIST), and R. Funahashi(AIST) , “Enhanced Thermoelectric Properties of $(\text{Ca}_2\text{CoO}_{3-\delta})_{0.62}\text{CoO}_2$ Polycrystalline Bulk by Control of Microstructure and Oxygen Content”, Materials Research Society 2002 Fall Meeting, Boston, December 1-6, 2003.
166. M. Suzuki(Univ. Tokyo), M. Sano(Univ. Tokyo), K. Fujie(Univ. Tokyo), K. Otzchi(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), “Synthesis of $[\text{Ca}_2(\text{Co}_{1-x}\text{Cu}_x)_2\text{O}_4]_y\text{CoO}_2$ Single Crystals and Their Intrinsic Properties”, Materials Research Society 2002 Fall Meeting, Boston, December 1-6, 2003.

167. S. Horii(Univ. Tokyo), M. Sano(Univ. Tokyo), M. Suzuki(Univ. Tokyo), K. Otzsch(Univ. Tokyo), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), K. Kishio(Univ. Tokyo), I. Matsubara(AIST), M. Shikano(AIST), and R. Funahashi(AIST), "Thermoelectric Properties of Magnetically *c*-Axis Aligned Polycrystalline $(\text{Ca}_2\text{Co}_m\text{O}_{m+2-\delta})_{\sim 0.62}\text{CoO}_2$ ($m=1$ and 2)", Materials Research Society 2002 Fall Meeting, Boston, December 1-6, 2003.
168. S. Horii(Univ. Tokyo), I. Matsubara(AIST), K. Fujie(Univ. Tokyo), W. Shin(AIST), N. Murayama(AIST), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), "Thermoelectric properties of grain-aligned Ca-based cobaltites by a magneto-scientific method", ITC2003, La Grande Motte(France), August 17-21, 2003.
169. J. Shimoyama(Univ. Tokyo), "Determining Factors of Critical Current Properties of High T_c Superconductors", Pacific Rim 5, Nagoya, September 30-October 2, 2003 (Invited Talk)
170. J. Shimoyama(Univ. Tokyo), K. Fujie(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), "Improved Thermoelectric Properties of Layered Cobaltites by Selective Doping", Pacific Rim 5, Nagoya, September 30-October 2, 2003
171. K. Kishio(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), and J. Shimoyama(Univ. Tokyo), "Properties of Tri-layered Bi_2Te_3 and HgTe HTSC Over $T_c=100\text{K}$ and the Implication", IUMRS-ICAM2003, October 8-13, 2003. (Invited Talk).
172. K. Kishio(Univ. Tokyo), and J. Shimoyama(Univ. Tokyo), "Crystal growth of HTSC by a new laser floating-zone technique under magnetic field", 11th US-Japan Workshop on HTSC, Zushi, November 1-2, 2003.
173. J. Shimoyama(Univ. Tokyo), "Control of anisotropy and flux pinning properties of Bi_2Te_3 single crystals and $\text{Bi(Pb)}_2\text{Te}_3$ tapes by chemical methods", 11th US-Japan Workshop on HTSC, Zushi, November 1-2, 2003.
174. K. Fujie(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), I. Matsubara(AIST), W. Shin(AIST), N. Murayama(AIST), K. Otzsch(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo) "Effect of High Valence Metal Doping on Thermoelectric Properties of $[\text{Ca}_2\text{CoO}_{3-\delta}]_{0.62}\text{CoO}_2$ ", Materials Research Society 2003 Fall Meeting, Boston, December 1-5, 2003.
175. H. Eto(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), "Effects of Strong Magnetic Field on the Synthesis

- of RE123 Melt-Solidified Bulk”, Materials Research Society 2002 Fall Meeting, Boston, December 1-6, 2003.
176. J. Ishida(Univ. Tokyo), Y. Kawakami(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), “Superconducting Properties of $(\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x)_2\text{CuO}_{4+\delta}$ Single Crystals Having Excess Oxygen” , Materials Research Society 2002 Fall Meeting, Boston, December 1-6, 2003.
 177. K. Kishio(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), S. Ueda(Univ. Tokyo), K. Shimizu(Univ. Tokyo), and J. Shimoyama(Univ. Tokyo), "Electromagnetic Properties, and Vortex Phase Diagrams of Triple CuO_2 Layer Cuprates, $\text{Hg}(\text{Re})1223$ and $\text{Bi}2223$ Crystals with T_c Over 100K", Materials and Mechanisms of Superconductivity High Temperature Superconductors ($\text{M}^2\text{S-HTSC}$) VII, Rio de Janeiro, May 25-30, 2003.
 178. T. Maruyama(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), "Critical Current Properties of Nd-Rich $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ Single Crystals", Materials and Mechanisms of Superconductivity High Temperature Superconductors ($\text{M}^2\text{S-HTSC}$) VII, Rio de Janeiro, May 25-30, 2003.
 179. M. Shigemori(Univ. Tokyo), T. Okabe(Univ. Tokyo), S. Uchida(Univ. Tokyo), T. Sugioka(Univ. Tokyo), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), "Enhanced Flux Pinning Properties of $\text{Bi}(\text{Pb})2212$ Single Crystals", Materials and Mechanisms of Superconductivity High Temperature Superconductors ($\text{M}^2\text{S-HTSC}$) VII, Rio de Janeiro, May 25-30, 2003.
 180. T. Sugioka(Univ. Tokyo), M. Shigemori(Univ. Tokyo), T. Okabe(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), “Excellent Critical Current Performance Observed in Single Crystals of Bi-based Cuprates Grown by a Newly Developed Laser Floating Zone Furnace”, 6th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS 2003), Sorrento, September 14-18, 2003.
 181. K. Kameno(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), “Fabrication and Microstructure of $\text{Hg}(\text{Re})1223$ Tapes”, 6th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS 2003), Sorrento, September 14-18, 2003.
 182. J. Shimoyama(Univ. Tokyo), M. Shigemori(Univ. Tokyo), S. Uchida(Univ.

