

「極限環境状態における現象」
平成7年度採択研究代表者

門脇 和男

(筑波大学物質工学系 教授)

「極限環境を用いた超伝導体の臨界状態の解明」

1. 研究実施の概要

本研究は、様々な極限的実験環境下において高温超伝導体を中心とした超伝導体の電子状態や磁束状態を解明し、超伝導の基本概念的構築に貢献し、超伝導工学のシ - ズを育てることによって超伝導の新しい理工学の基礎の確立を目指す。具体的には、高温超伝導体の大型高品質単結晶の育成、および新物質開発、GHz-THz帯における超伝導エレクトロニクス基礎研究、および高温超伝導体の磁束状態の解明、渦系のダイナミクスと内部電子状態の研究、ジョセフソンプラズマ共鳴を用いた渦系構造の研究、渦系構造と相転移の研究、直接観察による渦系の微視的構造の解明を中心課題とする。

2. 研究実施内容

本研究は、平成8、9年度において、一応の基本整備が整い、平成10年度より本格的に本研究の中心的課題の解明に向けた様々な実質的研究が行われるようになった。平成10年度には、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ 系の大型単結晶育成に成功し、中性子回折、光電子分光などの大型で良質な単結晶でなければ実験不可能な課題の研究が大きく進展した。また、磁束状態の研究において、これまで発見されていなかった新しい磁束相を示唆する実験結果や、磁束線格子融解現象の角度依存性が異方的GL理論で予想されるスケ - リング則に従わず、特に磁場が ab -面内近傍では角度依存性が階段状になること、一次相転移が極く ab -面近傍では2次転移へと変化することなど、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ 系での磁束線格子融解現象の全貌が全角度量域で明らかにされつつあることは特筆すべき新しい進展である。

さらに、ジョセフソンプラズマの温度依存性が複数のド - ピングの異なる単結晶 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ で測定され、高温超伝導体の超伝導状態の c -軸方向における散乱機構、および、準粒子の緩和率がマイクロ波領域で詳細に検討された。その結果、固有ジョセフソン結合が形成されている c -軸方向ではAmbegaokar-Baratoffの関係式が破綻していることがわかった。これは、高温超伝導体の発現機構解明に關与する直接的な実験結果であることから極めて重要な結果と考えられている。また、ジョセフソン磁束系に対応すると思われるジョセフソンプラズマが実験的に観測され、そ

の周波数依存性、温度依存性を詳細に調べた。その結果、これまでのジョセフソンプラズマとは全く異なる特異な磁場依存性、周波数依存性を示すことがわかった。現在、理論的な考察を行っている段階である。

本年度から開始した新超伝導物質の開発では、強磁性超伝導体 $\text{RuSr}_2\text{GdCu}_2\text{O}_8$ ($T_c=38\text{ K}$)をはじめとして新しい超伝導体、 $\text{RuSr}_2\text{EuCu}_2\text{O}_8$ ($T_c=17\text{ K}$)、 $\text{RuSr}_2\text{SmCu}_2\text{O}_8$ ($T_c=15\text{ K}$)、 $\text{FeSr}_2\text{LnCu}_2\text{O}_{6+x}$ ($\text{Ln}=\text{希土類元素}$) ($T_c=40\text{ K}$)が発見された。これらの化合物は磁性と超伝導が複雑に絡み合っており、高温超伝導の研究に新しい方向性を与えるものとして極めて重要であると考えられる。

以下に、具体的に研究内容に沿って、平成11年度の特筆すべき成果について報告する。

高温超伝導体の大型高品質単結晶の育成、および新物質開発

昨年度報告したように、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ 系においては極めて良質の単結晶が恒常的に育成されており、その品質の高さは様々な物理的測定結果から益々評価が高まっている(平成10年度報告書、および3. 研究成果発表参照)。我々が新しく開発したILSTS/FZ法の一部は、現在、ニチデン機械株式会社より製造されている新型フロ-テイングゾ-ン装置に取り入れられ、市販されている。これをさらに改造することでより大型の単結晶が育成できるものと期待されている。

本年度から、新しい試みとして新物質の開発を開始した。興味ある物質としては強磁性と高温超伝導が共存する $\text{RuSr}_2\text{GdCu}_2\text{O}_8$ 系である。この系は $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ と類似の結晶構造を持つが、いわゆる $\text{Cu}(\text{I})$ サイトが Ru に置き換わったものである。結晶構造を図1に示す。

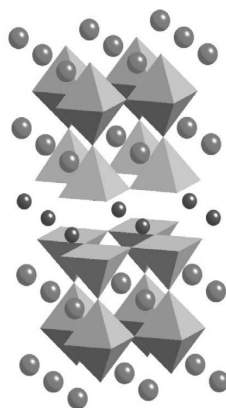


図1 $\text{RuSr}_2\text{GdCu}_2\text{O}_8$ の結晶構造 (赤丸(大きい丸): Sr 、紫: Ru を囲む八面体、緑: $\text{Cu}(\text{II})$ を囲む4面体、青丸(小さい丸): Gd)

図1からわかるように結晶構造は比較的単純な正方晶であり、2層の CuO_2 面と RuO_6 面が交互に積層している。 $T_{\text{Curie}}=136\text{ K}$ で(反)強磁性に転移し、その後、

