

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03732

研究課題名(和文) 実空間と時間の両領域で見る銅酸化物における擬ギャップ状態と高温超伝導の関わり

研究課題名(英文) Interplay between superconductivity and pseudogap state studied by STM/STS and time-resolved optical spectroscopy

研究代表者

小田 研(Oda, Migaku)

北海道大学・理学研究院・教授

研究者番号：70204211

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ビスマス系銅酸化物高温超伝導体の単結晶試料で走査トンネル顕微鏡/分光およびポンプ・プローブ時間分解分光を行い、本系の特徴である3種類の電子系変調(擬ギャップを担うアンタインード領域のd構造因子密度波とチェッカーボード変調、超伝導を担うフェルミアーク領域で起こる準粒子干渉変調)間の実空間相関および、擬ギャップ状態と超伝導の形成過程における時間相関を調べた。この研究により得られた結果を基に、チェッカーボード変調の起源がクーパー対密度波であることを示すとともに、擬ギャップを担う電子状態が高温超伝導の発現に関わっていることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

銅酸化物高温超伝導体は、その発見当初から従来の超伝導発現機構とは異なる新しいメカニズムの可能性が指摘され、学術的に大きな注目を集めてきた。また、エネルギー産業への応用の可能性など、社会的な意義も大きい。本研究では、高温超伝導がクーパー対密度波や擬ギャップを伴ったd構造因子密度波という新奇な密度波状態と実空間の同一領域で共存していることに加え、このような電子状態が高温超伝導の発現に関わっている可能性が示された。これらの研究成果は高温超伝導のメカニズムの解明に繋がるものであり、このことが本研究の学術的意義と言える。

研究成果の概要(英文)： In this study, we performed scanning tunneling microscopy/spectroscopy and pump-probe time-resolved optical spectroscopy on single crystals of bismuth-based high-temperature cuprate superconductors, and examined the real-space correlation among three types of electronic modulations (d form factor density wave and checkerboard modulation in the antinodal region, which is responsible for pseudogap, quasiparticle interference modulation in the Fermi-arc region, which is responsible for superconductivity), and the time-space correlation between pseudogap state and superconductivity in their formation process. On the basis of the results obtained in this study, we have suggested that the origin of checkerboard modulation will be the pair density wave, and clarified that the antinodal electronic states responsible for the pseudogap will be involved in the occurrence of high-temperature superconductivity.

研究分野：固体電子物性

キーワード：銅酸化物高温超伝導 STM/STS ポンププローブ時間分解分 擬ギャップ 電子系変調構造 反強磁性秩序

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

銅酸化物高温超伝導体における電子系の特徴はフェルミ面 (FS) の二分性であり、その電子状態は d 波超伝導ギャップ (d-SCG) のノード点を中心にアーク状に広がるフェルミアーク (FA) 領域とアンタインード (AN) 領域とで大きく異なる (図 1, 図 2(g))。AN 領域では、擬ギャップ (PG) と呼ばれるギャップ様構造が超伝導転移温度  $T_c$  より高温から発達し、FA 領域の d-SCG と共存することが知られている [1, 2]。このような PG 状態は、発見当初から高温超伝導の発現との関わりが注目され、ビスマス系銅酸化物高温超伝導体  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}$  (Bi2212) を中心に角度分解光電子分光や走査トンネル顕微鏡/分光 (STM/STS) 等によって精力的に研究されてきた。

Bi2212 における低温 ( $T \ll T_c$ ) STM/STS 実験では、3 種類の電子系変調が観測される。その内のひとつは、d-SCG と関係する準粒子干渉変調 (QPI) で、FA 領域の超伝導準粒子状態間の干渉により起こる分散性の変調構造である [3]。また、AN 領域の電子状態では、d 構造因子密度波 (dFF-DW) とチェッカーボード変調 (CB) と呼ばれる変調構造が形成される [3-9]。これらは共に分散性のないほぼ同じ波数ベクトル (周期  $\sim 4a$  ( $a$ : Cu-O 結合方向の格子定数)) で特徴づけられるが、特性エネルギーや内部構造において異なる。dFF-DW の特性エネルギーは PG のエネルギー・サイズ  $\Delta_{PG}$  程度であることから、この電子系変調は PG の起源として注目されている [6-8]。一方、CB の特性エネルギーはペアリング・ギャップ  $\Delta_0$  ( $\sim \Delta_{SG}$ : STS スペクトル (図 2(g)) におけるサブギャップ) と同程度であり [10]、最近の幾つかの研究ではクーパー対密度波 (PDW) の可能性が指摘されている [11, 12]。このような性質を持つ AN 領域の電子状態は銅酸化物高温超伝導体の大きな特徴であるが、その超伝導発現機構との関わりは未解明の興味深い問題となっていた。