- Tokyo), T. Sugioka(Univ. Tokyo), T. Okabe(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), "Introduction of Effective Pinning Sites in Bi (Pb) 2212 Single Crystals by Chemical Doping", 6th European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS 2003), Sorrento, September 14-18, 2003.
183. S. Horii(Univ. Tokyo), M. Mukaida(Yamagata Univ.), K. Matsumoto(Kyoto Univ.), T. Ohazama(Yamagata Univ.), A. Ichinose(CRIEPI), Y. Yoshida(Nagoya Univ.), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), "Post-Annealing Effects of Superconducting Properties on $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ Films Fabricated by Pulsed Laser Deposition", 16th International Symposium on Superconductivity (ISS 2003), Tsukuba, October 27-29, 2003.
 184. S. Horii(Univ. Tokyo), M. Shigemori(Univ. Tokyo), S. Uchida(Univ. Tokyo), S. Sugioka(Univ. Tokyo), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), "Enhancement of Flux Pinning Properties on Impurity-Doped Bi(Pb)2212 Single Crystals", Materials Research Society 2003 Fall Meeting, Boston, December 1-5, 2003.
 185. 岡崎壮平 (東工大), 岡崎紀明 (物材機構), 樋熊弘子 (三菱電機), 宮下章志 (三菱電機), 長康雄 (東北大), 村上真 (東工大), 松本祐司 (東工大), 鯉沼秀臣 (東工大), 長谷川哲也 (東工大), 「走査型マイクロ波顕微鏡による $\text{LiNbO}_3\text{-LiTaO}_3$ コンポジションスプレッド薄膜の特性評価」, 第 50 回応用物理学関係連合講演会, 神奈川大学, 2003 年 3 月 27 日-30 日.
 186. X.-R. Zhao (物材機構), N. Okazaki (物材機構), Y. Konishi (ネオア-ク), K. Akahane (ネオア-ク), Z. Kuang (農工大), T. Ishibashi (農工大), K. Sato (農工大), H. Koinuma (東工大), and T. Hasegawa (東工大), "Magneto-Optical Imaging for High-Throughput Characterization of Combinatorial Magnetic Thin Films", 第 50 回応用物理学関係連合講演会, 神奈川大学, 2003 年 3 月 27 日-30 日.
 187. 木野田剛 (東工大), 眞嶋秀樹 (東工大), 中尾祥一郎 (東大), 本橋輝樹 (東大), 中山有理 (東大), 清水圭輔 (東大), 下山淳一 (東大), 岸尾光二 (東大), 花栗哲郎 (東大), 「低温 STM/STS による高濃度 Pb 置換 Bi2212 における不純物の観察」, 日本物理学会第 58 回年次大会, 東北大学, 2003 年 3 月 28 日-31 日.
 188. 眞嶋秀樹 (東工大), 木野田剛 (東工大), 近藤猛 (名大), 生田博志 (名大), 長谷川哲也 (東工大), 「高濃度 Pb 置換 Bi2201 単結晶の低温 STM/STS II」, 日本物理学会第 58 回年次大会, 東北大学, 2003 年 3 月 28 日-31 日.

189. G. Kinoda (NIMS), H. Mashima (Tokyo Inst. Tech.), S. Nakao (Univ. Tokyo), K. Shimizu (Univ. Tokyo), J. Shimoyama (Univ. Tokyo), K. Kishio (Univ. Tokyo), T. Hanaguri (Univ. Tokyo), K. Kitazawa (Univ. Tokyo) and T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), “STM/STS observations of Impurities in High-Tc Superconductor $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ Single Crystals”, The 12th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques, Eindhoven, July 21-25 (2003).
190. H. Mashima (Tokyo Inst. Tech.), G. Kinoda (NIMS), T. Kondo (Nagoya Univ.), H. Ikuta (Nagoya Univ.) and T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), “Local electronic structure of heavily Pb-doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Cu}_2\text{O}_y$ single crystal”, The 12th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques, Eindhoven, July 21-25 (2003).
191. S. Okazaki (Tokyo Inst. Tech.), N. Okazaki (NIMS), H. Sugaya (Tokyo Inst. Tech.), J. Nishimura (Tohoku Univ.), T. Fukumura (Tohoku Univ.), M. Kawasaki (Tohoku Univ.), H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.), T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), “Development of Scanning Microwave Microscope for Low-Temperature Measurement”, The 12th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques, Eindhoven, July 21-25 (2003).
192. J. Kasai (Tokyo Inst. Tech.), X. Zhao (NIMS), N. Okazaki (NIMS), Y. Nakayama (Univ. Tokyo), Y. Togawa (Univ. Tokyo), T. Sasagawa (Univ. Tokyo), M. Ohtani (Tohoku Univ.), T. Fukumura (Tohoku Univ.), J. Shimoyama (Univ. Tokyo), K. Kishio (Univ. Tokyo), M. Kawasaki (Tohoku Univ.), H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.) and T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), “Material dependence of vortex pinning states in high-Tc superconductors probed by scanning SQUID microscopy”, The 12th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques, Eindhoven, July 21-25 (2003).
193. H. Sugaya (Tokyo Inst. Tech.), X. J. Fan (NIMS), J. Nishimura (Tohoku Univ.), T. Fukumura (Tohoku Univ.), M. Kawasaki (Tohoku Univ.), H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.) and T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), “Variable temperature magnetic probe microscopy under external magnetic field”, The 12th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy and Related Techniques, Eindhoven, July 21-25 (2003).
194. 下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「精密化学組成制御による層状酸化物材料の高機能化」（招待講演），セラミックス協会 2003 年春年会，東京，2003

年 3 月 22～24 日.

195. 藤江和之(東大工), 堀井滋(東大工), 佐野光洋(東大工), 松原一郎(産総研), 越智健二(東大工), 下山淳一(東大工), 岸尾光二(東大工), 「 $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ の熱電特性へのドーピング効果」, 第 50 回応用物理学関係連合講演会, 横浜, 2003 年 3 月 28～31 日.
196. 下山淳一(東大工), 白木正浩(東大工), 中島隆芳(東大工), 堀井滋(東大工), 岸尾光二(東大工), 「 $\text{Y}(\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x)_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ の酸素不定比性と超伝導特性」, 第 50 回応用物理学関係連合講演会, 横浜, 2003 年 3 月 28～31 日.
197. 杉岡武也(東大工), 堀井滋(東大工), 下山淳一(東大工), 岸尾光二(東大工), 「強磁場用レザ加熱式フローティングゾーン装置の設計と製作」, 第 50 回応用物理学関係連合講演会, 横浜, 2003 年 3 月 28～31 日.
198. 堀井滋(東大工), 松原一郎(産総研), 佐野光洋(東大工), 藤江和之(東大工), 舟橋良次(産総研), 鹿野昌弘(産総研), 下山淳一(東大工), 岸尾光二(東大工), 「Ca-Co-O 系熱電変換材料の磁場配向効果」, 第 50 回応用物理学関係連合講演会, 横浜, 2003 年 3 月 28～31 日.
199. 藤江和之(東大工), 堀井滋(東大工), 佐野光洋(東大工), 松原一郎(産総研), 越智健二(東大工), 下山淳一(東大工), 岸尾光二(東大工), 「 $(\text{Ca}_2\text{CoO}_{3-\delta})_{0.62}\text{CoO}_2$ の熱電特性へのドーピング効果 II」, 第 64 回応用物理学会学術講演会, 福岡, 2003 年 8 月 30～9 月 2 日.
200. 中島隆芳(東大工), 丸山智弘(東大工), 本泉真人(東大工), 堀井滋(東大工), 下山淳一(東大工), 岸尾光二(東大工), 「Er123 溶融凝固バルクの臨界電流特性」, 第 64 回応用物理学会学術講演会, 福岡, 2003 年 8 月 30～9 月 2 日.
201. 杉岡武也(東大工), 堀井滋(東大工), 本郷弘毅(東大工), 下山淳一(東大工), 岸尾光二(東大工), 「強磁場中レザ加熱式 FZ 装置による Bi2212 単結晶育成と評価」, 第 64 回応用物理学会学術講演会, 福岡, 2003 年 8 月 30～9 月 2 日.
202. 堀井滋(東大工), 松原一郎(産総研), 下山淳一(東大工), 岸尾光二(東大工), 「機能性材料への強磁場印加効果: 熱電特性に優れる層状コバルト酸化物の高度配向化」, 第 64 回応用物理学会学術講演会, 福岡, 2003 年 8 月 30 日～9 月 2 日.
203. 堀井滋(東大工), 向田昌志(山形大工), 松本要(京大工), 大狭間徹(山形大工), 一瀬中(電中研), 吉田隆(名大工), 下山淳一(東大工), 岸尾光二(東大工)「 $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜における超伝導特性のポストアニール効果」,