$T_c=40\text{K}$ で超伝導となる特異な物質であることが知られている。特徴的なことは、 $T_{\text{Curie}}=136\text{K}$ 以下で磁化は磁場とともに強磁性的に変化し、超伝導状態でもその強磁性的状態と共存することにある。この強磁性と超伝導の共存は従来の超伝導体では不可能と考えられ、従って、これを明らかにすることは高温超伝導の機構を解明する大きな手がかりとなる可能性がある。特に、超伝導が d -波と考えられているので、 c -軸方向の伝導現象がどのような機構で起こるかが興味の焦点である。このような研究には単結晶が必要不可欠であるが、これまでの実験結果によれば、高温での融解の振る舞いが大変特異であり、単結晶育成が極めて困難であることがわかってきた。現在、この問題を回避する単結晶育成法を検討中である。

同様の結晶構造を持つ物質 $\text{NbSr}_2\text{GdCu}_2\text{O}_8$ は絶縁体であり、(反)強磁性が無いので両者の混晶系 $\text{Ru}_{1-x}\text{Nb}_x\text{Sr}_2\text{GdCu}_2\text{O}_8$ を作製し、強磁性と超伝導の関連を調べている。

また、新物質として $\text{FeSr}_2\text{LnCu}_2\text{O}_{6+}$ ($\text{Ln}=\text{Nd, Sm, Eu, Gd, Y, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu}$)系を開発し、超伝導化に成功した。この物質は鉄を含む初めての高温超伝導体であり、結晶構造は $\text{RuSr}_2\text{GdCu}_2\text{O}_8$ と同類である。現時点で、 $T_c=40\text{K}$ 程度であるが、試料の作成条件を最適化することによってさらに高い転移温度が期待されている。単結晶化を含めてさらに新しい超伝導体の合成を行っている。

GHz-THz帯における超伝導エレクトロニクスの基礎研究

この研究分野での特筆すべき進展は、層状超伝導体で磁場が ab -面内の時、ジョセフソンプラズマ(縦プラズマ)が2つのブランチに分離し、これまで知られている磁場が c -軸方向でのジョセフソンプラズマとは本質的に異なるモードを発見したことにある。図2にアンダ-ド-ブ単結晶 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+}$ の場合観測された、この二つのブランチのプラズマ周波数の磁場依存性を示す。

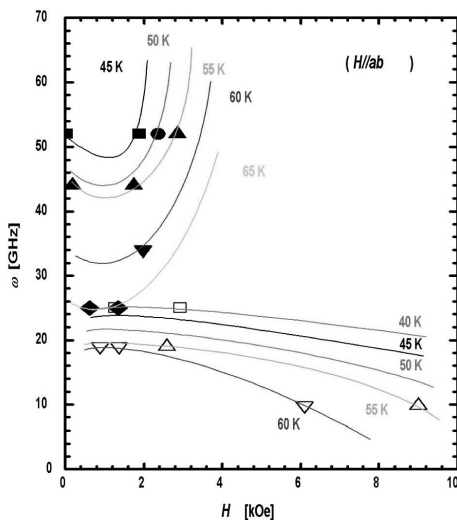


図2 $H//ab$ の場合のプラズマ周波数と磁場の関係

図2から明らかなように、プラズマ共鳴周波数はゼロ磁場のプラズマ共鳴周波数よりも高いモードと低いモードに分離する。磁場がc-軸の場合、プラズマ周波数は面間のジョセフソン電流で決定され、磁場によってジョセフソン電流は単調減少するので磁場中ではゼロ磁場の共鳴周波数より高い周波数では共鳴は起こらないと考えられるが、このように磁場がab-面内にある場合、ゼロ磁場での共鳴周波数より高いところにプラズマ共鳴が観測される。これは新しい発見であり、大変注目に値すると考えられ、理論的な説明が進行中である。現在、この現象は磁場がab-面内にある場合、ジョセフソン磁束が超伝導の縦プラズマ振動と強く結合する事によって起こるものと考えられている。

現在、約100 GHzまでのプラズマ実験が可能であるが、さらに高い周波数領域での実験技術を開発中である。また、プラズマ周波数のサイズ効果を調べるため、以下で述べられるようにナノテクノロジーを用いたミクロンからサブミクロンサイズの試料を作りジョセフソンプラズマの実験を開始している。

高温超伝導体の磁束状態の解明

この分野ではこれまで磁束線格子融解現象を中心にして、高温超伝導体の磁束状態の異常現象の解明に当たってきた。最近の特筆すべき成果は以下の通りである。極めて異方正の大きい単結晶 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ を用いて磁束格子融解現象の角度依存性を電気抵抗で精密に測定し、その角度依存性が、異方的ロンドンモデルから得られるスケリング則に従わず、面内磁場の関数として特異な階段状の変化を示すことを新たに発見した。この様子を図3に示す。

