

「極限環境状態における現象」  
平成7年度採択研究代表者

北澤 宏一

(東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授)

## 「電子波の位相と振幅の微細空間解像」

### 1. 研究実施の概要

本研究の目的は、近未来のメソスコピック素子時代に必要となる微細でコヒーレントな固体内電子波の観測技術を時代に先駆けて開発し、また、超伝導体をモデルとして電子波コヒーレンシーの微細観測を行うことによりその有効性を実証することにある。不確定性原理により同時に精密決定を行うことのできない位相と振幅という2つの量を、微細精密に解像するための手段として、位相観測用の電子線干渉顕微鏡と振幅観測用の原子位置指定トンネル分光 (AST - Atomic Site Tunneling) 装置開発をめざしている。具体的には、電子線干渉顕微鏡については従来の3倍の加速電圧を有する1 MeV型開発を推進し(これまでの世界最高は申請者らの保有する350kV) また、AST分光装置はエネルギー分解能の限界を目指して、極低温(0.1Kレンジ)、超高真空、強磁場下での観測を可能とする。一方、それらに並行して、物質開発面では、より高温でもコヒーレンシーの破壊されない高臨界電流性能を示す物質開発を進めるとともに、その指針となる基本法則を導こうとするものである。

### 2. 研究実施内容(平成11年度)

#### A) 1 MeV電子線干渉顕微鏡の開発: 電子波の位相解像

現在の電子線干渉顕微鏡世界水準(350kV)をさらに3倍以上に引き上げることにプロジェクト開始後3.5年間をかけて平成12年3月に成功した。この高加速電圧顕微鏡開発の目的は、解像力、測定試料の厚み制約の軽減、像のコントラスト向上の3つが主たる目的である。技術的には従来のその他の同レベル加速電圧の顕微鏡に比較して、特に高電圧を精密制御し、安定に得なければならないところが最も大きな課題であった。絶縁の安定性の調整に手間どったため完成が半年予定より遅れた。これは、高電圧発生装置を電子銃・加速管と独立のものとし、新たに高い絶縁性能を有する鏡筒を開発することによって成功した。またこの干渉型顕微鏡は従来の非干渉型電子顕微鏡の解像度の記録を、今後、次々と塗り替えていく可能性を持ち、2000年3月の試験において、既に、分解能4.8オングストロームに達したので、現時点での世界記録としてAPL誌に投稿するとともに、新聞発表を行なった。

本干渉顕微鏡では、さらに、微細解像度に加え、磁力線の分布、電位分布、試料の厚みなど、通常の電子顕微鏡では得られない情報が得られるので、今後、その初期性能からのさらなる性能アップを目指した装置的努力を継続するとともに、高温超伝導体を含め、低加速電圧では観測が難しかった物質、および、分解能で限界の感じられた物質を中心として、幅広い研究に精力的に応用を展開する予定である。

#### B) 原子位置指定トンネル分光 (AST) 装置の開発：電子波の振幅解像

現在の世界水準ではまだ不足する性能として 1) 極低温での試料のへき開機構、2) 温度制御性、3) 安定な強磁場印加、4) 試料交換の容易性、の総合実現がある。本研究では、それらすべてをハイレベルで実現することを目指すものであるが、互いに相矛盾する面を持っており、そのために、プロトタイプ型の試作を次々行って、試行錯誤の開発を行ってきた。これらの中で、超高真空極低温AST装置を完成して、前年度までに高温超伝導体に分布する不純物原子を個々に観測することまで成功していたが、まだ、長時間安定性を得ることに成功していなかった。これらの経験に基づいて、最終バージョンの設計を行い、平成11年度において一応の完成をみた。これを用いて、本年度、さらに性能向上を目指した修正を続行する予定である。一方、これまでの性能においても、高温超電導体という相対的に観測の難しい試料においても、不純物原子を個々に解像することに成功するレベルに達したことは、現時点でも世界で他にもう1箇所しかない (UC Berkley) ことを考えても、かなり、ハイレベルにまで到達していると考えている。現在、ハイレベル測定を可能とする極低温部分と駆動部分の修正と、エレクトロニクスの手直し、ソフトウェアの手直しに入っている。