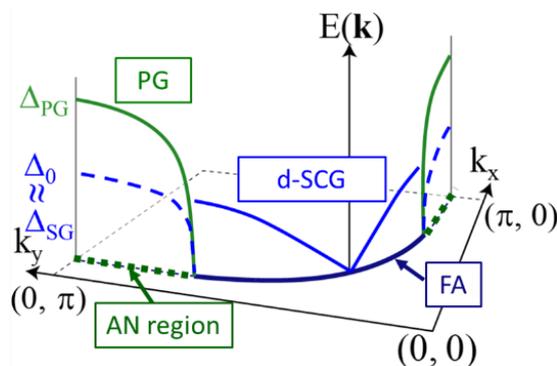


図1: 第1ブリルアンゾーンの1/4領域で描かれたフェルミ面とエネルギーギャップ (フェルミ面の二分性)

### 2. 研究の目的

本研究では、PG を担う AN 領域の電子状態が高温超伝導の発現に関わっているかを明らかにするため、Bi2212 等のビスマス系銅酸化物高温超伝導体の単結晶試料で STM/STS およびポンプ・プローブ時間分解分光 (PPTS) を行い、下記の 2 点について詳細に調べる。

- ① STM/STS : 3 種類の電子系変調 (PG を担う AN 領域の dFF-DW および CB、超伝導を担う FA 領域で起こる QPI の  $\mathbf{q}_1$  成分 ( $\mathbf{q}_1$ -QPI)) 間の実空間相関。
- ② PPTS : 高強度の光パルスの照射による PG 状態と超伝導相の局所的な破壊 (蒸発) 後の両者の回復過程 (形成過程) における時間相関。

### 3. 研究の方法

① STM/STS : QPI の 7 つの独立な波数成分のうち、 $\mathbf{q}_1$  成分 ( $\mathbf{q}_1$ -QPI) は dFF-DW と CB と同じ向きの波数ベクトルであり、その大きさが dFF-DW と CB の波数ベクトルの大きさとほぼ一致するエネルギー (STM/STS のバイアス電圧) において、 $\mathbf{q}_1$ -QPI の強度は最も大きくなる。また、このときの準粒子状態のエネルギーは CB の特性エネルギーに近い。本研究では、Bi2212 の不足ホール濃度 ( $p \sim 0.12$ ,  $T_c = 76$  K) の単結晶試料で低温 ( $T = 7$  K) における STM/STS 実験により得られた局所状態密度 (LDOS) 像の精密な解析から、それぞれの電子系変調の局所振幅と局所位相のマップを作成し、これらの比較により 3 種類の電子系変調間の実空間相関を調べた。

② PPTS : Bi2212 等の銅酸化物高温超伝導体における PPTS では、プローブ光のエネルギーや偏光方向の組み合わせにより、PG および d-SCG を超えて励起される準粒子の応答を分離・制御することが出来る。本研究では、最適ホール濃度の Bi2212 および Bi2201 において高強度超短パルス光の局所照射により PG 状態と超伝導相をコヒーレントに破壊し、その後の両者の回復過程に伴う応答を分離して詳細に調べ、この結果から PG 状態と超伝導相の形成過程における両者の時間相関を明らかにする。

かにした。

①と②の結果を基に総合的に考察することで、PGを担うAN領域の電子状態とFA領域での高温超伝導発現との関わりを検証した。

#### 4. 研究成果

AN領域とFA領域の電子状態をそれぞれ反映するCBと $q_1$ -QPIは、非常に近い特性エネルギーを持つため、LDOS像では重なって観測される。本研究の成果のひとつは、不足ホール濃度Bi2212においてCBと $q_1$ -QPIに対応するLDOS像を完全に分離して抽出することに成功し、両者の実空間における共存関係を明らかにしたことである。CBと $q_1$ -QPIのLDOS像を用いて両変調の局所振幅と局所位相の空間依存性を精密に解析した結果、以下の3点が明らかとなった[13]。i) 両変調の局所振幅と局所位相は共にトポロジカル欠陥として説明可能なナノメータ・スケールの空間的不均一を示す。ii)  $q_1$ -QPIはCBの局所振幅が大きくなる領域で強くなる傾向がある。iii) 両変調の局所振幅が大きくなる領域では、それらの局所位相がほぼ一致する。ii)とiii)の結果は、CBが $q_1$ -QPIを齎す準粒子の散乱源と成り得るものであり、PDWのような準粒子に対する