- 第 64 回応用物理学会学術講演会，福岡，2003 年 8 月 30～9 月 2 日.
204. 下山淳一（東大工），丸山智弘（東大工），中島隆芳（東大工），本泉真人（東大工），堀井滋（東大工），岸尾光二（東大工），「RE123 バルクの臨界電流特性の制御」，2003 年秋季低温工学・超電導学会，松江，2003 年 12 月 3～5 日.
 205. 岡村和憲（九工大），木内勝（九工大），小田部荘司（九工大），安田敬（九工大），松下照男（九工大），岡安悟（原研），下山淳一（東大工），「Bi-2212 超電導体の凝縮エネルギー密度と超伝導体の次元性の関係」，2003 年秋季低温工学・超電導学会，松江，2003 年 12 月 3～5 日.
 206. 亀野圭介（東大工），堀井滋（東大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「Hg(Re)1223 厚膜テープ材料の開発」，2003 年秋季低温工学・超電導学会，松江，2003 年 12 月 3～5 日.
 207. 重森雅直（東大工），内田智史（東大工），堀井滋（東大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「3d 遷移金属置換 Bi(Pb)2212 単結晶の磁束ピンニング特性」，2003 年秋季低温工学・超電導学会，松江，2003 年 12 月 3～5 日.
 208. 中島隆芳（東大工），丸山智弘（東大工），本泉真人（東大工），堀井滋（東大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「Er123 溶融凝固バルクにおける臨界電流特性の組織依存性」，2003 年秋季低温工学・超電導学会，松江，2003 年 12 月 3～5 日.
 209. 木野田剛（物材機構），眞嶋秀樹（東工大），中尾祥一郎（東大），清水圭輔（東大），花栗哲郎（東大），北沢宏一（東大），下山淳一（東大），岸尾光二（東大），長谷川哲也（東工大），「高濃度 Pb 置換 Bi2212 における不純物周囲の局所超伝導特性評価」，第 64 回 2003 年秋季応用物理学会学術講演会，福岡大学，2003 年 8 月 30 日-9 月 2 日.
 210. 岡崎壮平（東工大），岡崎紀明（物材機構），菅谷英生（東工大），西村潤（東北大），福村知昭（東北大），川崎雅司（東北大），鯉沼秀臣（東工大），長谷川哲也（東大），「誘電・導電材料の低温における高速評価を目的とした走査型マイクロ波顕微鏡の開発」，第 64 回 2003 年秋季応用物理学会学術講演会，福岡大学，2003 年 8 月 30 日-9 月 2 日.
 211. 稲葉和久（東工大），福村知昭（東北大），鯉沼秀臣（東工大），千葉大地（東北大），篁耕司（東北大），松倉文礼（東北大），大野英男（東北大），長谷川哲也（東大），「面内磁化(Ga,Mn)As 薄膜にける charged domain 構造の走査 SQUID 顕微鏡観察」，第 64 回 2003 年秋季応用物理学会学術講演会，福岡大学，2003 年 8 月 30 日-9 月 2 日.

- 日.
212. 菅谷英生 (東工大), 范曉娟 (物材機構), 鯉沼秀臣 (東工大), 長谷川哲也 (東大),
「走査型SQUID顕微鏡によるNd_{0.7}Ca_{0.3}MnO₃単結晶の局所磁性観察」, 第 64 回
2003 年秋季応用物理学学会学術講演会, 福岡大学, 2003 年 8 月 30 日-9 月 2 日.
 213. 眞嶋秀樹 (東工大), 木野田剛 (物材機構), 近藤猛 (名大), 生田博志 (名大), 長
谷川哲也 (東大), 「高濃度 Pb 置換 Bi₂201 単結晶の低温 STM/STSIII」, 日本物理
学会 2003 年秋季大会, 岡山大学津島キャンパス, 2003 年 9 月 20 日-23 日.
 214. 長谷川哲也 (東大), 「走査 SQUID を用いた強相関酸化物の磁区構造観察」, 日本物
理学会 2003 年秋季大会, 岡山大学津島キャンパス, 2003 年 9 月 20 日-23 日.
 215. N. Okazaki (NIMS), S. Okazaki (Tokyo Inst. Tech.), H. Higuma (Mitsubishi
Elec.), S. Miyashita (Mitsubishi Elec.), Y. Cho (Tohoku Univ.), J. Nishimura
(Tohoku Univ.), T. Fukumura (Tohoku Univ.), M. Kawasaki (Tohoku Univ.), M.
Murakami (Tokyo Inst. Tech.), K. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), P. Ahmet
(NIMS), T. Chikyow (NIMS), Y. Yamamoto (Tokyo Inst. Tech.), Y. Matsumoto
(Tokyo Inst. Tech.), H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.), T. Hasegawa (Univ. Tokyo),
“Quantitative Characterization of Combinatorial Dielectric Thin Films by the
Scanning Microwave Microscope”, IUMRS International Conference on
Advanced Materials, Yokohama, Oct. 8-13 (2003).
 216. H. Mashima (Tokyo Inst. Tech.), G. Kinoda (KAST), T. Kondo (Nagoya Univ.), H.
Ikuta (Nagoya Univ.) and T. Hasegawa (Univ. Tokyo), “Scanning Tunneling
Spectroscopy of heavily Pb doped Bi₂Sr₂CuO₆”, IUMRS International
Conference on Advanced Materials, Yokohama, Oct. 8-13 (2003).
 217. S. Okazaki (Tokyo Inst. Tech.), N. Okazaki (NIMS), H. Sugaya (Tokyo Inst.
Tech.), J. Nishimura (Tohoku Univ.), T. Fukumura (Tohoku Univ.), M. Kawasaki
(Tohoku Univ.), H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.) and T. Hasegawa (Univ. Tokyo),
“Development of Scanning Microwave Microscope for Fast Characterization of
Dielectric and Conducting Materials at Low Temperatures”, IUMRS
International Conference on Advanced Materials, Yokohama, Oct. 8-13 (2003).
 218. H. Sugaya (Tokyo Inst. Tech.), J. Nishimura (Tohoku Univ.), T. Fukumura
(Tohoku Univ.), M. Kawasaki (Tohoku Univ.), H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.), Y.
Tokura (Univ. Tokyo) and T. Hasegawa (Univ. Tokyo), “Combinatorial
Characterizations of Photo-induced Magnetism in Perovskite-type Mn oxides by
Scanning SQUID Microscopy”, IUMRS International Conference on Advanced
Materials, Yokohama, Oct. 8-13 (2003).