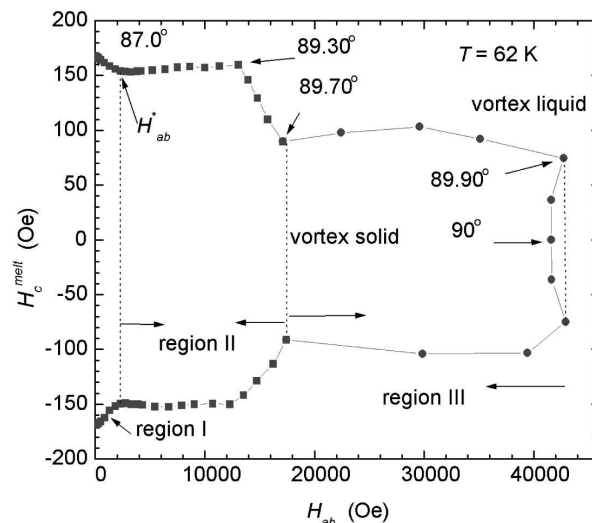


図3 単結晶 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ における磁束格子融解曲線の角度依存性。縦軸、横軸はそれぞれ磁場のc-軸方向、ab-面内方向への射影成分を表す。

この図3から一見してわかるように、磁束線格子融解曲線は ab -面方向の磁場の関数として、ほぼ直線的に減少する領域 (region I)、ほとんど角度に依存せずフラットな領域 (region II)、そして再び減少し大きくつきだして閉じる領域 (region III) の3つの特徴的な領域に分割されるように見える。Region I は、層状性が強いいため、磁束のパンケ - キとジョセフソン磁束が交叉することで発生することが理論的にも解明されているが、他の二つの領域は我々の実験によって発見された新しい現象で、現在その解明が進められている。磁束線格子融解現象は1次相転移であるが、これは c -軸から 89.7° までの領域であり (region II まで)、region III の領域は電気抵抗の測定からは2次転移のように見える。もちろん、電気抵抗は熱力学量ではないので問題は残るが、少なくとも1次転移に伴う抵抗の飛びは消失することがこの実験結果から明らかにされたことである。磁場が完全に ab -面内であるときジョセフソン磁束は秩序状態を作らないとする理論的予測や、液晶のようにスメクティック状態が発生するなど様々な予測があるが実験的な検証はまだない。

また、この実験と補足的であるが、微細加工技術を用いたMEM (Micro-Electronic Mechanics) でトルク測定装置を開発中で、予備的な段階ではあるがSQUIDを越える極めて高感度で磁化を測定できる。さらに、磁束線格子融解現象の局所的性質を調べるため微小コイルを用いた磁気帯磁率測定法を開発中であり、磁束格子の弾性的性質を明らかにするための実験をおこなっている。微細加工技術を用いることによって様々な形状のミクロンサイズの微小な超伝導体を作ることができ、このような微小超伝導体中の磁束の分布やその動的性質の解明を、走査型SQUID磁気顕微鏡で行っている。

渦糸のダイナミクスと内部電子状態の研究

渦糸は一種のマクロな量子凝縮物質として理解することが可能で、そのダイナミクスは、最近注目されている摩擦の問題や、電荷密度波やスピン波などの運動とも関係して新しい研究領域を形成しつつある。渦糸ダイナミクスの研究の一環として磁束運動にともなう2種類の雑音測定を行った。マイクロホールプローブを用いた磁束の運動にともなう局所磁束密度の雑音測定からは、磁束格子が動き始めた直後にはプラスチックフローが起こっていることを明らかにした。また伝導雑音測定からは、運動が間欠的に起こるいわゆる洗濯板ノイズを超伝導体で初めて発見し、縦方向の時間相関が非常に発達していることを明らかにした。

超伝導波動関数の対称性が、渦糸のコア内部の準粒子励起状態に強く反映することが最近理論的に調べられている。したがって、渦糸内部の準粒子状態を実験的に調べることによって、超伝導波動関数の対称性ひいては超伝導のメカニズムに関する知見を得ることが可能である。本年度は、マイクロ波表面インピーダン

スと低温比熱の測定により $\text{YNi}_2\text{B}_2\text{C}$ の超伝導状態の研究を行った。この物質は反強磁性と超伝導との競合や渦糸が四角格子を組むことで興味もたれているが、この物質の準粒子構造を調べた結果、渦糸コアの外側に準粒子が大きく伸びていることを見つけ、この物質の対称性がこれまで信じられてきたような単純なs波ではなくかなりd波に近い異方的s波であることを指摘した。

さらに渦糸は磁束をトラップすることが知られているが電荷もトラップしている可能性が指摘されている。我々はY:123とY:124に対して核磁気共鳴の実験を行い核四重極周波数の精密な測定を行い、これらの物質では電荷もトラップしている可能性があることを示した。これらの結果は従来のBCS理論から予想される電荷とは符号が反対でありまたその大きさも2桁近く大きいものであり、今後はさらに他の物質について同様の測定を行うと共に渦糸コア内部での核磁気緩和の実験を行う必要がある。

ジョセフソンプラズマ共鳴を用いた渦糸構造の研究

高温超伝導体においてジョセフソン電流と電磁波の結合波であるジョセフソンプラズマの存在が松田らによって明らかにされて以来、超伝導層間のコヒーレンスを探る手段としてジョセフソンプラズマ共鳴の実験が本研究グループによって精力的に行われ、多くの成果を上げた。昨年度一次融解転移を横切る際に、ジョセフソンプラズマ周波数が飛ぶことを明らかにしたが、本年度はさらに、昨年度導入された周波数スイープのできる装置を用いて、低温で渦糸格子がガラスに転移するいわゆるセカンドピークにおいてジョセフソンプラズマ共鳴の実験を行い、磁束固体 - 液体融解相転移と同じようにプラズマ周波数の不連続な飛びを観測した。この結果は、セカンドピークにおける磁束系の変化が一次相転移であることを意味し、固体相における相転移の問題に重要な知見を与えるものである。

重イオン照射により柱状欠陥が導入された $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ における、磁束液体状態での磁束の再結合（リカップリング）現象に関して、本研究の発足以来、そのメカニズムを明らかにしてきたが、本年度はさらに柱状欠陥の角度依存性が研究され、再結合現象は磁場のc軸成分によって支配されることが示された。

渦糸構造と相転移の研究

磁束格子融解線が明確に定義できる良質な非双晶 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (YBCO) 単結晶を作製し、30 Tの高磁場領域まで渦糸系の相転移の相図を系統的に調べている。今までに渦糸固体状態において、数テスラから10テスラ程度の磁場で渦糸格子状態と渦糸ガラス状態を分ける磁場誘起規則 - 不規則相転移の存在を実験的に明らかにした。本年度は、さらに種々の条件下で酸素処理を行って、渦糸相図に与える酸素量依存性を調べた。また、微小試料の高磁場における高精度磁化測定を行うために、カンチレバー式静電容量法を用いた磁気トルク測定法を開発した。その

結果、酸素欠損がほとんどない試料では、30 T以上の磁場まで1次相転移が継続すること、不規則性が増加したアンダーブ試料では全領域で2次相転移を示すこと、またその中間の濃度で新たな渦糸相が観測されることを明らかにした。さらに、これらの相転移線上でのエントロピー変化を精度良く求め、1次相転移線の下部臨界点の存在を熱力学的に確立した。

低磁場で磁束系の相転移が起こるBSCCOでは電磁氣的カップリングの重要性が理論のみでなく実験的にも認識されるようになってきた。我々はこのような系における傾斜磁場下における磁束状態を微小ホール素子をプローブとして調べてきた。これまでに、磁束相転移磁場が面内磁場に対し特異なスケーリング特性を示すことを明らかにしてきた。また、傾斜磁場下ではc軸方向に磁場を印加したときには見られない新たな磁化異常が発生することも明らかになった。これらの現象は、異方性の大きな超伝導体における傾斜磁場下での磁束状態が単なる傾いた磁束格子では無く、パンケーキ磁束とジョセフソン磁束が（ほぼ独立に）共存する交差格子の基底状態にあると考えることによりおよそ理解される。Koshelevによるこの考えが正しいとすると、磁場をc軸からわずかに傾けたときに交差格子は均一に傾いた格子に1次転移をすることが予想されている。その特徴的な角度はBSCCOの場合わずか数度である。我々は、この転移の存在に詳細な磁化の角度依存性の測定から追った。その結果、確かにc軸から数度から十数度の範囲で、新しいスケーリングが破れることを見出した。しかしながら、その変化は1次転移というよりクロスオーバー的である。

直接観察による渦糸の微視的構造の解明

ファラデー効果を用いた磁気光学的手法はこれまで、高温超伝導体単結晶全体にわたる磁場分布を通して、臨界電流密度やピン止めに関する情報を与えてきた。しかし、磁束格子融解転移に伴う磁束密度の変化は0.3 G以下とわずかなため、これを観測することは不可能と考えられてきた。我々は、CCDカメラを用いた差像測定法を改良することにより、従来の手法に比べ磁場分解能を2桁程度高めることに成功し、この技術を用いて磁束格子融解転移の試料中での発展のようすの観察に初めて成功した。

酸化物高温超伝導体の渦糸の微視的構造と電子状態を調べることを目的とし、低温磁場中トンネル顕微鏡を用いてトンネル分光測定を行った。YBa₂Cu₃O_yとBi₂Sr₂CaCu₂O_y単結晶において良質な表面を得るために超高真空中で試料の劈開を行い、劈開面での超伝導特性の評価を行った。その結果、YBa₂Cu₃O_y単結晶においては、10K程度の低温で劈開することにより明瞭なエネルギーギャップが観測され100nm程度の範囲で安定なスペクトルが得られることが分かった。今後、磁場中でのトンネル分光測定を行い、渦糸構造と渦糸内部の電子状態密度の測定

を行う予定である。

3 . 主な研究成果の発表 (論文発表)

"*Electronic Spectra and Their Relation to the (,) Collective Mode in High-Tc Superconductors*", J. C. Campuzano, H. Ding, M. R. Norman, H. M. Fretwell, M. Randeria, A. Kaminski, J. Mesot, T. Takahashi, T. Sato, T. Yokoya, T. Takahashi, T. Mochiku, K. Kadowaki, P. G. Guptasarma, D. G. Hinks, Z. Konstantinovic, Z. Z. Li and H. Raffy, Phys. Rev. Lett. 83 (1999) 3709-3712.

"*Systematic Study of Josephson Plasma Resonance in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$ with Columnar Defects*", I. Kakeya, R. Nakamura and K. Kadowaki, Physica B284-288 (2000) 881-882.

"*Josephson Plasma Resonance in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$ in Vortex Liquid and Solid States*", K. Kadowaki, I. Kakeya and R. Nakamura, Physica B284-288 (2000) 729-730.

"*Non-linear Resistivity in Vortex Liquid and Surface Barriers in Single Crystals $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$* ", J. Mirkovic and K. Kadowaki, Physica B284-288 (2000) 759-760.

"*Vortex Lattice Melting Transition in Oblique Magnetic Fields in Single Crystals in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$* ", J. Mirkovic, E. Sugahara and K. Kadowaki, Physica B284-288 (2000) 733-734.

"*Magnetization Anomalies above Vortex Lattice Melting Transition*", K. Kimura, R. Koshida, S. Okayasu, M. Sataka, Y. Kazumata, W. K. Kowk, G. W. Crabtree and K. Kadowaki, Physica B284-288 (2000) 717-718.

"*BSCCO Superconductors: Hole-Like Fermi Surface and Doping Dependence of The Gap Function*", J. Mesot, M. R. Norman, H. Ding, M. Randeria, J. C. Campuzano, A. Paramekanti, H. M. Fretwell, A. Kaminski, T. Takeuchi, T. Yokoya, T. Sato, T. Takahashi, T. Mochiku and K. Kadowaki, J. Low Temp. Phys. 117 (1999) 365-369.

"*Systematic Magnetization Measurements on Single Crystalline $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$ with Columnar Defects*", K. Kimura, R. Koshida, W. K. Kwok, G. W. Crabtree, S. Okayasu, M. Sataka, Y. Kazumata and K. Kadowaki, J. Low Temp. Phys. 117 (1999) 1471-1475

"*Josephson Plasma Resonance in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$ under parallel Magnetic Field*", Itsuhiro Kakeya, Tomoyuki Wada, Ryo Nakamura and Kazuo Kadowaki, J. Low Temp. Phys. 117 (1999) 611-615.

"*Changes in Superconducting Gap Anisotropy with Doping and Implications for the Penetration Depth*", J. Mesot, M. R. Norman, H. M. Fretwell, A. Kaminski, J. C. Campuzano, H. Ding, M. Randeria, A. Paramekanti, T. Takeuchi, T. Mochiku, T. Yokoya, T. Sato, T. Takahashi and K. Kadowaki, International J. Mod. Phys. B13 (1999) 3709-3711

"*Temperature Dependence of Josephson Plasma Modes in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$ near T_c* ",

K. Kadowaki, I. Kakeya, T. Wakabayashi, R. Nakamura and S. Takahashi, International J. Mod. Phys. B14 (2000) 547-554.

"*Anomalous Magnetization Behavior in The Vortex Liquid State in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$* ", K. Kimura, R. Koshida, S. Okayasu, M. Sataka, Y. Kazumata, W. K. Kwok, G. W. Crabtree and K. Kadowaki, Advances in Superconductivity (XII), p.413-415 (2000), (Springer Verlag), (Proceedings of the 12th International Symposium on Superconductivity, Morioka, Japan, October, 17-19, 1999).

"*In-Plane Field Contribution for Josephson Plasma Mode in Under-Doped $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$* ", I. Kakeya, T. Wada, R. Nakamura and K. Kadowaki, Advances in Superconductivity (XII), p.401-403 (2000), (Springer Verlag), (Proceedings of the 12th International Symposium on Superconductivity, Morioka, Japan, October, 17-19, 1999).

"*Anomalous Angular Dependence of Vortex Melting Transition in Single Crystal $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$* ", Kazuo Kadowaki, J. Mirkovic and Emiko Sugahara, to be published in Physica C, (Proceedings of 6th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity and High Temperature Superconductors, February 20-25, 2000, George R. Brown Convention Center, Houston, Texas, USA).

"*Weak Pinning Phenomena in Liquid State in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$ with Columnar Defects*", Kazuhiro Kimura, Ryo Koshida, Satoru Okayasu, Masao Sataka, Yukio Kazumata, Wai K. Kwok, George W. Crabtree, and Kazuo Kadowaki, to be published in Physica C, (Proceedings of 6th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity and High Temperature Superconductors, February 20-25, 2000, George R. Brown Convention Center, Houston, Texas, USA).

"*Josephson Plasma Mode in Fields Parallel to Layers of $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$* ", Itsuhiro Kakeya, Tomoyuki Wada, Ryo Nakamura and Kazuo Kadowaki, to be published in Physica C, (Proceedings of 6th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity and High Temperature Superconductors), February 20-25, 2000, George R. Brown Convention Center, Houston, Texas, USA).

"*The Magnetic Resonance in Underdoped Bi_2212 and its relation to The Electronic Spectra: an Inelastic Neutron Scattering Study*", J. Mesot, M. Bohm, N. Metoki and K. Kadowaki, to be published in Physica C, (Proceedings of 6th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity and High Temperature Superconductors, February 20-25, 2000, George R. Brown Convention Center, Houston, Texas, USA).