また、最終目標からすれば不十分な性能であるが、世界レベルとしては高性能に達した段階にあるので、この装置を用いての特に個々の原子を観察し、また、トンネルスペクトルを観測するという目的での実験に入っている。

#### C) 電子波のコヒーレンシー微細観測研究

##### C-1) ボルテックスの直接観測

H11年度における主たる進展は、

- 1) 既に、既存の350kV型干渉顕微鏡を用いて、酸化物超伝導体でボルテックスダイナミックスの観測に世界で初めて成功し、運動様式の磁場 - 温度ダイアグラム上での分類がなされた。その運動は、従来の単純な考え方とはまったく異なるものであることを見出している。この成果はNature誌での発表、Natureホームページに動画として収録した他、多数回の国際会議招待講演(：外村、原田ら)を通じて世界に発信してきている。あらたに完成した1MeV装置での成果を、従来見るこののできなかった厚い試料でも観測し、コント

ラストの高いより鮮明なイメージを今後得ることができると考えている。

2) すでに、プロトタイプAST装置を用いて、2つの超伝導体NbSe<sub>2</sub>とLuNi<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C系においてボルテックス芯部の観測に成功している。しかしながら、ボルテックス観測はエネルギー分解能に非常に敏感であり、十分に精密な形状を得るに至っていない。これは、現在努力中の液体ヘリウム温度以下での測定が可能となることにより、また、エレクトロニクス系の雑音レベルを低減することにより向上すると考えている。これにより、さらに難しい酸化物超伝導試料への適用に入って行きたいと考えている。

3) 一方、高濃度鉛ドーブおよびコバルトドーブBi<sub>2</sub>212系で、ドーブされた不純物原子を個々にSTM解像することに成功した(「高温超伝導の科学」立木-藤田編 表紙写真に採用 裳華房 1999)。特に、高濃度鉛ドーブ系では、鉛を多く含む領域と少なく含む領域とがミクロに相分離していることが観察され、しかも、その両者では超伝導ギャップおよび擬ギャップが顕著に異なることを見出した。この結果に基づき、「擬ギャップ由来の新たなピン止め中心」の概念を提起した(北澤：欧州および中国での国際会議招待講演)。

このような微細析出構造の形成が実用上重要なピン止め力を有効に増強することを既に見出していたが、この結果は、そのメカニズムを与えるものである。

4) マンガン系層状酸化物において磁気バブルドメインの自発的な発生を観測した。これは、外部磁場を印加しない場合にも生じるが、無磁場で生じた初めてのバブルドメインである(長谷川、北澤：特許申請)。バブルドメインは、一時、微細磁気記録の原理として活発な開発が行われたが、結局、外部磁場印加を必要とすることが嫌われて実用に達しなかった。本発見は無磁場で自発的に発生するミクロなバブルドメインの存在を示したもので、その本質的な欠点を解消したと考えるものである(雑誌Science誌掲載)。

さらに、プローブをSQUIDに換えたマイクロプローブを用いて、酸化物超伝導体を磁場中冷却した際に生じるトラップ磁束を明瞭に観測することができた。これを用いて単結晶試料中でのピン止めの強さを評価する研究を続行中である。

5) AST装置を用いて、温度変化により金属-絶縁体転移を示す2次元電子構造を有する物質の相転移のメカニズムに新説を提案した。すなわち、従来言われてきたようなモット転移によるものではなく、電荷密度の偏りが層間で秩序化するものであることを見出した。この新説を確定するために、AST法に加えて比熱と磁化率の測定を行い、総合的にメカニズムを論じた。この考え方は、この分野の理論家にも影響を与え、従来、2次元物質と考えられ

ていた系で、層間相互作用が数百meVに達することを実験的に示したもので、その意味で3次元的な相互作用が金属 絶縁体転移を生じる源泉であることを主張した（長谷川ら：論文準備中）。

- 6) 高臨界電流密度を示すことで知られるNdBaCuO系単結晶試料のAST測定を行い、ピン止め中心の同定を試みた。試料を低温劈開処理した結果、再現性が著しく向上し、100nm程度の範囲では超伝導ギャップ値はほぼ一定であるが、ギャップ内の状態密度が空間変化していることを見出した。この結果は、原子オーダーでの乱れの周辺で対破壊が起きていることを示唆しており、酸化物超伝導体における新たなピン止め中心としての可能性を持つと考えている。
- 7) 新たなトンネル分光法として、従来型超伝導体であるNbを探針として用いるAST開発に着目した。これまで、その実験的手法の確立に努め、電解研磨及び電子ビーム加熱により同探針を再現性良く作製するための条件を検討した。その結果、数eVの高い仕事関数と原子分解能を備えた探針を得ることに成功した。平成12年度には高温超伝導体やスピン分極した材料へと応用を広げていく計画である。これにより、超伝導のコヒーレント連結、ギャップの内部構造などに関する知見が得られるものと期待している。

#### C - 2) 高臨界電流高温超伝導材料の物質開発

実用化にあたって、高温超伝導材料の最大の課題は高温高磁場下でコヒーレンシーが破れ易いことである。この問題への解決指針を探求するための研究が、バルク単結晶材料および現時点での干渉型顕微鏡、原子位置指定型トンネル分光装置を用いて行われ、H11年度において以下の新しい知見を得た。

- 1) 「異方性係数」がピン止め要素力の上限を決定するほぼ唯一の要因であり、ピン止め力の働き始める温度・磁場（不可逆磁場）は、物質の異方性係数と臨界温度のみをパラメータとすることによってすべての高温超伝導体に対してユニバーサルにスケールされ、スケーリング式は量子化磁束線の秩序性変化のため高温、低温の領域で異なる（岸尾グループ：第6回高温超伝導国際会議（ヒューストン）、第22回低温物理国際会議（ヘルシンキ）などで招待講演、下山ほか *Physica B* 印刷中、中山ほか *Phys. Rev. B* 印刷中）。
- 2) 高濃度鉛ドーブBi2212系で、高温での常伝導状態、超伝導状態ともにPbドーブにより約一桁も異方性が減少することが電氣的測定から示され、この系が実用上極めて重要な材料となりうることを示した。これが確かに異方性低下のためであることを証明するために、光学的なプラズマエッジの観測を試み、たしかに赤外領域の波長においてプラズマエッジが観測されることを証明することができた。（岸尾グループ：本橋ほか *Phys. Rev. B* 59（1999）

14080. 及び*Phys. Rev. B* 印刷中)

3) 高濃度鉛ドーブBi2212系で、微細なラメラ状、菱形籠状 2 相析出構造が STMで観測され、その両者で擬ギャップ構造がミクロに異なることが見出された(長谷川ほか *J. Low Temp. Phys.* 117 (1999) 341-345)。さらに、磁気光学法による磁束分布の観察の結果、20K以上の温度、磁場下での臨界電流密度の劇的な改善には、析出領域界面が強力なピンニングサイトとして寄与していることが明らかになった(岸尾ら *Physica C* 印刷中)。

4) 高温超伝導実用材料へ向けての研究：

実際の応用を目指して、高濃度ドーブ型Re-Hg系およびPb-Bi系超伝導体(岸尾グループの発見)について、実際の超伝導材料としての可能性を追求し、懸案であった長手方向の結晶粒配向に成功した。