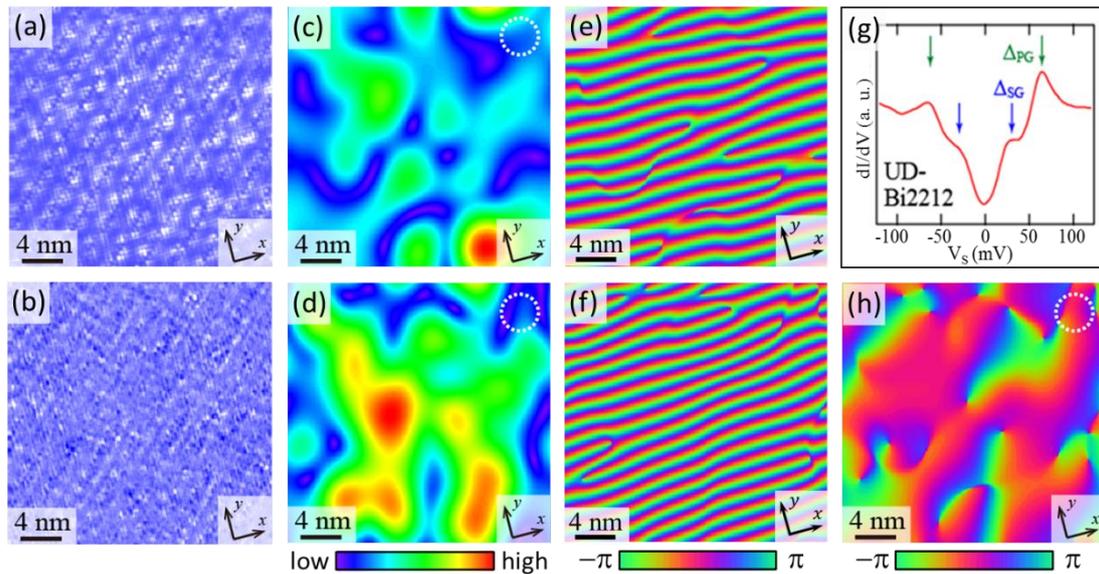


図2: Bi2212のSTM/STS実験の結果。(a)CBと(b)QPIに対応する変調構造(バイアス電圧 $V_s=20$  mV), (c)CBと(d) $q_1$ -QPIの局所振幅(強度)マップ( $V_s=30$  mV), (e)CBと(f) $q_1$ -QPIの局所位相マップ( $V_s=30$  mV), (g)LDOSに対応する局所トンネル伝導度 $dI/dV$ の $V_s$ 依存性(STSスペクトル), (h)CBと $q_1$ -QPI間の局所位相差(e-f)マップ

アンドレーエフ散乱ポテンシャルとして機能する電子系変調であることを示唆するものである。

本研究では、AN領域におけるPG状態と関係するdFF-DWとPDWと考えられるCBの共存関係についても調べ、これらも局所振幅と局所位相という点で強い実空間相関を示すことを明らかにした。この結果に加え、上で述べたCBとFAの準粒子状態を反映する $q_1$ -QPIとの強い実空間相関も考えると、PGを担うAN領域と超伝導を担うFA領域の電子状態は実空間において相互に関わっていることが示唆される。

Bi2212のPPTSでは、最適ホール濃度の単結晶試料において高強度超短パルス光の照射によるPG状態と超伝導相のコヒーレントクエンチに成功し、その後の両者の形成過程を時間分解で調べることができた[14]。その結果、超伝導の形成開始はPG状態と比べ数ピコ秒程度の遅延があり、この遅延時間はPG状態の形成が完了するまでの時間とほぼ一致し、両者の形成過程に明確な時間相関のあることが分かった。また、Bi2201のPPTSによる研究では、LaあるいはEuを10%オーダで添加することによりPGの発達の程度を制御したLa-Bi2201とEu-Bi2201において、PG状態と超伝導相のコヒーレントクエンチ実験を行った。この研究から、両者の形成過程に明確な時間相関があることはPG状態の発達の程度に依らない普遍的な性質であり、すなわち、FA領域の超伝導はAN領域のPG状態と時間空間においても共存して起こることが示された。

以上で述べたように、Bi2212単結晶試料におけるSTM/STSにより得られた電子系変調の実空間情報からPGを担う電子状態と超伝導を担う電子状態とが相互に関わっている可能性が示されると共に、Bi2212およびBi2201におけるPPTSによりPG状態と超伝導の形成過程に明確な時間相関のあることが明らかとなった。このような本研究で得られた結果は、PGを担うAN領

域の電子状態が FA 領域で起こる高温超伝導に深く関わっていることを示すものである。

<引用文献>

1. M. Oda *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **69**, 983 (2000)
2. R. M. Distaso *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **71**, 1535 (2002).
3. N. Momono *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **74**, 2400 (2005).
4. C. V. Parker *et al.*, Nature **468**, 677 (2010).
5. K. Fujita *et al.*, Science **344**, 612 (2014).
6. Y. Kohsaka *et al.*, Nature **454**, 1072 (2008).
7. T. Machida *et al.*, Nature Commun. **7**, 11747 (2016).
8. A. Meszaros *et al.*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **113**, 11661 (2016).
9. R. Comin *et al.*, Annu. Rev. Condens. Matter Phys. **7**, 369 (2016).
10. T. Kurosawa *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **85**, 0447091 (2016).
11. M. H. Hamidian *et al.*, Nature **532**, 343 (2016).
12. W. Ruan *et al.*, Nat. Phys. **14**, 1178 (2018).
13. S. Mizuta *et al.*, Phys. Rev. B **102**, 184513 (2020).
14. Y. Toda *et al.*, Phys. Rev. B **104**, 0945071 (2021).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 23件/うち国際共著 18件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Toda Y., Tsuchiya S., Oda M., Kurosawa T., Katsumata S., Naseska M., Mertelj T., Mihailovic D.	4. 巻 104
2. 論文標題 Ultrafast transient reflectivity measurements of optimally doped $\text{Bi}_{2+x}\text{Sr}_{2-x}\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ with disorder	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 0945071~9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.104.094507	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Girod C., LeBoeuf D., Demuer A., Seyfarth G., Imajo S., Kindo K., Kohama Y., Lizaire M., Legros A., Gourgout A., Takagi H., Kurosawa T., Oda M., Momono N., Chang J., Ono S., Zheng G.-q., Marcenat C., Taillefer L., Klein T.	4. 巻 103
2. 論文標題 Normal state specific heat in the cuprate superconductors $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ and $\text{Bi}_{2+y}\text{Sr}_{2-x-y}\text{La}_x\text{CuO}_6+\delta$ near the critical point of the pseudogap phase	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 2145061~8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.214506	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Miao H., Fabbris G., Koch R. J., Mazzone D. G., Nelson C. S., Acevedo-Esteves R., Gu G. D., Li Y., Yilimaz T., Kaznatcheev K., Vescovo E., Oda M., Kurosawa T., Momono N., Assefa T., Robinson I. K., Bozin E. S., Tranquada J. M., Johnson P. D., Dean M. P. M.	4. 巻 6
2. 論文標題 Charge density waves in cuprate superconductors beyond the critical doping	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 npj Quantum Materials	6. 最初と最後の頁 311~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41535-021-00327-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Mizuta Shusei, Oda Migaku, Momono Naoki, Yoshida Hiroyuki K., Ido Masayuki	4. 巻 102
2. 論文標題 Coexistence of checkerboard and quasiparticle interference modulations in $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ studied by scanning tunneling microscopy/spectroscopy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 184513-1~8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.184513	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Frachet Mehdi, Vinograd Igor, Zhou Rui, Benhabib Siham, Wu Shangfei, Mayaffre Hadrien, Krmer Steffen, Ramakrishna Sanath K., Reyes Arneil P., Debray Jrme, Kurosawa Tohru, Momono Naoki, Oda Migaku, Komiya Seiki, Ono Shimpei, Horio Masafumi, Chang Johan, Proust Cyril, LeBoeuf David, Julien Marc-Henri	4. 巻 16
2. 論文標題 Hidden magnetism at the pseudogap critical point of a cuprate superconductor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Physics	6. 最初と最後の頁 1064 ~ 1068
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41567-020-0950-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Lin J. Q., Miao H., Mazzone D. G., Gu G. D., Nag A., Walters A. C., Garca-Fernndez M., Marbour A., Pellicciari J., Jarrige I., Oda M., Kurosawa K., Momono N., Zhou Ke-Jin, