

平成22年 5月18日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2005～2009

課題番号：17072003

研究課題名（和文） 実空間手法を用いた強磁場ナノ領域電子相の解明

研究課題名（英文） Studies of Nanoscale Electronic States by Real Space Imaging in High Magnetic Fields

研究代表者

小林 典男 (KOBAYASHI NORIO)

東北大学・金属材料研究所・教授

研究者番号：40111306

研究成果の概要（和文）：強磁場下において実空間上の局所的な物性を研究する手段として、走査トンネル顕微鏡（STM）、磁気光学イメージング、走査ホール素子顕微鏡、スピン偏極イメージングの手法を開発した。特に、初めてハイブリッドマグネットを使った27テスラの磁場中でSTM観察に成功した。また、超低ドリフトSTMの開発に成功した。これらのテクニックを利用して、新奇強相関物質や2次元電子系のナノマイクロ領域における電子・磁気的状態の研究をおこなった。

研究成果の概要（英文）：We have developed real space imaging techniques in high magnetic fields, such as scanning tunneling microscopy (STM), magneto-optical imaging, scanning Hall probe microscopy and electron spin polarization imaging. We have first succeeded in the STM operation up to 27 T in the hybrid magnet and in the highly-stable operation up to 11 T in the superconducting magnet. These techniques have been applied to investigate electronic and magnetic states in novel superconductors and magnetic materials and also electron density distribution in a 2D-electron system.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	22,600,000	0	22,600,000
2006年度	26,600,000	0	26,600,000
2007年度	19,900,000	0	19,900,000
2008年度	17,655,000	0	17,655,000
2009年度	6,900,000	0	6,900,000
総計	93,655,000	0	93,655,000

研究分野：低温・強磁場物性

科研費の分科・細目：物理学・物性II

キーワード：強磁場、実空間イメージング、走査トンネル顕微鏡、磁気光学効果、強相関物質、酸化物超伝導体、2次元電子系、電子スピン偏極

## 1. 研究開始当初の背景

強相関物質や微細構造を持った物質系では局所的な電子・スピン間の相関・ダイナミ

クスが重要な役割を果たしている。したがって、その相関の距離に応じた実空間上での物性研究は極めて重要である。そのため、局所

プローブを使った測定技術や微細加工技術が進められ、実空間でマイクロスケールから原子分解能をもった物理現象の研究が進んでいる。一方、超伝導体や磁性体などの多くの物質において電子やスピンの物性を研究する上で外部制御因子として磁場の効果は極めて重要である。しかし、これまで原子スケールの実空間観察手法と強磁場を結びつけた研究はほとんど行なわれていなかった。

## 2. 研究の目的

本研究はこれまで未踏領域であった強磁場中における実空間イメージングの手法を開発し、強磁場によって誘起される特徴的な電子・磁気・発光現象等に適用し、実空間上で原子スケールからマイクロスケールで起こる物理現象とそのメカニズムを実験・理論の連携により解明することを目的とした。

## 3. 研究の方法

遷移金属酸化物を中心とする強相関物質や低次元量子構造中の電子状態・磁気構造・スピン状態を、低温・強磁場下の STM/STS、磁気光学法、微細加工技術を利用した実空間手法を用いて観測し、局所電子状態の理解を進める。このために、(1) 東北大学に設置されているハイブリッドマグネットによる定常強磁場を利用して世界に類を見ない強磁場 STM 装置や超伝導マグネットによる超高精度 STM 装置の開発を行ない、強相関物質における新たな物性の発見を目指す。(2) 磁気光学法による局所磁場測定の高感度・高精度技術を開発し、新奇超伝導体・磁性体試料において微視的な磁気構造や物質の本質的不均一性と巨視的物性との関連を明らかにする。(3) 2次元量子構造中のキャリアの示す強磁場中での輸送現象とダイナミクスの解明を目指して、強磁場と空間・時間分解分光を組み合わせた実空間イメージングの手法を開拓する。

## 4. 主な研究成果

本研究では強磁場中における STM/STS や局所分光技術を開発し、これらの技術を、様々な立場から注目されている強相関物質や2次元電子系に適用し、実空間における空間・時間分解強磁場物性という新たな研究フィールドを開拓した。今後物性研究の手段の一つとして発展が期待される。

主なものとして下記の成果を得た。(1) 国内最強レベルの 30 T 定常強磁場中における走査トンネル顕微鏡(STM/STS)装置の開発。11 T 超低ドリフト STM 装置の開発。(2) これらの装置を用いた強相関超伝導体における電子状態の観察とその磁場効果に関する系統的研究。(3) 磁気光学法による強相関金属における種々の電子・磁気相転移の実

空間観察とその相転移機構の解明。(4) 9 T 磁場中における量子ホール2次元電子系の強磁場中スピン偏極イメージングに成功。さらに 30 T 定常強磁場用の可搬型測定システムを構築中。

これらの成果は、157 件の論文として報告され、また、国内外の学会等において 43 件の招待講演として選ばれ発表された。

### (1) 超強磁場 STM/STS システムの開発

・STM ヘッドを従来の半分以下に小型化することでノイズに強い超強磁場 STM システムを開発した。また、全てのパーツについて材質と加工法を検討した非磁性部品を用いた完全非磁性除振機構を設計・導入し、デュワーを含めた全ての STM インサートをマグネットの振動から遮断することによって、床面からの振動ノイズを大きく低減することができた。これによって、18 T-無冷媒超伝導マグネット中で HOPG の原子像、および 27 T のハイブリッドマグネット中で原子層ステップの観測に成功した。無冷媒超伝導マグネットおよびハイブリッドマグネット中の STM 観察は世界で初めての技術である。

(西寄、小林)

・非磁性・高熱伝導度・低熱膨張材料で構成した STM ユニットを開発し、11T までの強磁場、0.4 ~ 60 K までの温度範囲、 $10^{-10}$  Torr 以下の超高真空環境で 0.1 nm/day の超低ドリフト STM を実現した。(花栗)

### (2) 低温・強磁場 STM/STS による強相関超伝導体の電子状態の解明

・高温超伝導体  $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$  の準粒子干渉効果を発見し、磁場中での測定にも成功した。この実験は、波数空間における電子状態の磁場依存性を実験で捕らえた世界で初めての例である。逆に、波数空間における干渉パターンの磁場依存性から超伝導ギャップの対称性を知ることができることを示し、Fe(Se,Te)の超伝導が  $s_{\pm}$ 波対称性を持つことを明らかにした。(花栗)

・酸化物高温超伝導体  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$  の磁束芯で観測される電子状態の変調と準粒子干渉パターンの関連を調べ、両者ともフェルミ面の形状によって支配され互いに関連していることを明らかにした。(花栗)

・様々な磁気的不安定性をもつ強相関電子系  $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$  のメタ磁性転移に伴う局所状態密度変化を捉えることに成功した。(花栗)

・Pb 添加  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+d}$  に関して磁場中で実空間イメージングを行ない、磁場に依存するエネルギーギャップと依存しないギャップの2種類のギャップを観測した。それぞれは超伝導ギャップと擬ギャップとに相当すること、過剰ドープ領域では擬ギャップだけが存在する領域があることを明らかにした。

(小林、西寄)

・高磁場下での超伝導体を取り上げ、そこに

生成される量子渦の基礎物理的側面を解明した。特に、低温磁場中比熱と超伝導対称性との相関に関する理論構築、および超伝導体におけるパウリ常磁性効果の微視的理論の構築を行なった。これらの研究は NMR (2 班) や STM/STS の実験研究と相互協力のもとに行なわれた。(町田)

(3) 局所磁場測定による強磁性体および超伝導体の評価

・磁気光学イメージングおよび走査型ホール素子顕微鏡等の局所磁場測定法を用いて新奇強磁性体( $\text{YTiO}_3$ ,  $\text{Sr}_4\text{Ru}_3\text{O}_{10}$ )の局所物性の研究を行なった。 $\text{YTiO}_3$ では磁区のランダムな分布や磁壁のピンニングが、 $\text{Sr}_4\text{Ru}_3\text{O}_{10}$ ではメタ磁性転移にともなう相分離などの磁氣的不均一性が存在することを明らかにし、マクロな物性に与える効果について検討した。

(為ヶ井)

・新奇超伝導体  $\text{Ba}(\text{Fe}_{0.93}\text{Co}_{0.07})_2\text{As}_2$ ,  $\text{FeTe}_{0.61}\text{Se}_{0.39}$  の良質単結晶の成長に成功し、磁気光学イメージングによる臨界電流測定技術を確立し、重イオン照射による磁束ピン止め効果について明らかにした。(為ヶ井)

(4) 量子ホール 2 次元電子系における強磁場中スピン偏極イメージング

・9 T 磁場中においてポッケルス効果、光磁気 Kerr 効果を用いて 2 次元電子系の電位分布や電子スピン偏極について高感度・高分解能で空間分布をイメージングできるシステムを開発した。さらに可搬型システムを構築し、東北大学の 30 T ハイブリッドマグネット中での測定に拡張している。(音)

・これらの装置を用いて高易動度 GaAs/AlGaAs 量子井戸 2 次元電子系のスピン偏極度分布、電流分布、スピンドイナミクスなどの詳細を明らかにした。(音)

以上のように本研究では、近年強相関物質の電子状態の研究方法として長足の進歩を遂げた走査トンネル顕微鏡観測技術を、ハイブリッド級の強磁場下で行うことはじめ、様々な微小領域の電子・磁氣的状態の観測技術を強磁場と組み合わせることに成功し、強磁場下の空間分解手法という物性研究の新しいパラダイムを提案・実現した。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 198 件)

(1) 雑誌論文 (査読あり 計 157 件)

① Unconventional s-Wave Superconductivity in Fe(Se, Te): T. Hanaguri, S. Niitaka, K. Kuroki, H. Takagi, *Science* Vol.328 (2010) 474-476.

② Generic First-Order Orientation Transition of Vortex Lattice in Type II Superconductors: K. M. Suzuki, K. Inoue, P. Miranovic, M. Ichioka, K. Machida, *J. Phys. Soc. Jpn.* Vol.79 (2010) 013702(1-4).

③ Enhancement of Critical Current Densities in Co-Doped  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$  with Columnar Defects Introduced by Heavy-Ion Irradiation: Y. Nakajima, Y. Tsuchiya, T. Taen, T. Tamegai, S. Okayasu, M. Sasase, *Phys. Rev. B*, Vol.80 (2009) 012510, 1 - 4

④ Narrow Carrier Concentration Range of Superconductivity and Critical Point of Pseudogap Formation Temperature in Pb-Substituted  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+\delta}$ : K. Kudo, N. Okumura, Y. Miyoshi, T. Nishizaki, T. Sasaki, N. Kobayashi, *J. Phys. Soc. Jpn.*, Vol.78 (2009) 084722, 1 - 5

⑤ Low-Energy Electronic State of the Structural Modulation-Free  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+}$  Studied by the Scanning Tunneling Microscopy: K. Kudo, T. Nishizaki, N. Okumura, N. Kobayashi, *J. Phys. Chem. Solids.*, Vol.69 (2008), 3022 - 3026

⑥ Possible Superconductivity above 25 K in Single-Crystalline Co-Doped  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$ : Y. Nakajima, T. Taen, T. Tamegai, *J. Phys. Soc. Jpn.*, Vol.78 (2009) 023702, 1 - 4

⑦ Electron Spin Imaging in Quantum Hall Devices by Kerr Rotation Measurement: K. Oto, R. Inaba, T. Yamada, T. Yamazaki, K. Muro, Y. Hirayama, N. Kumada, H. Yamaguchi, *Int. J. Mod. Phys. B*, Vol.23 (2009), 2750 - 2754

⑧ Optically Induced Dynamic Nuclear Spin Polarization in Quantum Hall Regime Observed by a Time-Resolved Kerr Rotation: D. Fukuoka, T. Yamazaki, N. Tanaka, K. Oto, K. Muro, Y. Hirayama, N. Kumada, H. Yamaguchi, *Int. J. Mod. Phys. B*, Vol.23 (2009), 2755 - 2759

⑨ Coherence Factors in a High- $T_c$  Cuprate Probed by Quasi-Particle Scattering Off Vortices: T. Hanaguri, Y. Kohsaka, M. Ono, M. Maltseva, P. Coleman, I. Yamada, M. Azuma, M. Takano, K. Ohishi, T. Takagi, *Science*, Vol.323 (2009), 923 - 926

⑩ Spin Dynamics of Two-dimensional Electrons in a Quantum Hall System Probed by Time-resolved Kerr Rotation Spectroscopy: D. Fukuoka, T. Yamazaki, N. Tanaka, K. Oto, K. Muro, Y. Hirayama, N. Kumada, H. Yamaguchi, *Phys. Rev. B*, Vol.78 (2008) 041304(1 - 4)

⑪ Specific-Heat Evidence for Two-Gap Superconductivity in the Ternary-Iron Silicide  $\text{Lu}_2\text{Fe}_3\text{Si}_5$ : Y. Nakajima, T. Nakagawa, T. Tamegai, H. Harima, *Phys. Rev. Lett.*, Vol.100 (2008) 157001 (1-4).

⑫ Bulk and Local Magnetic Properties of

Iron-Based Oxypnictide Superconductor  $\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{F}_x$ : T. Tamegai, Y. Nakajima, Y. Tsuchiya, A. Iyo, K. Miyazawa, P. M. Shirage, H. Kito, H. Eisaki, J. Phys. Soc. Jpn. Suppl., Vol.77 (2008), 54 - 57

⑬ Magnetic Field Dependence of Low-temperature Specific Heat in  $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$ : K. Machida, M. Ichioka, Phys. Rev. B, Vol.77 (2008) 184515(1-7)

⑭ Quasiparticle Interference and Superconducting Gap in  $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ : T. Hanaguri, Y. Kohsaka, J. C. Davis, C. Lupien, I. Yamada, M. Azuma, M. Takano, K. Ohishi, M. Ono, H. Takagi, Nat. Phys., Vol.3 (2007), 865 - 871

⑮ Potential Imaging in Quantum Hall Device by Optical Fiber Based Pockels Measurement: M. Dohi, R. Yonamine, K. Oto, K. Muro, Int. J. Mod. Phys. B, Vol.21 (2007), 1414 - 1418

⑯ Scanning Tunneling Microscopy / Spectroscopy on Superconducting Diamond Films: T. Nishizaki, Y. Takano, M. Nagao, T. Takenouchi, H. Kawarada, N. Kobayashi, New Diamond Front. Carbon Technol., Vol.17 (2007), 21 - 31

⑰ Local Tunneling Spectroscopy across a Metamagnetic Critical Point in the Bilayer Ruthenate  $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ : K. Iwaya, S. Satow, T. Hanaguri, N. Shannon, Y. Yoshida, S. I. Ikeda, J. P. He, Y. Kaneko, Y. Tokura, T. Yamada, H. Takagi, Phys. Rev. Lett., Vol.99 (2007) 057208 (1 - 4)

⑱ Ubiquitous V-Shape Density of States in a Mixed State of Clean Limit Type II Superconductors: N. Nakai, P. Miranovic, M. Ichioka, H. F. Hess, K. Uchiyama, H. Nishimori, S. Kaneko, N. Nishida, K. Machida, Phys. Rev. Lett., Vol.97 (2006) 147001, 1 - 4

⑲ Scanning Tunneling Microscopy and Spectroscopy Studies of Superconducting Boron-doped Diamond Films: T. Nishizaki, Y. Takano, M. Nagao, T. Takenouchi, H. Kawarada, N. Kobayashi, Sci. Technol. Adv. Mater., Vol.7 (2006), S22 - S26

⑳ Topological Structure of a Vortex in the Fulde-Ferrell-Larkin-Ovchinnikov State: T. Mizushima, K. Machida, M. Ichioka, Phys. Rev. Lett., Vol.95 (2005) 117003 (1 - 4)

(2) プロシーディング (査読あり 計 41 件)

① Electronic inhomogeneity in Pb-substituted  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+d}$  studied by STM/STS measurements: K. Kudo, T. Nishizaki, N. Okamura, N. Kobayashi, J. Phys.: Conf. Series 150 (2009) 052133(1-4)

② Shrinkage of magnetic domains in

superconductor/ferromagnet bilayer: T. Tamegai, Y. Nakao, and Y. Nakajima, J. Phys.: Conf. Series 150 (2009) 052263 (1-4).

③ Time-resolved kerr rotation spectroscopy of spin dynamics in a quantum Hall system: D. Fukuoka, N. Tanaka, K. Oto, K. Muro, Y. Hirayama, N. Kumada, and H. Yamaguchi, AIP Conf. Proc. 1199 (2009) 243-244

④ Electronic Structure of Vortex in the FFLO Superconducting State: M. Ichioka, H. Adachi, T. Mizushima, and K. Machida, AIP Conference Proceedings 850 (2006) 725-728

⑤ Development of high-field STM and its application to the study on magnetically-tuned criticality in  $\text{Sr}_3\text{Ru}_2\text{O}_7$ , T. Hanaguri, J. Phys.: Conf. Ser. 51, (2006) 514-521.

[学会発表] (計 341 件 内招待講演 43 件)

(1) 国際会議招待講演 (計 34 件)

① Relationship between the Vortex 'Checkerboard' and the Quasi-Particle Interference in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ : T. Hanaguri, The 12th International Workshop on Vortex Matter in Superconductors, 9.12-9.16 (2009) Yamanashi, Japan

② Phase-Sensitive Quasi-Particle Interference Effects in High-Tc Superconductors: T. Hanaguri, 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity (M2S-IX), 9.7-9.12 (2009) Tokyo, Japan

③ Magnetic-Field Effects on the Quasi-Particle Interference in Cuprates: T. Hanaguri, The 2009 Gordon Research Conference on Superconductivity, 6.7-6.12 (2009) Hong Kong, China

④ Surface Structure and Superconducting Energy Gap of Boron Doped Diamond Films Probed by STM/STS: T. Nishizaki, Y. Takano, M. Nagao, T. Takenouchi, H. Kawarada, N. Kobayashi, International Workshop on Superconductivity in Diamond and Related Materials 2008 (IWSDRM 2008), 7.7-7.9 (2008) Tsukuba, Japan

⑤ Visualization of Vortices in Anisotropic and Nanostructured Superconductors: T. Tamegai, Y. Tsuchiya, H. Chiku, Y. Nakajima, ESF-NES Workshop "Probing Superconductivity at the Nanoscale, 6.4-6.7 (2008) Alicante, Spain

⑥ Singular and Non-singular Vortices and Their Excitation Spectra of Superfluid  $^3\text{He-A}$  Phase in Restricted Geometries: K. Machida, Y. Tsutsumi, T. Kawakami, T.

Mizushima, M. Ichioka, M. Takahashi, 25th International Conference on Low Temperature Physics (LT25), 8.6-8.13 (2008), Amsterdam, Netherlands

⑦ Quasi-particle Interference and Coherence Factors in  $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ : T. Hanaguri, ESF- NES Workshop "Probing Superconductivity at the Nanoscale, 6.4-6.7 (2008) Alicante, Spain

⑧ Superconducting and Magnetic Properties of Superconductor/Ferromagnet Hybrids: T. Tamegai, Y. Nakao, Y. Tsuchiya, Y. Nakajima, Nanostructured Superconductors: from Fundamentals to Applications, 9.14 (2008) Freudenstadt, Germany

⑨ Superconducting Gap and Coherence Effect of a High- $T_c$  Cuprate  $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$  Probed by Quasi-particle Interference: T. Hanaguri, The International Conference on Quantum Phenomena in Complex Matter of the series on Stripes and High  $T_c$  Superconductivity, 7.26-8.1 (2008) Erice, Italy

⑩ Quasi-Particle Interference, Superconducting Gap and Coherence Effect in a High- $T_c$  Superconductor  $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ : T. Hanaguri, 8th Korea-Japan-Taiwan Symposium on Strongly Correlated Electron Systems, 11.15-11.17 (2007) Incheon, Korea

⑪ Phase Diagram of Interlayer Josephson Vortices in Underdoped  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ : T. Nishizaki, Y. Takahashi, N. Kobayashi, Joint ESF and JSPS Conference on Vortex Matter in Nanostructured Superconductors (Vortex V), 9.8-9.14 (2007) Rhodes, Greece

⑫ d-wave Quasi-particle Interference and Fermi Arc in  $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ : T. Hanaguri, The 8th International Conference on Spectroscopies in Novel Superconductors, 8.20-8.24 (2007) Sendai, Japan

⑬ Superconducting Gap in a Cuprate Studied by the Quasi-particle Interference Effect: T. Hanaguri, NSFC-JSPS Joint Conference on Novel Quantum Phenomena in Strongly Correlated Electronic Systems, 6.25-6.29 (2007) Beijing, China

⑭ STM Studies of Electronic Order in the Underdoped Surface of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ : N. Kobayashi, T. Nishizaki, M. Maki, Sixth International Conference on New Theories, Discoveries and Applications of Superconductors and Related Materials

(New3SC-6), 1.9-1.11 (2007) Sydney, Australia

⑮ In-Plane Anisotropy of Vortex Motion and Electronic State of the  $\text{CuO}$  Chain in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ : T. Nishizaki, H. Fujita, N. Kobayashi, International Workshop on Mesoscopic Superconductivity and Magnetism (MesoSuperMag 2006), 8.28-9.1 (2006) Chicago, USA

⑯ Vortex Structure and Phase Diagram in untwinned  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  Single Crystals: T. Nishizaki, K. Shibata, N. Kobayashi, The 8th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity and High Temperature Superconductors (M2S-HTSC-VIII), 7.9-7.14 (2006) Dresden, Germany

⑰ Effect of the  $\text{CuO}$  Chain on Anisotropic Vortex Motion in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  Single Crystals: T. Nishizaki, The 11th International Workshop on Vortex Matter, 7.3-7.8 (2006) Polish Academy of Science, Wroclaw, Poland

⑱ Electronic Aspects of Vortices in Type II Superconductors: K. Machida, H. Adachi, M. Ichioka, P. Miranovic and N. Nakai, International Conference Vortex IV, 9.2-9.11 (2005) Crete, Greece

⑲ STM/STS Studies on Vortex and Electronic State in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ : T. Nishizaki, K. Shibata, M. Maki, N. Kobayashi, Forth International Conference on Vortex Matter in Nanostructured Superconductors (VORTEX IV), 9.3-9.9 (2005) Crete, Greece

(2) 国内会議招待講演 (計9件)

① 分光イメージングSTMで見た鉄系超伝導体のギャップ対称性: 花栗哲郎 日本物理学会第65回年次大会 3.20-3.23 (2010) 岡山大学, 岡山市

② 走査型Kerr顕微鏡によるGaAs量子井戸中のスピン偏極量子ホール電流の可視化: 音賢一 第14回半導体スピ工学の基礎と応用 PASPS - 14 半導体スピントロニクス of the 展開 12.21-12.22 (2009) 慶應義塾大学日吉キャンパス, 横浜市

③ 鉄系超伝導体の磁気特性の特徴: 為ヶ井強, 仲島康行, 土屋雄司, 田縁俊光 超伝導科学技術研究会第71回ワークショップ「鉄系高温超伝導誕生から1年、新超伝導物質の可能性を探る」 3.11 (2009) 東京大学, 文京区

④ Quasiparticle Interference and Coherence Effects of High- $T_c$  Superconductor: STM/STS as a Reciprocal-space Probe: 花栗哲郎 日本物理学会 2008 秋季大会 9.20 (2008) 岩手大学, 盛岡市

⑤ ボロンドープ超伝導ダイヤモンドのト

ンネル顕微分光、西寄照和、高野義彦、長尾雅則、竹之内智大、川原田洋、小林典男 第3回ボロンドープ超伝導ダイヤモンド研究会 7.29 (2006) 電気通信大学、調布市

(3) 国際会議一般講演 (計 95 件)

① Comprehensive Characterization of Super conductivity in Co-doped  $\text{BaFe}_2\text{As}_2$ : T. Tamegai, Y. Nakajima, T. Taen, APS March Meeting, 3.16-3.20 (2009) Pittsburgh, USA

② Quasi-particle Interference and Vortex "Checkerboard" in  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ : T. Hanaguri, Y. Kohsaka, T. Tamegai, H. Takagi, APS March Meeting, 3.16-3.20 (2009) Pittsburgh, USA

③ Development of High-Field STM for 18 T Cryocooled Superconducting Magnet: T. Nishizaki, N. Kobayashi, 25th International Conference on Low Temperature Physics (LT25), 8.6-8.13(2008) Amsterdam, Netherlands

④ Flux Line Lattice Form Factor and Paramagnetic Effects in Type II Superconductors: M. Ichioka, K. Machida, 25th International Conference on Low Temperature Physics (LT25), 8.6-8.13 (2008) Amsterdam, Netherlands

⑤ Optical Imaging of Quantum Hall Current in GaAs/AlGaAs Two Dimensional Electron System: K. Oto, R. Inaba, T. Yamada, T. Yamazaki, K. Muro, 29th Int. Conf. on the Physics of Semiconductors (ICPS 2008), 7.27 -8.1 (2008) Rio de Janeiro, Brazil

(4) 国内会議一般講演 (計 203 件)

① STM/STSによる非超伝導過剰ドープPb置換 $\text{Bi}_2\text{201}$ の局所電子状態観察、岡本大地、工藤一貴、西寄照和、三好良幸、小林典男、日本物理学会第65回年次大会 3.20-3.23 (2010)、岡山大学、岡山市

② 周期的微細構造を導入した $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$ の磁気光学イメージング、為ヶ井強、富永貴亮、仲島康行、大井修一、平田和人、日本物理学会第64回年次大会 3.27- 3.30 (2009) 立教大学、豊島区

③  $\text{PrFeAsO}_{0.7}$ のSTM/STS、花栗哲郎、日本物理学会第64回年次大会 3.30 (2009) 立教大学、豊島区

④ 電子スピン分極イメージングによる量子ホールデバイス中の電流分布測定、山田哲也、稲葉龍、最首祐樹、松田貴治、音賢二、室清文、平山祥郎、熊田倫雄、山口浩司、日本物理学会第64回年次大会 3.27-3.30 (2009) 立教大学、豊島区

⑤ 磁束状態の中性子散乱強度と常磁性効果、市岡優典、鈴木健太、町田一成、日本物理学会2008年秋季大会 9. 20-9. 23 (2008) 岩手大

学、盛岡市

[図書] (計 2 件)

① ボルテックスマター-の物理、胡曉、西寄照和、小林典男、超伝導ハンドブック / 福山秀敏、秋光純編、東京: 朝倉書店 2009, pp255-265.

② Vortex Matter Physics in  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  Single Crystals, T. Nishizaki, N. Kobayashi, "Studies of High Temperature Super-conductors", Nova Science Publishers 2005, pp1-47.

[その他]

(1) ホームページ等

<http://spin100.imr.tohoku.ac.jp>

(2) 受賞 (3 件)

銅酸化物系高温超伝導体における電子秩序の解明、花栗哲郎、第13回超伝導科学技術賞、2009.4.15

超伝導体単結晶における磁束線状態の研究、為ヶ井強、第12回超伝導科学技術賞、2008.4.15

強い電子相関を持つ銅系酸化物の電子・スピン状態の研究、第47回原田研究奨励賞、工藤一貴 (研究協力者)、2007.7.9

(3) 新聞報道等 (4 件)

① 「超電導の理論裏付け：理研など 電子構造を詳細分析」、日経産業新聞・日刊工業新聞、2010.4.23.

② 「東北大など新顕微鏡：世界最強磁場でナノサイズ観察」、日経産業新聞、2010.3.16

③ 「クーバー対の個性」、科学新聞、2009.2.6

④ 「高温超伝導状態での電子波」、科学新聞、2007.11.16

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 典男 (KOBAYASHI NORIO)

東北大学・金属材料研究所・教授

研究者番号：40111306

(2) 研究分担者

為ヶ井 強 (TAMEGAI TSUYOSHI)

東京大学・大学院工学系研究科・准教授

研究者番号：30183073

花栗 哲郎 (HANAGURI TETSUO)

独立行政法人理化学研究所・高木磁性研究室・専任研究員

研究者番号：40251326

町田 一成 (MACHIDA KAZUSIGE)

岡山大学・大学院自然科学研究科・教授

研究者番号：50025491

音 賢一 (OTO KENICHI)

千葉大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：30263198

西寄 照和 (NISHIZAKI TERUKAZU)

東北大学・金属材料研究所・助教

研究者番号：90261510