更に、実際の製造プロセスで問題となる結晶粒の成長についての研究を進め、その概要が明らかにされた。すなわち、Re-Hg系では、種々のプロセス条件が試みられた結果、Ni基体上に予め酸化被膜を設け、その上に反応器内蒸気をHg(Re)<sub>1234</sub>相ペレットを共存させて制御し、熔融温度を下げることで好結果を得た。この結果、表面金属光沢のある、高温超伝導Hg(Re)<sub>1223</sub>相が基体上に配向成長することが示され、実用プロセスとしても可能性が開けたと考える(岸尾・下山：第6回高温超伝導国際会議(ヒューストン)にて招待講演)。また、Pb-Bi2212系では、還元雰囲気下熱処理が不純物相生成抑制に有効であることを見出し、さらにMg超微粉末添加によって融液の粘性が制御できることがわかった。これらによって再現性のよい試作研究が可能となり、現在、緻密な配向組織を得るために熱処理プロセスの最適化を進めているところである。

5) フラーレン系新物質探索

酸化銅系以外の物質開発では今期においてフラーレンを用いての物質開発に興味ある結果が得られた。その第1はC60を主鎖に含むホモポリマーである。(特許申請済：科学技術振興事業団)。H10年度において、NMRによりこの高分子の構造決定を進めたが、11年度においては、この物質が分子鎖にそって光誘起電荷移動を生じ、その結果、C60そのものでは禁止されていた蛍光が強く発生するという興味ある事実を見出した。高分子でこのようなことが起こることはきわめて興味深いことであるため、そのメカニズム解明のための種々の測定を行った。(Xiao,北澤ら *J. Polymer Sci.* 37(1999)3632, *Fulleren Sci. & Techn.* in press)

一方、前年度に発見されたダイマー型高次フラーレン(炭素のみよりなる球状物質)の合成と分離をさらに拡張し、新たなダイマーとさらにダイマー

化合物を作成。これらはC121とC122の新分子で、これまでの高次フラレンと異なり、サッカーあるいはラグビーボール状ではなく、ボールが2つ連結した構造になっていることがSTM観測で判明した。(DragoeらChem.Commun. (1999) 85-86、物質特許申請：科学技術振興事業団)。これら新物質については、現在、電界効果トランジスタを作成し、また、アルカリドーピングによって超伝導性の発現などの可能性を追求する途上である。

また、これらの分子形成過程で、電子の遍歴するクラスターとその配線とを考慮した、単一電子トランジスタの概念特許を申請した(日立製作所基礎研究所と共同出願：科学技術振興事業団)。

### 3 . 主な研究成果の発表 (論文発表)

"Direct Observation of One-dimensional Ga-atom Migration on Si(100)-2x1-H Surface: a Local Probe of Adsorption Energy Variation" T. Hitosugi, Y. Suwa, S. Matsuura, S. Heike, T. Onogi, S. Watanabe, T. Hasegawa, K. Kitazawa and T. Hashizume Phys. Rev. Lett., Vol.83, No.20, pp.4116-4119 (1999).

"Microtip-Assisted Metal-Insulator Transition in a Layered Chalcogenide" W. Yamaguchi, O. Shiino, T. Endo, K. Kitazawa and T. Hasegawa Appl. Phys. Lett., Vol.76, No.4, pp.517-519 (2000).

"Vortex Phase Diagram in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$  Probed by ac-Susceptibility Measurements" Sasagawa, Takao. Fujita, Toshiya. Kobayashi, Hisashi. Shimoyama, Jun-ichi. Kitazawa, Koichi. and Kishio, Kohji \*Adv. Supercon. XI (1999) in print

"Magnetization and Entropy Changes at the First-Order Phase-Transition of Vortex-Lattice in  $(\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x)_2\text{CuO}_4$  Single Crystals" Sasagawa, Takao. Togawa, Yoshihiko. Shimoyama, Jun-ichi. Kitazawa, Koichi. and Kishio Kohji \*Adv. Supercon. XI (1999) in print

"Magnetic field effect on the transport process of paramagnetic or diamagnetic substances in the aqueous solution" MOGI, Kunio. and SAKIHAMA, Tatsuya. \*Journal of Applied Physics Vol.85 (1999)

"Effects of a magnetic field on the germination of plants" HIROTA, Noriyuki. NAKAGAWA, Jun. KITAZAWA, Koichi. \*Journal of Applied physics Vol.85 No.8 15 April 1999

"Nonmechanical magnetothermal wind blower by a superconducting magnet" UETAKE, Hiromichi. NAKAGAWA, Jun. KITAZAWA, Koichi. \*Journal of Applied Physics Vol.85 No.8 15 April 1999

"Thermal Decomposition of Fullerene Derivatives-A synthesis method of new fullerene based molecules" Dragoe, Nita. Nakahara, K. Xiao, L. Shimotani, H. and Kitazawa, K.

\*Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol.56(1999)167-173

"Jahn-Teller Distortion in Dangling-Bond Linear Chains Fabricated on a Hydrogen-Terminated Si(100)-2 × 1 Surface" Hitosugi, Taro. Heike, S. Onogi, T. Hashizume, T. Watanabe, S. Li, Z.Q. Ohno, K. Kawazoe, Y. Hasegawa, T. and Kitazawa, K. \*Physical Review Letters Vol.82 No.20 17 May 1999 p.4034-4037

"Enhancement of Superconductive Shielding via Photoinduced Surface Modification" Do Trong On, Jiang, L. Kitazawa, K. Fujishima, A. and Hashimoto, K. \*The Journal of Physical Chemistry B Vol.103 No.18 P.3511-3514(1999)

"Spontaneous Bubble Domain Formation in a Layered Ferromagnetic Crystal" T. Fukumura, H. Sugawara, T. Hasegawa, K. Tanaka, H. Sakaki, T. Kimura, Y. Tokura \*Science Vol.284 18 June 1999 p.1969-1971

"Superconducting phenomenology of cuprates: effect of pseudo-gap and other anomalies" Hanaguri, Tetsuo. Naito, Michio. Kitazawa, Koichi. \*Physica C 317-318(1999)345-352

"Magnetic field enhancement of water vaporization" Nakagawa, Jun. Hirota, Noriyuki. Kitazawa, Koichi. and Shoda, Makoto. \*Journal of Applied Physics Vol.86 No.5 1 Sep. 1999 p.2923-2925

"Pseudo-gap and anisotropy of cuprate superconductors in relation with pinning strength" Kitazawa, Koichi. \*1<sup>ST</sup> Regional Conference on Magnetic and Superconducting Materials 27-30 Sept. 1999 Tehran, Iran

"Synthesis of a Novel [60] Fullerene Pearl-Necklace Polymer, Poly(4,4'-carbonyl bisphenylene trans-2-[60]fullerenobisacetamide)" Xiao, Lixin. Shimotani, Hidekazu. Ozawa, Masaki. Li, Jing. Dragoe, Nita. Saigo, Kazuhiko and Kitazawa, Koichi \*Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry, Vol.37, 3632-3637(1999)

"New experimental evidence of the structural modification in single crystal Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>y</sub> by X-ray diffraction observation" Zhao, Xiaoru. Wu, Wenbin. Sun, Xuefeng and Li, Xiao-Guang \*Physica C 320 (1999)225-232

"Pinning strength of cuprate superconductors and pseudo-gap in the normal state" Kitazawa, K. Shimoyama, J. Hanaguri, T. Sasagawa, T. and Kishio, K. "High Temperature Superconductivity" Eds. Barnes, et al. pp.253-258(1999) (AIP press)

"Development of a scanning Hall probe microscope for simultaneous magnetic and topographic imaging" Fukumura, T. Sugawara, H. Kitazawa, K. Hasegawa, T. Nagamune, Y. Noda, T. Sasaki, H. Micron 30(1999) 575-578

"Magnetization and resistivity measurements of the first-order vortex phase transition in (La<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>)<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub>" Sasagawa, T. Togawa, Y. Shimoyama, J. Kapitulnik, A. Kitazawa, K. and Kishio, K. \*Physical Review B Vol.61 No.2 1 January 2000-II p.1610-1617

"Enhancement of three-dimensional electron standing waves at the metal-insulator transition in 1 T-TaS<sub>2</sub>" Yamaguchi, W. Shiino, O. Endo, T. Hasegawa, T. Kitazawa, K. \*Surface Science 420 (1999) p.269-274

"Systematic Decrease of Resistivity Anisotropy in Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>y</sub> by Pb Doping" T. Motohashi, Y. Nakayama, T. Fujita, K. Kitazawa, J. Shimoyama and K. Kishio Phys. Rev. B59 (1999) 14080-14086.

"Motion of Vortices in Superconductors" A. Tonomura, H. Kasai, O. Kamimura, T. Matsuda, K. Harada, J. Shimoyama, K. Kishio and K. Kitazawa Nature 397 (1999) 308-309.

"Peak Effect of Critical Current in a Bi-2212 Superconducting Single Crystal" T. Matsushita, T. Hirano, H. Yamato, M. Kiuchi, Y. Nakayama and J. Shimoyama and K. Kishio Supercond. Sci. Technol. 11 (1999) 925-928.

"Anisotropic Transport Properties of Pb-Doped Bi2212 Single Crystals" T. Motohashi, H. Kobayashi, Y. Nakayama, T. Fujita, K. Otschi, J. Shimoyama, K. Kitazawa and K. Kishio "Advances in Superconductivity XI", Springer-Verlag Tokyo, pp.97-100 (1999).

"Effect of Parallel Magnetic Field on the Melting Transition in BSCCO" S. Nakaharai, T. Ishiguro, S. Watauchi, J. Shimoyama and K. Kishio "Advances in Superconductivity XI", Springer-Verlag Tokyo, pp.263-266 (1999).

"Irreversibility Field and Pinning Potential in Bi-2212 Superconducting Single Crystal" T. Hirano, T. Matsushita, Y. Nakayama, J. Shimoyama and K. Kishio "Advances in Superconductivity XI", Springer-Verlag Tokyo, pp.489-492 (1999).

"The Second Magnetization Peak Effect Observed in (La<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>)<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> Single Crystals under H // ab" Y. Togawa, T. Sasagawa, J. Shimoyama and K. Kishio "Advances in Superconductivity XI", Springer-Verlag Tokyo, pp.613-616 (1999).

"Magnetization and Entropy Changes at the First-Order Phase-Transition of Vortex-Lattice in (La<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>)<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> Single Crystals" T. Sasagawa, Y. Togawa, J. Shimoyama, K. Kitazawa and K. Kishio "Advances in Superconductivity XI", Springer-Verlag Tokyo, pp.617-620 (1999).

"Vortex Phase Diagram in Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>y</sub> Probed by ac-Susceptibility Measurements" T. Sasagawa, T. Fujita, H. Kobayashi, J. Shimoyama, K. Kitazawa and K. Kishio "Advances in Superconductivity XI", Springer-Verlag Tokyo, pp.621-624 (1999).

"Effect of Heavy Ion Irradiation on Flux Pinning Properties of Bi2212 and Bi(Pb)2212 Single Crystals Having Various Gamma<sup>2</sup>" J. Shimoyama, Y. Nakayama, T. Motohashi, K. Otschi, N. Chikumoto, M. Konczykowski and K. Kishio "Advances in Superconductivity XI", Springer-Verlag Tokyo, pp.465-468 (1999).



"Enhancement in Critical Current Density of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$  Single Crystal by Neutron Irradiation Followed by Thermal Annealing - Effect of Neutron Fluence -" K. Ogikubo, T. Kobayash, T. Terai, S. Tanaka and K. Kishio "Advances in Superconductivity XI", Springer-Verlag Tokyo, pp.541-544 (1999).

"Josephson Coupling in the Vortex Liquid State of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+}$  with Columnar Defects" M. Kosugi, Y. Matsuda, M.B. Gaifullin, L.N. Bulaevskii, N. Chikumoto, M. Konczykowski, J. Shimoyama, K. Kishio and K. Hirata Phys. Rev. B59 8970-8977 (1999).

"Fermi-Liquid Versus Pseudogap Behaviors in Filling-Control Transition Metal Oxides " A. Fujimori, T. Yoshida, A. Ino, T. Mizokawa, C. Kim, Z.-X. Shen, Y. Taguchi, T. Katsufuji, Y. Tokura, H. Eisaki, S. Uchida and K. Kishio in "Physics and Chemistry of Transition-Metal Oxides", Eds. H. Fukuyama and N. Nagaosa, Springer Series in Solid-State Science, Vol. 125, pp. 111-119 (1999).

"Doping dependence of the pseudogap in  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ " J. G. Naeni, X. K. Chen, J. C. Irwin, M. Okuya, T. Kimura, and K. Kishio, Phys. Rev. B59 (19), 9642-9648 (1999).

"Temperature evolution of the pseudogap state in the infrared response of underdoped  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$  " T. Startseva, and T. Timusk, A. V. Puchkov, D. N. Basov, H. A. Mook, M. Okuya, T. Kimura, and K. Kishio, Phys. Rev. B59(10), 7184-7190 (1999).

"Re-Induced Raman Active Modes in  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+2+}$  Compounds " N. Poulakis, D. Lampakis, E. Liarokapis, A. Yoshikawa, J. Shimoyama, K. Kishio, G.B. Peacock, J.P. Hodges, I. Gameson, P.P. Edwards and C. Panagopoulos Phys. Rev. B60 (1999) 3244-3251.

"Electronic Structures of Two-Phase Microstructures in Pb-doped  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$  " S. Nakao, K. Ueno, T. Hanaguri, K. Kitazawa, T. Fujita, Y. Nakayama, T. Motohashi, J. Shimoyama, K. Kishio, and T. Hasegawa J. Low Temp. Phys. 117 (1999) 341-345.

"In-Plane Fourfold Symmetry of the Upper Critical Field Observed in  $\text{La}(\text{Sr})_{214}$  Single Crystals " Y. Koyama, T. Sasagawa, Y. Togawa, K. Otschi, J. Shimoyama, K. Kitazawa, and K. Kishio J. Low Temp. Phys. 117 (1999) 551-555.

"New Candidates for Superconductors; A Series of Layered Oxysulfides  $(\text{Cu}_2\text{S}_2)(\text{Sr}_{n+1}\text{M}_n\text{O}_{3n-1})$  " K. Otschi, H. Ogino, J. Shimoyama, and K. Kishio J. Low Temp. Phys. 117 (1999) 729-733.

"Synthesis and Superconducting Properties of Layered Ruthenocuprates " K. Otschi, T. Mizukami, T. Hinouchi, J. Shimoyama, and K. Kishio J. Low Temp. Phys. 117 (1999) 855-859.

"Origin of Anomalous Bump at Low Temperatures in the c-Axis Optical Conductivity of

High-Tc Cuprates" V. Zelezny, S. Tajima, T. Motohashi, J. Shimoyama, K. Kishio, and D. van der Marel J. Low Temp. Phys. 117 (1999) 1019-1023.

"Resistivity Anisotropy and Hall Coefficient of Pb-Doped Bi2212 Single Crystals " T. Yamada, T. Motohashi, H. Kobayashi, T. Fujita, J. Shimoyama, and K. Kishio J. Low Temp. Phys. 117 (1999) 1217-1221.

"c-axis Superfluid Response and Quasiparticle Conductivity in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$  and  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+x}$  " M.B. Gaifullin, Y. Matsuda, J. Shimoyama, K. Kishio, and R. Yoshizaki J. Low Temp. Phys. 117 (1999) 1229-1233.

"Vortex Phase Transition and Vortex State in  $(\text{La}_{0.954}\text{Sr}_{0.046})_2\text{CuO}_4$  Single Crystals " T. Sasagawa, Y. Togawa, J. Shimoyama, A. Kapitulnik, K. Kitazawa, and K. Kishio J. Low Temp. Phys. 117 (1999) 1399-1403.

"Growth and anisotropic resistivity of  $\text{PrBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$  and  $\text{Pr}_2\text{Ba}_4\text{Cu}_7\text{O}_{15-y}$  single crystals: A direct probe of metallic Cu-O double chains" S. Horii, U. Mizutani, H. Ikuta, Y. Yamada, J.H.Ye, A. Matsushita, N.E. Hussey, H. Takagi, and I. Hirabayashi Phys. Rev. B61 (2000) 6327-6333.

"Small angle electron diffraction and Foucault mode Lorentz microscopy of superconducting vortex lattice" T.Yoshida, J.Endo, H.Kasai, K.Harada, N.Osakabe, A.Tonomura and G.Pozzi \*J.of Appl.Phys. 85(1999)p1228-1230

"Josephson Coupling in the Vortex Liquid State of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+d}$  with Columnar Defects" M. Kosugi, Y. Matsuda, M.B. Gaifullin, L.N. Bulaevskii, N. Chikumoto, M. Konczykowski, J. Shimoyama, K. Kishio and K. Hirata \*Phys. Rev. B59 (1999) 8970-8977.

"Systematic Decrease of Resistivity Anisotropy in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$  by Pb Doping" T. Motohashi, Y. Nakayama, T. Fujita, K. Kitazawa, J. Shimoyama and K. Kishio \*Phys. Rev. B59 (1999) 14080-14086.

"非磁性液体を用いた勾配磁場センサ" 中川準・植竹宏往・廣田憲之・北澤宏一  
\*日本応用磁気学会誌 23,1443-1436 (1999)

"磁気アルキメデス浮上法による反・常磁性体の安定浮上" 池添泰弘・茂木邦雄・鈴木隆史・廣田憲之・植竹宏往・渋谷正徳・中川準・北澤宏一 \*日本応用磁気学会誌 23, 1557-1560 (1999)

"汎用超伝導磁石による非磁性物質の安定磁気浮上方法 浮上力増強のための磁場分布計算 " 中川 準・堀野内 信一・廣田 憲之・池添 泰弘・北澤 宏一  
\* (Trans.IEE of Japan,Vol.119-A,No.8/9,Aug./Sept. 1999)

"高磁気力小型マグネットの検討" 植竹宏往・廣田憲之・北澤宏一・三好一富\*日本応用磁気学会誌 23, 1601-1604 (1999)

北沢宏一 "高温超電導材料" \*工業材料 vol.47 No.1 (1999) 92~93  
北沢宏一 "高温超伝導：実験で何を解明したか、何が解明できていないのか" \*  
パリテイ :14(1999)39~47  
池添泰弘・廣田憲之・北沢宏一 "反・常磁性物質の磁気浮上 - 磁気アルキメデ  
ス浮上 - " \*固体物理 vol.34 No.3 1999 p.55-60  
北沢宏一 "高温超伝導の過去・現在・夢 - 臨界電流問題を中心に - " \*FSST  
NEWS No.72 p.8-19(1999)3月号  
高温超伝導の科学(分担執筆)第3章 執筆および編集 北沢宏一 裳華房 (1999)  
高温超伝導の科学(分担執筆)"6.4.1 結晶組織と超伝導特性" 岸尾 光二、pp.416-  
423、裳華房 (1999)  
高温超伝導体とエキゾチック超伝導体(分担執筆)[実験物理科学シリーズ3]  
"2.2.2 浮遊帯域法による結晶成長" 岸尾 光二、pp.115-125、共立出版(1999)  
応用物理用語大事典(<超伝導>責任編集委員)岸尾 光二、オーム社(1999)  
"最も高いTcを示す高温超伝導体" 岸尾光二 \*別冊化学「これはすごい！化学の  
世界記録集」, 化学同人 62-64(1999).  
"最も高いJcを示す高温超伝導体" 下山淳一 別冊化学「これはすごい！化学の  
世界記録集」, 化学同人 81-83(1999).  
外村 彰" 高温超伝導がここまで見える 動き回るミクロの磁束量子" \*科学  
69(1999)P429-434