219. X. R. Zhao (NIMS), N. Okazaki (NIMS), H. Sugaya (Tokyo Inst. Tech.), K. Akahane (Neoark), Z. Kuang (Tokyo Univ. Agr. Tech.), J. Nishimura (Tohoku Univ.), T. Ishibashi (Tokyo Univ. Agr. Tech.), K. Sato (Tokyo Univ. Agr. Tech.), H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.) and T. Hasegawa (Univ. Tokyo), "A New Magneto-Optical Characterization Tool for Combinatorial Libraries", IUMRS International Conference on Advanced Materials, Yokohama, Oct. 8-13 (2003).
220. T. Hasegawa (Univ. Tokyo), N. Okazaki (NIMS), X. Zhao (NIMS), M. Nagano (NIMS) and H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.), "Developments of High-throughput Characterization Tools for Combinatorial Libraries in Thin Film Form", IUMRS International Conference on Advanced Materials, Yokohama, Oct. 8-13 (2003).
221. S. Okazaki (Tokyo Inst. Tech.), N. Okazaki (NIMS), H. Sugaya (Tokyo Inst. Tech.), X. Zhao (NIMS), K. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), P. Ahmet (NIMS), T. Chikyow (NIMS), J. Nishimura (Tohoku Univ.), T. Fukumura (Tohoku Univ.), M. Kawasaki (Tohoku Univ.), M. Murakami (Tokyo Inst. Tech.), Y. Mastumoto (Tokyo Inst. Tech.), H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.), T. Hasegawa (Tokyo Inst. Tech.), "The Development of Scanning Microwave Microscope for High-Throughput Characterization of Dielectric and Conducting Materials at Low Temperatures", MRS Fall Meeting, Boston, Dec. 1-5 (2003).
222. X Zhao (NIMS), N. Okazaki (NIMS), Y Konishi (Neoark), K. Akahane (Neoark), Z. Kuang (Tokyo Univ. Agr. Tech.), T. Ishibashi (Tokyo Univ. Agr. Tech.), K Sato (Tokyo Univ. Agr. Tech.), H. Koinuma (Tokyo Inst. Tech.) and T. Hasegawa (Univ. Tokyo), "Development of Magneto-Optical Imaging for High-Throughput Characterization of Combinatorial Magnetic Thin Films", MRS Fall Meeting, Boston, Dec. 1-5 (2003).
223. 岩谷克也 (理研), 幸坂祐生 (東大), 佐藤誠一 (東大), 花栗哲郎 (東大), 前田京剛 (東大), 北澤宏一 (JST), 宮坂茂樹 (東大), 高木英典 (東大), 「STM/STS によるパイライト型化合物 $\text{NiS}_{2-x}\text{Se}_x$ の電子状態 (II)」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 仙台・東北大学, 2003 年 3 月 28 日-31 日.
224. 幸坂祐生 (東大), 岩谷克也 (理研), 佐藤誠一 (東大), 花栗哲郎 (東大), 北澤宏一 (JST), 東正樹 (京大), 高野幹夫 (京大), 高木英典 (東大), 「 $(\text{Ca}, \text{Na})_2\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ 単結晶の金属絶縁体転移近傍における局所状態密度の観測」, 日本物理学会 第 58 回年次大会, 仙台・東北大学, 2003 年 3 月 28 日-31 日.
225. T. Hanaguri (Univ. Tokyo), "Spatial variation of the electronic states near the metal to Mott insulator transitions", Fourth International Conference on

- New Theories, Discoveries, and Applications of Superconductors and Related Materials (New³SC-4), San Diego, USA, Jan. 16-21, 2003.
226. T. Hanaguri(Univ. Tokyo), “Spatial variation of the electronic states near the metal to Mott insulator transitions”, Workshop on “Phase Competition in Transition-Metal Oxides and Other Compounds”, Berkeley, USA May 14-16, 2003.
 227. T. Hanaguri(Univ. Tokyo), Y. Kohsaka(Univ. Tokyo), K. Iwaya(RIKEN), S. Satow(Univ. Tokyo), K. Kitazawa(JST), H. Takagi(Univ. Tokyo), M. Azuma(Kyoto Univ.), and M. Takano(Kyoto Univ.), “STM/STS study of metal to Mott insulator transitions”, 7th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity, Rio de Janeiro (Brazil), May 25-30, 2003.
 228. 岡本佳比古 (東大), 野原実 (東大), 高木英典 (東大), 「層状ロジウム酸化物 $\text{Sr}_x\text{Rh}_2\text{O}_4$ の熱電特性」, 第 64 回応用物理学会学術講演会, 福岡・福岡大学, 2003 年 8 月 30 日-9 月 2 日.
 229. 渡辺忠孝, 野原実 (東大), 花栗哲郎 (東大), 高木英典 (東大), 「 $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ における超音波吸収」, 日本物理学会 2003 年秋季大会, 岡山・岡山大学, 2003 年 9 月 20 日-23 日.
 230. 中尾祥一郎 (東大), 佐藤誠一 (東大), 花栗哲郎 (東大), 高木英典 (東大), 寺崎一郎 (早大), 「STM/STS から見た Pb 置換 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ErCu}_2\text{O}_y$ の金属絶縁体転移」, 日本物理学会 2003 年秋季大会, 岡山・岡山大学, 2003 年 9 月 20 日-23 日.
 231. 幸坂祐生 (東大), 佐藤誠一 (東大), 岩谷克也 (理研), 花栗哲郎 (東大), 東正樹 (京大), 高野幹夫 (京大), 高木英典 (東大), 「 $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ 単結晶の STM/STS 測定 ~ ドープ量依存性について」, 日本物理学会 2003 年秋季大会, 岡山・岡山大学, 2003 年 9 月 20 日-23 日.
 232. 岡本佳比古 (東大), 野原実 (東大), 高木英典 (東大), 「層状ロジウム酸化物 $\text{Sr}_x\text{Rh}_2\text{O}_4$ の熱電特性」, 日本物理学会 2003 年秋季大会, 岡山・岡山大学 2003 年 9 月 20 日-23 日.
 233. 岩谷克也 (理研), 西久保英郎 (東大), 幸坂祐生 (東大), 佐藤誠一 (東大), 花栗哲郎 (東大), 高木英典 (東大), 「STM/STS によるバンド幅制御型金属-絶縁体転移近傍の電子状態」, 日本物理学会 2003 年秋季大会, 岡山・岡山大学 2003 年 9 月 20 日-23 日.
 234. 下山淳一 (東大工), 堀井滋 (東大工), 岸尾光二 (東大工), 山本繁 (新潟大), 増田雄一郎 (島根大), 山田裕 (新潟大), 「 $\text{Pr}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15-\delta}$ における

- 酸素不定比性と超伝導」，第 51 回応用物理学関係連合講演会，八王子，2004 年 3 月 28～31 日.
235. 白木正浩（東大工），下山淳一（東大工），堀井滋（東大工），岸尾光二（東大工），「 $MSr_2YCu_2O_y$ ($M= Fe, Co, Ni$) の合成」，第 51 回応用物理学関係連合講演会，八王子，2004 年 3 月 28～31 日.
 236. 堀井滋（東大工），向田昌志（山形大工），松本要（京大工），大狭間徹（山形大工），一瀬中（電中研），吉田隆（名大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「 $ErBa_2Cu_3O_y$ 薄膜における超伝導特性のポストアニール効果(II)」，第 51 回応用物理学関係連合講演会，八王子，2004 年 3 月 28～31 日.
 237. 内田智史（東大工），重森雅直（東大工），宮原由一（東大工），堀井滋（東大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「不定比金属組成を制御した $Bi2212$ 単結晶の育成と臨界電流特性」，第 51 回応用物理学関係連合講演会，八王子，2004 年 3 月 28～31 日.
 238. 杉浦裕樹（東大工），堀井滋（東大工），藤江和之（東大工），岡本太一（東大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「 $Ca_3Co_4O_y$ における Ca サイトの RE 置換効果」，第 51 回応用物理学関係連合講演会，八王子，2004 年 3 月 28～31 日.
 239. 堀井滋（東大工），藤江和之（東大工），目義雄（NIMS），打越哲郎（NIMS），鈴木達（NIMS），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「磁場中スリップキャストで作製した $Ca_3Co_4O_{9+y}$ の熱電特性」，第 51 回応用物理学関係連合講演会，八王子，2004 年 3 月 28～31 日.
 240. 下山淳一（東大工），岡本太一（東大工），藤江和之（東大工），杉浦裕樹（東大工），横田有為（東大工），堀井滋（東大工），岸尾光二（東大工），「 $Ca_{1-x}RE_xMnO_{3-\delta}$ の酸素不定比性」，第 51 回応用物理学関係連合講演会，八王子，2004 年 3 月 28～31 日.
 241. 岡本太一（東大工），藤江和之（東大工），杉浦裕樹（東大工），横田有為（東大工），堀井滋（東大工），下山淳一（東大工），岸尾光二（東大工），「 $Ca_{0.9}RE_{0.1}MnO_{3-\delta}$ における熱電特性への酸素欠損の影響」，第 51 回応用物理学関係連合講演会，八王子，2004 年 3 月 28～31 日.
 242. 眞嶋秀樹（東工大），木野田剛（KAST），一杉太郎（東大），近藤猛（名大），生田博志（名大），長谷川哲也（東大），「高温超伝導体の局所電子構造の低温 STM/STS 観察-温度依存性-」，日本物理学会第 59 回年次大会，九州大学，2004 年 3 月 27 日-30 日.
 243. 岡崎壮平（東工大），岡崎紀明（物材機構），高橋竜太（東工大），松本祐司（東工大），

- 鯉沼秀臣 (東工大), 長谷川哲也 (東大), 「低温走査型マイクロ波顕微鏡を用いた導電性のハイスループット評価」, 第 51 回応用物理学関係連合講演会, 東京工科大学, 2004 年 3 月 28 日-31 日.
244. 伊藤清太郎 (東大), 武田淳彦 (東大), 宮崎崇 (東大), 横山泰典 (東大), M. Saunders (Yale Univ.), R. J. Cross (Yale Univ.), P. Berthet (Univ. Paris-Sud), N. Dragoe (Univ. Paris-Sud), 高木英典 (東大), 北澤宏一 (JST), 「Kr@C₆₀の Kr EXAFSに関する研究」, 第 26 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 岡崎コンファレンスセンター, 2004 年 1 月.
245. 横山泰典 (東大), 伊藤清太郎 (東大), 武田淳彦 (東大), 宮崎崇 (東大), 下谷秀和 (東大), N. Dragoe (Univ. Paris-Sud), 北澤宏一 (JST), 「希ガス内包フラーレンの分子振動」, 第 26 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 岡崎コンファレンスセンター, 2004 年 1 月.
246. 武田淳彦 (東大), 伊藤清太郎 (東大), 宮崎崇 (東大), 横山泰典 (東大), N. Dragoe (Univ. Paris-Sud), 北澤宏一 (JST), 「Ar@C₆₀の物性評価」, 第 26 回フラーレン・ナノチューブ総合シンポジウム, 岡崎コンファレンスセンター, 2004 年 1 月.
247. 花栗哲郎 (理研), C. Lupien (Cornell Univ.), 幸坂祐生 (東大), 東正樹 (京大), 高野幹夫 (京大), 高木英典 (東大), J. C. Davis (Cornell Univ.), 「アンダードープCa_{2-x}Na_xCuO₂Cl₂の超低温高分解能STM/STS」, 日本物理学会 第 59 回年次大会 福岡・九州大学 2004.年 3 月 27 日-30 日.
248. 岡本佳比古 (東大), 野原実 (東大), 高木英典 (東大), 「無水Na_{0.3}CoO₂の物性」, 日本物理学会 第 59 回年次大会福岡・九州大学 2004.年 3 月 27 日-30 日.
249. 西久保英郎 (東大), 岩谷克也 (理研), 佐藤誠一 (東大), 幸坂祐生 (東大), 花栗哲郎 (理研), 高木英典 (東大), 「STM/STSによる不純物ドープモット絶縁体Ni_{1-x}Co_xS₂の電子状態」, 日本物理学会 第 59 回年次大会福岡・九州大学 2004.年 3 月 27 日-30 日.
250. 高島信也 (東大), 野原実 (東大), 高木英典 (東大), 「RE₄Al₈ (RE = Ce, Pr) . の物性」, 日本物理学会 第 59 回年次大会福岡・九州大学 2004.年 3 月 27 日-30 日.
251. 富山栄治 (東大), 野原実 (東大), 高木英典 (東大), 「希土類遷移金属ホウ化物RE₂Ir₅B₂の電気伝導と磁性」, 日本物理学会 第 59 回年次大会福岡・九州大学 2004.年 3 月 27 日-30 日.
252. 片山尚幸 (東大), 野原実 (東大), 高木英典 (東大), 「水和した遷移金属カルコゲン化物の超伝導特性」, 日本物理学会 第 59 回年次大会福岡・九州大学 2004.

年 3 月 27 日-30 日.

253. 岩谷克也 (理研), 佐藤誠一 (東大), 幸坂祐生 (東大), 花栗哲郎 (理研), 何金萍 (CERC), 金子良夫 (CERC), 十倉好紀 (東大), 高木英典 (東大), 「STM/STS による $\text{Sr}_3(\text{Ru}_{1-x}\text{Mn}_x)_2\text{O}_7$ の電子状態」, 日本物理学会 第 59 回年次大会福岡・九州大学 2004.年 3 月 27 日-30 日.
254. 岡本佳比古 (東大), 野原実 (東大), 高木英典 (東大), 「層状ロジウム酸化物 $\text{Sr}_x\text{Rh}_2\text{O}_4$ の熱電特性II」, 第 51 回応用物理学関連連合講演会, 東京・東京工科大学, 2004 年 3 月 28 日-31 日.
255. T. Hanaguri(RIKEN), C. Lupien(Cornell Univ.), Y. Kohsaka(Univ. Tokyo), C. Taylor(Cornell Univ.), M. Azuma(Kyoto Univ.), M. Takano(Kyoto Univ.), D. -H. Lee (UC Berkeley), H. Takagi (Univ. Tokyo), J. C. Davis (Cornell Univ.), "STM/STS imaging study of the heavily underdoped high- T_c $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$: nanoscale energy structure", 2004 APS March Meeting, Montreal, Canada, March 22-26, 2004.
256. C. Lupien(Cornell Univ.), T. Hanaguri(RIKEN), Y. Kohsaka(Univ. Tokyo), C. Taylor(Cornell Univ.), M. Azuma(Kyoto Univ.), M. Takano(Kyoto Univ.), D. -H. Lee (UC Berkeley), H. Takagi (Univ. Tokyo), J. C. Davis (Cornell Univ.), "STM/STS imaging study of the heavily underdoped high- T_c $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$: doping dependence", 2004 APS March Meeting, Montreal, Canada, March 22-26, 2004.
257. Y. Kohsaka(Univ. Tokyo), K. Iwaya (RIKEN), S. Satow(Univ. Tokyo), T. Hanaguri (RIKEN), M. Azuma(Kyoto Univ.), M. Takano(Kyoto Univ.), H. Takagi (Univ. Tokyo), "STM/STS study on $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ single crystals", 2004 APS March Meeting, Montreal, Canada, March 22-26, 2004.

(3)特許出願

発明者：岡本佳比古、野原実、高木英典

発明の名称：酸化物熱電変換材料及び酸化物熱電変換素子

出願番号：特願2003-295854

出願日：平成15年8月20日

発明者：岡本佳比古、野原実、高木英典、北澤宏一

発明の名称：酸化物熱電変換材料

出願番号：特願2002-084860

出願日：平成14年3月26日

発明者：原田研、他2名

発明の名称：磁場印加試料観察システム

出願番号：特願2001-097343

出願日：平成13年3月29日

(4)新聞報道等

新聞発表

- 柱状欠陥に捕捉された磁束量子観察に関するもの...日本経済新聞
(2001/8/10) 他5誌
- 鎖状配列観察に関するもの...日経産業新聞 (2004/12/7) 他4誌

受賞

- 文化功労者顕彰 (2002/11/3) , 外村彰
- 日本電子顕微鏡学会論文賞 (2002/5/14) , “Development of a 1-MV field-emission transmission electron microscope”, Journal of Electron Microscopy 49 (2000) 711-718, 川崎猛、吉田高穂、明石哲也、松田強、外村彰、北澤宏一 他
- T. Sugioka, M. Shigemori, T. Okabe, S. Horii, J. Shimoyama, and K. Kishio, “Best Scientific Contribution Award“, given by the European Society for Applied Superconductivity, September 18, 2003.
- 堀井滋、応用物理学会講演奨励賞 2003 年 3 月

招待講演

1. 外村 彰(日立), “ 電子の波で見る量子の世界, 上智大学談話会”, 上智大学, 01/04/19
2. A.Tonomura (Hitachi) , “The direct observation of vortices in high-Tc superconductors by Lorentz microscopy”, Advances in High Temperature Superconductivity, Israel, 01/05/24
3. A.Tonomura (Hitachi) , “The Quantum World Unveiled by Electron Waves”, Univ. of Stockholm, Sweden Stockholm, 01/06/13
4. A.Tonomura (Hitachi) , “The Quantum World Unveiled by Electron Waves”, Annual Meeting of Norway Physical Society, Norway, 01/06/16
5. A. Tonomura (Hitachi) , “ The microscopic world unveiled by electron waves”, Univ. of Oslo, Norway Oslo, 01/06/18
6. A.Tonomura (Hitachi) , “The Microscopy World Unveiled by Electron Waves”, SAIT FEEM Symposium, Korea Suwon, 01/06/26
7. 外村 彰(日立), “1MV ホログラフィ電子顕微鏡とその応用”, 次世代センサ協議会定時総会, 01/07/04
8. 外村 彰(日立), “Microscopic Distributions of Electric and Magnetic Fields Observed by Using Electron”, PIERS2001, 大阪, 01/07/18
9. A.Tonomura (Hitachi) , “1MV Field-Emission Transmission Electron Microscope”, M&M2001, USA Long Beach, 01/08/07
10. A.Tonomura (Hitachi) , “Dynamic Observation of Vortices in High Tc Superconductors”, ISQM_Tokyo 2001, 日立製作所基礎研究所, 01/08/30
11. A.Tonomura (Hitachi) , “Direct observation of vortices in high-Tc superconductors”, Conf. On Magnetic Superconducting Materials, Yarmouk Univ. Jordan, 01/09/10
12. A.Tonomura (Hitachi) , “Development of coherent electron beams and their applications to the observation of vortex behaviors in superconductors”, Vortex Matter in Superconductors at Extreme Scales and Conditions, Creta, Greece, 01/09/18
13. 外村 彰(日立), “電子波で見るミクロの世界”, 北大有機電子材料研究分野講演会, 札幌 北海道大学, 01/09/25
14. 外村 彰(日立), “電子波で見るミクロの世界”, 分子構造総合討論会特別講演, 北海道_札幌カンファラ, 01/09/26
15. 外村 彰(日立), “Plenary talk "1MV Holography Electron Microscope and Its

- Applications to the Observation of Superconductors””, ICMR2001, 秋田, 01/10/11
16. 外村 彰(日立), “1MV Holography Electron Microscope and Its Applications”, APF-7 つくば, つくば_物質材料研究装置, 01/11/13
 17. 外村 彰(日立), “電子波が拓くミクロの世界”, 堀場製作所講演, 京都, 01/11/16
 18. 外村 彰(日立), “電子波で見るミクロの世界”, 神奈川科学技術アカデミ-, 日立製作所基礎研究所, 01/11/20
 19. 外村 彰(日立), “電子波で見るミクロの世界-1MV ホログラフィ電子顕微鏡-”, 日本機会学会計算力学講演会, 札幌 北海道大学, 01/11/30
 20. 外村 彰(日立), “1MV Holography Electron Microscope and Its Applications to Superconductors”, 日欧ワ-クショップ, つくば_物質材料研究装置, 01/12/13
 21. 外村 彰(日立), “1MV ホログラフィ電子顕微鏡と高温超伝導体の観察への応用”, 原子力研究所講演会, 日本原子力研究所東海研究所, 01/12/18
 22. 外村 彰(日立), “電子波でみる量子の世界”, 徳島大学講演会, 徳島大学, 02/01/30
 23. 外村 彰(日立), “1MV ホログラフィ電子顕微鏡の高温超伝導への応用”, 電子顕微鏡学会高分解能分科会, 札幌 北海道大学, 02/02/09
 24. A.Tonomura (Hitachi) , “Observation of individual vortices trapped along columnar defects in HTSC”, アメリカ物理学会, Indianapolis USA, 02/03/20
 25. 外村 彰(日立), “電子波でみる量子の世界”, 情報処理学会全国大会, 東京電機大学 鳩山キャンパス, 02/03/13
 26. 外村 彰(日立), “1MV Holography Electron Microscope and Its Applications to the Observation of High-Tc Superconductors”, Rohrer, Eigler Workshop, 東北大学, 02/03/05
 27. A. Tonomura (Hitachi), “Physics Workshop Brookhaven, USA The dynamic observation of quantized vortices in superconductors with electron waves”, Physics Workshop Brookhaven, Brookhaven, USA, 02/04/22.
 28. 川崎 猛 (日立), “高電圧電界放出電子顕微鏡の開発と応用”, 電子顕微鏡学会, 大阪, 02/05/14
 29. A. Tonomura (Hitachi), “The Microscopy World Observed with Holography Electron Microscope”, Angstrom Lec., Sweden, 02/05/22
 30. A. Tonomura (Hitachi), “Dynamic Observation of Vortices in High-Tc Superconductors by Lorentz Microscopy”, MSA, Canada, 02/08/04
 31. A. Tonomura (Hitachi), “Bright Electron Beams and Their Applications to

- Electron Phase Microscopy”, MSA, Canada, 02/08/07
32. T. Akashi, “11.000Interference Fringes by 1-MV Field Emission Electron Microscope”, MSA, Canada, 02/08/04
 33. A. Tonomura (Hitachi), “Lorentz Microscopy Observation of Unconventional Behaviors of Vortices”, MOS2002, Taiwan, 02/08/17.
 34. A. Tonomura (Hitachi), “The Microscopic Unveiled by Electron Waves”, Physics Enrichment Camp, Singapore, 02/08/30.
 35. A. Tonomura (Hitachi), “Direct Observation on Low Temperature Physics”, LT23, Hiroshima, 02/08/27.
 36. A. Tonomura (Hitachi), “1MV Holography Electron Microscope and Its Applications”, ICEM, South Africa, 02/09/08.
 37. A. Tonomura (Hitachi), “The Quantum World Observed by Electron Wave” Vienna Physics Colloquim , Austria, 02/10/28.
 38. A. Tonomura (Hitachi), “Direct Observation of Vortices in Superconductors by Electron Waves”, Atom Institute WS, 02/10/31.
 39. A. Tonomura (Hitachi), “Observation of Quantized Vortices in High- T_c Superconductors”, 界面微小領域の評価と制御, 仙台, 02/11/11.
 40. A. Tonomura (Hitachi), “Observation of Unusual of Vortices in High- T_c Superconductors by Lorentz Microscopy”, Vortex ESP, Finland, 03/01/06.
 41. A. Tonomura (Hitachi), “The Quantum World Observed by Electron Waves”, Weizman Institute Seminar, Israel, 03/01/16.
 42. A. Tonomura (Hitachi), “The Microscopic World Observed by Using Electron Waves”, Avishai’s Symposium, Israel, 03/01/18.
 43. A. Tonomura (Hitachi), “Observation of unusual of vortices in high- T_c superconductors by Lorentz microscopy”, FIMS2003, Tsukuba, 03/03/01.
 44. A. Tonomura (Hitachi), “Direct Observation of Structures and Dynamics of Vortices inside High- T_c Superconductors”, European Science Foundation の Structure and arrangement of Vortices in Superconductors Meeting, チェコ, プラハ, 02/04/03
 45. A. Tonomura (Hitachi), , “Observation of Unconventional Behaviors of Vortices inside High- T_c Superconductors”, International Workshop on Unconventional Surperconductors, リオデジャネイロ ブラジル, 03/05/25
 46. 葛西 裕人(日立)他, “高温超伝導体における異方性を反映した鎖状磁束量子列の観察”, 日本顕微鏡学会第 59 回学術講演会, 北海道-札幌, 03/06/07

47. 外村 彰(日立), “1MV 電界放出電子顕微鏡による高温超伝導体中の磁束量子の観察”, 日本顕微鏡学会第 59 回学術講演会, 北海道-札幌, 03/06/09
48. A. Tonomura (Hitachi), “ Real time Observation of Unconventional Behaviors of Vortices in High-Tc by LM”, International Workshop on Vortex Dynamics and Vortex Matter, Oleron France, 03/06/22
49. A. Tonomura (Hitachi), “Direct Observation of Unconventional Behaviors of Vortices” アメリカ顕微鏡学会, Texas USA, 03/08/07
50. A. Tonomura (Hitachi), “ 1MV field emission transmission electron microscope and its applications”, 4th International Symposium on Atomic Level Characterizations for New materials and Devices, Hawaii USA, 03/10/06
51. A. Tonomura (Hitachi), “ Electron Phase Microscopy to Observe Microscopic Objects” New Horizons in Molecular Sciences and Systems 事務局, 沖縄, 03/10/16
52. 下山淳一(東大工)、岸尾光二(東大工)、「精密化学組成制御による層状酸化物材料の高機能化」(招待講演)、セラミックス協会 2003 年春年会、東京、2003 年 3 月 22~24 日
53. K. Shimizu(Univ. Tokyo), T. Okabe(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), K. Otszchi(Univ. Tokyo), J. Shimoyama(Univ. Tokyo), and K. Kishio(Univ. Tokyo), “Crystal Growth and Superconducting Properties of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (Bi2223) Single Crystals”, Materials Research Society 2001 Fall Meeting, Boston, November 26-30, 2001. (Invited Talk)
54. J. Shimoyama, K. Kitazawa and K. Kishio, “Generic Guiding Law Between Irreversibility Field and Anisotropy – Chemical Control of Critical Current of High Temperature Superconductors”, Physics and Chemistry of Molecular and Oxide Superconductors (PCMOS2002), Hsinchu, August 13-17, 2002. (Invited Talk)
55. K. Kishio(Univ. Tokyo), and J. Shimoyama(Univ. Tokyo), “Universal Guiding Principles and Chemical Designing of HTSC Cuprates for Improved Electromagnetic Properties and Critical Currents”, Materials Research Society 2002 Fall Meeting, Boston, December 1-6, 2003. (Invited Talk)
56. K. Kishio(Univ. Tokyo), S. Horii(Univ. Tokyo), and J. Shimoyama(Univ. Tokyo), "Properties of Tri-layered Bi2223 and Hg1223 HTSC Over $T_c=100\text{K}$ and the Implication", IUMRS-ICAM2003, October 8-13, 2003. (Invited Talk)

57. T. Hasegawa, "Local Electronic structures of High J_c Superconductors Probed by STM/STS", 2002 Material Research Society Fall Meeting, Boston, U.S.A., 2-6 December, 2002.
58. 長谷川哲也、「走査 SQUID を用いた強相関酸化物の磁区構造観察」、日本物理学会 2003 年秋季大会、岡山大学津島キャンパス、2003 年 9 月 20 日-23 日
59. 長谷川哲也、「微小プローブを用いた機能性材料の高効率探索」、第二回生活環境系フォーラム、産業技術総合研究所関西センター、2002 年 7 月 26 日
60. 長谷川哲也、「材料開発用コンビ試料のハイスループット評価技術」、平成 14 年度東北大学金属材料研究所ワークショップ「コンビナトリアル化合物機能開発」、東北大学金属材料研究所、2002 年 8 月 23 日-24 日
61. 長谷川哲也、「磁気顕微鏡による磁束観察」、高温超伝導 SQUID 応用技術の動向調査研究会、物質・材料研究機構、2002 年 9 月 13 日
62. 長谷川哲也、「材料ナノ機能」、東工大材料グループ 21 世紀 COE プログラムシンポジウム、東京工業大学、2002 年 12 月 17 日
63. 長谷川哲也、「ナノ～メゾスコピック領域の物性評価と物性探索」、第 3 回東工大-名工大-JFCC 合同講演会、東京大学、2002 年 12 月 18 日
64. 長谷川哲也、「巨大な光・磁気機能の発現」、旭硝子財団研究成果発表会 2003 「ナノ構造の制御と応用」、2003 年 7 月 15 日
65. T. Hasegawa and G. Kinoda, "STM/STS Studies on Superconductive Cuprates", The First Topical SCENET Workshop on Chemical Design, Characterization, and Processing of High T_c Superconductors and Related Materials, Sant Feliu de Guixols, Spain, November 13-15, 2003
66. 長谷川哲也、「ハイスループットスクリーニング」、平成 15 年度東北大学金属材料研究所ワークショップ「コンビナトリアル固体化学の新展開と酸化物半導体」、東北大学金属材料研究所、2004 年 1 月 23 日-24 日
67. T. Hanaguri, "Electronic states of vortices in clean s-wave superconductors", International Workshop on Quantum Transport in Synthetic Metals & Quantum Functional Semiconductors, 2001 (QTSM2001), Seoul, Korea, May 9-11, 2001.
68. T. Hanaguri, "Electronic States of heavily underdoped $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ investigated by STM/STS", The 15th International Symposium on Superconductivity (ISS-2002), Yokohama, Japan Nov. 11-13, 2002.
69. T. Hanaguri (Univ. Tokyo), "Spatial variation of the electronic states near the metal to Mott insulator transitions", Fourth International Conference on

New Theories, Discoveries, and Applications of Superconductors and Related Materials (New³SC-4), San Diego, USA, Jan. 16-21, 2003.

70. T. Hanaguri, “Spatial variation of the electronic states near the metal to Mott insulator transitions”, Workshop on “Phase Competition in Transition-Metal Oxides and Other Compounds”, Berkeley, USA May 14-16, 2003.

(5)その他特記事項

該当なし

7. 結び

本プロジェクトは、先行の『電子波の位相と振幅の空間微細解像』プロジェクト（戦略的創造研究推進事業：CREST）で開発した1 MV 干渉型電子顕微鏡と低温、超高真空、強磁場下で動作する多重極限走査型トンネル顕微鏡を、実際の電子状態解像ツールとして磁束観察や強相関電子系化合物に適用し、ナノサイエンス、ナノテクノロジーの基本的分析機器としての特異性、優位性を示すことを意図して開始された。

1 MV 干渉型電子顕微鏡は、電子線輝度や干渉性の点で、世界的にも類を見ない高い性能を持つ電子顕微鏡となった。本プロジェクトにおける研究は、この利点を最大限に活かした Lorentz 法を主に用いて、高温超伝導体中での磁束量子の特異な振舞い、特に磁束の 3 次元構造を直接観察することに成功した。柱状欠陥による磁束量子ピンニングの直接観察は世界初であり、また磁束鎖状構造関しても、Josephson 磁束量子の直接可視化こそ未達であるものの Bi2212 と Y123 の二つの高温超伝導体での比較から、鎖状構造の成因には迫ることができたと自負する。これらの結果は、ミクロスコピックな見地から高温超伝導磁束量子の挙動を明らかにする道を開くもので、直接的にはピンニングの改良による臨界電流の向上に寄与することができると考える。

走査型トンネル顕微鏡に関しては、CREST 事業終了前後から、世界各地から相次いでそれぞれの特徴をもった STM を用いた成果が発表され、残念ながら、STM 単体としての分解能と冷却能力に関しては、コーネル大学のデイビスグループに一日の長がある。しかし、多様な物質に適用可能なシステムとしては、極めて汎用性の高いものを構築できたと自負している。実際、本プロジェクト得られた STM のデータは、そのほとんどがこれまで全く STM 実験が試みられたことのない物質に対する、世界初のものである。

これらの「武器」を駆使し、本プロジェクトでは、当初の目標であった高温超伝導体の磁束ピン止めに関して研究を行い、柱状欠陥と磁束量子の相互作用、組成ゆらぎや相分離と磁束ピン止め等に関して重要な知見が得られた。一方、平行して進められた物質開発に関しても、制御された不純物置換が臨界電流を向上させることを示すことができ、高温超伝導体の積極的な物性制御に道を拓くことができた。

今後はセレンディピティーに基づく発見的研究を越えた、ピン止めの「設計」が課題になるが、この点に関してコメントしておきたい。1990 年代の初めから磁束系の物理は、高温超伝導体における磁束格子融解の可能性に端を発して長足の進歩を遂げた。このような、いわゆるボルテックスマターとしての性質は、GL 方程式に基づく現象論的理解が原理的には可能であるが、実は、現象論パラメータとしてのピン力は、純粋に電子的なプロセスで決定されることを忘れてはならない。すなわち、電子論抜きにはピン止めを「発見する」ことはできても、「設計する」ことは不可能である。つまり、ピン

止めの設計は高温超伝導の機構そのものと密接に関わっている。もちろん、極端な要素還元主義に陥ることは避けなければならないが、磁束を意識した上での高温超伝導の電子論的基礎研究は極めて重要である。電子論の理解から、従来のピン止めの設計指針である、弱超伝導領域の制御を超えた、新しいピン止めの方策が生まれるかもしれない。

STM の機能を敷衍する目的で展開された、強相関電子系化合物に対する STM 測定からは、研究開始時には予期しなかった大きな展開が見られた。特に微量ドーピングされたモット絶縁体に対する網羅的な STM/STS 測定から、高温超伝導の発現機構解明に重要な役割を果たすと考えられる電子結晶を発見した他、単結晶中にも関わらず、異常な電子不均一が形成されることが見出された。今後このような「不均一電子系の科学」が、強相関系特有の巨大応答との関連から発展していくものと信じる。磁束系を含め、これらの成果は、「実空間のナノ分解能」を持つ顕微鏡群ならではのものであることを、ここで改めて強調したい。

一方、物質開発に関しても、磁束ピン止め効率の向上に加えて、強相関からの発想による高性能熱電材料の開発や、ソフト化学の手法を駆使して新しい超伝導体を発見することができた。

このように、当初の目標に加え「応用展開」にふさわしい、新しい局面を開拓することが出来たと自負しているが、本プロジェクトで利用した顕微鏡群を超伝導体に限らず広くナノ領域における物質の電磁場構造、電子構造評価ツールとして適用するには、今後さらに研究を進める必要がある。研究の基本手段となった高性能電子顕微鏡自体を自らの手で開発できたことが、本プロジェクトの最大の強みであったと考えるので、装置自体の強化を積極的に進め、1 MV 電顕に関しては、空間分解能の改善や、電磁場に対する感度の向上など、さらには後継となる超高压電子顕微鏡の開発も考えていきたい。STM に関しては、昨年、花栗が前述のコーネル大学デイビスグループに4ヶ月間滞在し、超低温技術、STM ユニットの高剛性化に関して様々な技術を習得してきたので、我々が既に持っているシステム化に関するノウハウと組み合わせることによって、さらに高性能な STM へと結実させたい。

ここで、研究代表代行の花栗の個人的感想を述べさせていただきたい。花栗は代表の北澤教授の JST への転出に伴い、急遽プロジェクト運営を任された。各サブグループのリーダーは斯界の重鎮ばかりであり、若手の私が取り纏めをするに関しては、SORST スタッフの皆様からずいぶん御心配頂いた。正直に言えば私も若干不安があったが、本プロジェクトでは CREST 時代からの各グループの自立的研究体制と、日常の連携体制が確立しており、幸い、重要な成果を持って混乱無くプロジェクトを終了できた。このような各グループ間の研究協力体制は SORST 終了後も機能していくものと考えている。

花栗は元々現場志向の研究者であり、プロジェクトを引き継いでからの 2 年間、実験が毎日出来なくなったことは大きなストレスとなった。しかし、このような大きなプロジェクトに関わることが出来たことは、月並みな言葉ではあるが、良い勉強になった。現在は幸い、異動先である理化学研究所に CREST と本プロジェクトで製作した STM を移設することをお許しいただき、一研究者として装置の更なる改良と応用展開に邁進している。今後の成果にも御期待いただきたい。

最後に、未熟な代表代行にプロジェクトの継続を託していただき、折に付け様々なアドバイスを頂いた SORST のスタッフの皆様、プロジェクト外から様々な御助言や御協力を頂いた国内外の研究者の皆様、各グループの事務を執って頂いた秘書の皆様に感謝申し上げます。