"*Vortex Dynamics in Low Magnetic Fields in Single Crystals $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$* ", J. Mirkovic and K. Kadowaki, to be published in Physica C, (Proceedings of 6th

International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity and High Temperature Superconductors, February 20-25, 2000, George R. Brown Convention Center, Houston, Texas, USA).

"Reply", Ch. Renner, B. Ravez, J. -Y. Genoud, K. Kadowaki and O. Fischer, Phys. Rev. Lett. 82 (1999) 3726.

"Quasiparticles in The Superconducting State of $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+x}$ ", A. Kaminski, J. Mesot, H. Fretwell, J. C. Campuzano, M. R. Norman, M. Randeria, H. Ding, T. Sato, T. Takahashi, T. Mochiku, K. Kadowaki and H. Hoehst, Phys. Rev. Lett. 84 1788-1791 (2000).

"Effects of Weak Point Disorder on the Vortex Matter Phase Diagram in Untwinned $YBa_2Cu_3O_y$ Single Crystals", T. Nishizaki, T. Naito, S. Okayasu, A. Iwase, and N. Kobayashi, Phys. Rev. B 61 (2000) 3649-3654.

"Vortex-Matter Phase Diagram in $YBa_2Cu_3O_y$ ", T. Nishizaki and N. Kobayashi, Supercond. Sci. Technol 13 (2000) 1-11.

"Vortex Phase Diagram as a Function of Oxygen Deficiency in Untwinned $YBa_2Cu_3O_y$ ", T. Nishizaki, K. Shibata, T. Naito, M. Maki, and N. Kobayashi, J. Low Temp. Phys. 117 (1999) 1375-1379.

"First Order Vortex Phase Transition in the Organic Superconductor $(BEDT-TTF)_2Cu(NCS)_2$ ", M. Inada, T. Sasaki, T. Nishizaki, N. Kobayashi, S. Yamada, and T. Fukase, J. Low Temp. Phys. 117 (1999) 1423-1427.

"Transport Anomalies in the Zn-Substituted $La_{2-x}Sr_xCu_{1-y}Zn_yO_4$ with $x > 0.115$; Possibility of the Pinning of CDW and SDW by Zn", T. Adachi, T. Noji, H. Sato, Y. Koike, T. Nishizaki, and N. Kobayashi, J. Low Temp. Phys. 117 (1999) 1151-1155.

"Transport and (SR Studies at $p = 1/8$ in the Bi-2212 and Y-123 Phase", M. Akoshima, T. Noji, Y. Koike, T. Nishizaki, N. Kobayashi, I. Watanabe, and K. Nagamine, J. Low Temp. Phys. 117 (1999) 1163-1167.

" $1/8$ Problems in the La-, Bi- and Y-Based Cuprates and New Anomalies in the Overdoped Region of the La-Based Cuprate", Y. Koike, M. Akoshima, T. Adachi, N. Kakinuma, T. Noji, Y. Ono, T. Nishizaki, N. Kobayashi, I. Watanabe, and K. Nagamine, Int. J. Mod. Phys. 13 (1999) 3546-3546.

"Electron Irradiation Effects on the Vortex Phase Diagram in Untwinned $YBa_2Cu_3O_y$ ", T. Nishizaki, T. Naito, S. Okayasu, A. Iwase, and N. Kobayashi, Advances in Superconductivity XI, eds. N. Koshizuka and S. Tajima, (Springer-Verlag, Tokyo, 1999) pp.585-588.

"Vortex Phase Diagram of $YBa_2Cu_3O_y$ in High Magnetic Fields -- Effects of Weak

Disorder--", N. Kobayashi, T. Naito, T. Nishizaki, K. Shibata, S. Okayasu, A. Iwase, and S. Sakatsume, *Physical Phenomena at High Magnetic Fields III*, eds. Z. Fisk et al, (World Scientific, Singapore, 1999) pp.380-383.

"Effects of the Weak Disorder on the Vortex Phase Diagram and the Second Peak in Untwinned $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ Single Crystals", T. Nishizaki, T. Naito, and N. Kobayashi, *Physica C* 317-318 (1999) 645-647.

"Magnetic Phase Diagram of Untwinned $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ Single Crystals Annealed in High Pressure Oxygen Atmosphere", K. Shibata, T. Nishizaki, T. Naito, and N. Kobayashi, *Physica C* 317-318 (1999) 540-542.

"The Nernst effect in high- T_c cuprate superconductors", K. Yamafuji, T. Fujiyoshi, T. Kiss, M. Inoue, T. Sasaki and N. Kobayashi, *Physica C* 328 (1999) 230-241

"Antiferromagnetic Transition in $\text{Sr}_{14-x}\text{Ca}_x\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$ Investigated by Specific Measurements" M. Hiroi, M. Sera, N. Kobayashi, T. Nagata, H. Fujino and J. Akimitsu, *J. Low Temp. Phys.* 117 (1999) 1677-1681

"Crossover from Intrinsic to Extrinsic Pinning for $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ Films", S. Awaji, K. Watanabe, N. Kobayashi, *Cryogenics* 39 (1999) 569-577.

"Antiferro-Multipolar Short Range Order above the Antiferro-Quadrupolar Ordering Temperature in CeB_6 ", S. Kobayashi, M. Sera, M. Hiroi, N. Kobayashi and S. Kunii, *J. Phys. Soc. Jpn.* 68 (1999) 3407-3412.

"Metamagnetic Transition in NdB_6 with a Small Magnetic Anisotropy in Low Magnetic Fields", S. Awaji, N. Kobayashi, S. Sakatsume, S. Kunii and M. Sera, *J. Phys. Soc. Jpn.* 68 (1999) 2518-2521.

"Colossal Magnetoresistance and Superconductivity in $\text{REAMnO}/\text{YBCO}$ Heterostructures", P. Przyslupski, T. Nishizaki, N. Kobayashi, S. Kolesnik, T. Skoskiewicz and E. Dynowska, *Physica B* 259-261 (1999) 820-821.

"Field dependence of penetration depth in an electron-doped cuprate superconductor $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ with $x = 0.16$ ", A. Maeda, H. Yasuda and T. Hanaguri: *J. Phys. Soc. Jpn.* 68, (1999) 594-598.

"Reduction of the superfluid density in the vortex-liquid phase of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ ", T. Hanaguri, T. Tsuboi, Y. Tsuchiya, K. Sasaki and A. Maeda: *Phys. Rev. Lett.* 82, (1999) 1273-1276.

"Interlayer phase correlation of the vortex system around at the coupling transition in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ containing columnar defects", Y. Tsuchiya, T. Hanaguri, H. Yasuda, A. Maeda, M. Sasase, K. Hohjoh, D. G. Steel, J. U. Lee and D. J. Hofman: *Phys. Rev. B* 59, (1999) 11568-11574.

"In-plane charge dynamics in $\text{La}_{1.6-x}\text{Nd}_{0.4}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$: Absence of charge gap in the spin / charge ordered state", S. Tajima, N. L. Wang, N. Ichikawa, H. Eisaki, S. Uchide, H. Kitano, T. Hanaguri and A. Maeda: Euro Phys. Lett. 47 (1999) 715-721.

"Ac charge dynamics in the meissner state and the vortex state of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ ", A. Maeda, T. Hanaguri and H. Kitano: in "Proceedings of the 11th International Symposium on Superconductivity (ISS'98)", Fukuoka, Japan, November 16-19, 1998 (Springer-Verlag, Tokyo, 1999) 193-198.

"Microwave and millimeter-wave conductivity of $\text{Sr}_{14}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$.", R. Inoue, H. Kitano, T. Hanaguri, A. Maeda, N. Motoyama, T. Osafune, M. Takaba, H. Eisaki and S. Uchida: in "Proceedings of the 11th International Symposium on Superconductivity (ISS'98)", Fukuoka, Japan, November 16-19, 1998 (Springer-Verlag, Tokyo, 1999) 121-124.

"Effect of first-order vortex phase transition on the electronic states of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ ", T. Hanaguri, Y. Tsuchiya, K. Iwaya, T. Tsuboi and A. Maeda: J. Low Temp. Phys. 117, (1999) 1405-1409.

"Site sensitive measurement of local fluctuation of driven vortex density in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ ", A. Maeda, T. tsuboi, T. Hanaguri, Y. Togawa, R. Abiru, Y. Tsuchiya and K. Iwaya: J. Low Temp. Phys. 117, (1999) 1329-1333.

"Studies of both intralayer and interlayer electrostatics of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ in the superconducting state", H. Kitano, T. Hanaguri, Y. Tsuchiya, K. Iwaya, R. Abiru and A. Maeda: J. Low Temp. Phys. 117, (1999) 1241-1245.

"Evidence for Field-Induced Excitation in Low-Temperature Thermal Conductivity of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ ", H. Aubin, K. Behnia, S. Ooi, and T. Tamegai, Phys. Rev. Lett. 82 (1999) 624-627.

"Novel Angular Scaling of Vortex Phase Transitions in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$ ", S. Ooi, N. Okuda, T. Shibauchi, and T. Tamegai, Phys. Rev. Lett. 82 (1999) 4308-4311.

"Bulk transport properties of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ crystals in the Corbino disc geometry", S. F. W. R. Rycroft, R. A. Doyle, D. T. Fuchs, E. Zeldov, R. J. Drost, P. H. Kes, T. Tamegai, S. Ooi, and D. T. Foord, Phys. Rev. B60 (1999) R757-R760.

"Evidence for Planar Pinning in Heavily Pb-Doped $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$ Single Crystals", K. Itaka, H. Taoka, S. Ooi, T. Shibauchi, and T. Tamegai, Advances in Superconductivity XI (1999) 485-488.

"Nature of Vortex Liquid in Heavy-Ion Irradiated $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$ ", T. Tamegai, M. Sato, N. Kameda, T. Shibauchi, S. Ooi, and M. Konczykowski, Advances in Superconductivity XI (1999) 571-574.

"First-Order Decoupling Transition in the Vortex State of $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$ ", T.

Shibauchi, T. Nakano, M. Sato, T. Kisu, N. Kameda, N. Okuda, S. Ooi, and T. Tamegai, *Advances in Superconductivity XI* (1999) 589-592.

"Experimental Evidence of the Role of Geometrical and Surface Barriers in BSCCO-2212 Crystals", R. A. Doyle, S. F. W. R. Rycroft, C. D. Dewhurst, D. T. Fuchs, E. Zeldov, T. B. Doyle, T. Tamegai, S. Ooi, R. H. Drost, P. H. Kes, and D. T. Foord, *Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Physics and Materials Science of Vortex States, Flux Pinning and Dynamics* (1999) 239.

"Temperature dependence of the lower critical field of high-T_c superconducting crystals near T_c", F. Mrowka, M. Wurlitzer, P. Esquinazi, E. Zeldov, T. Tamegai, S. Ooi, K. Rogacki, and B. Dabrowski, *Phys. Rev. B* 60 (1999) 4370-4377.

"Interlayer Phase Coherence in the Vortex Matter Phases of Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+y}", T. Shibauchi, T. Nakano, M. Sato, T. Kisu, N. Kameda, N. Okuda, S. Ooi, and T. Tamegai, *Phys. Rev. Lett.* 83 (1999) 1010-1013.

"Effect of surface barriers on transport properties of Bi₂Sr₂CaCu₂O₈ single crystals using the Corbino disc configuration", S. F. W. R. Rycroft, R. A. Doyle, D. T. Fuchs, E. Zeldov, R. J. Drost, P. H. Kes, T. Tamegai, S. Ooi, A. M. Campbell, W. Y. Liang, and D. T. Foord, *Supercond. Sci. Technol.* 12 (1999) 1067-1070.

"Evidence for Planar Pinning in Heavily Pb-substituted Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+y} Single Crystals", K. Itaka, H. Taoka, S. Ooi, T. Shibauchi, and T. Tamegai, *Phys. Rev. B* 60 (1999) R9951-R9954.

"Features of heat transport in organic and cuprate superconductors", K. Behnia, S. Belin, H. Aubin, F. Rullier-Albenque, S. Ooi, T. Tamegai, D. Deluzet, and P. Batail, *J. Low Temp. Phys.* 117 (1999) 1089-1098.

"Enhancement of Interlayer Phase Coherence in the Vortex Liquid State of Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+y} with Columnar Defects", T. Tamegai, N. Kameda, M. Sato, T. Shibauchi, S. Ooi, and M. Konczykowski, *J. Low Temp. Phys.* 117 (1999) 1363-1367.

"Novel Asymmetric Critical State in YBa₂Cu₃O₇ with Columnar Defects", K. Itaka, H. Taoka, T. Shibauchi, and T. Tamegai, *J. Low Temp. Phys.* 117 (1999) 1369-1373.

"c-Axis Penetration Depth in Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+d} Single Crystals Measured by ac-Susceptibility and Cavity Perturbation Technique", D. V. Shovkun, M. R. Trunin, A. A. Zhukov, Yu. A. Nefyodov, N. Bontemps, H. Enriquez, A. Buzdin, M. Daumens, and T. Tamegai, *JETP Letters* 71 (2000) 132..

"Josephson Coupling in the Vortex Liquid State of Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+y} with Columnar Defects." M. Kusugi, Y. Matsuda, M. B. Gaifullin, L. N. Bulaevskii, N. Chikumoto, M. Konczykowski, J. Shimoyama, K. Kishio, K. Hirata, and K. Kumagai, *Phys. Rev. B* 59,

(1999) 8970-8977

"Josephson Plasma Oscillation in High-Tc Superconductors.", Y. Matsuda and M.B. Gaifullin Proceedings of the 4th International Symposium on Advanced Physical Fields, (1999) 21-23

"c-Axis Superfluid Response and Quasiparticle Damping of Underdoped Bi:2212 and Bi:2201", M. B. Gaifullin, Yuji Matsuda, N. Chikumoto, J. Shimoyama, K. Kishio, and R. Yoshizaki, Phys. Rev. Lett. 83, (1999) 3928-3931

"Flux Flow Resistance and Transmittivity in Overdoped $Tl_2Ba_2CuO_{6+x}$ " K. Izawa, A. Shibata, H. Takahashi, Y. Matsuda, M. Hasegawa, N. Chikumoto, C.J. van der Beek, and M. Konczykowski, J. Low Temp. Phys. 117, (1999) 1193-1198.

"Growth and Characterization of Tl-2201 Single Crystals", Masashi Hasegawa, Humihiko Takei, Koichi Izawa and Yuji Matsuda J. Low Temp. Phys. 117, 741-746 (1999)

"c-Axis Superfluid Response and Quasiparticle Conductivities of Underdoped Bi:2212 and Bi:2201" M.B. Gaifullin, Yuji Matsuda, N. Chikumoto, J. Shimoyama, K. Kishio, and R. Yoshizaki, J. Low Temp. Phys. 117, (1999) 1229-1234.

"Abrupt Change of Josephson Plasma Frequency at the Phase Boundary of the Bragg Glass in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+y}$ " M.B. Gaifullin, Yuji Matsuda, N. Chikumoto, J. Shimoyama and K. Kishio, Phys. Rev. Lett. 84, (2000) 2945-2948.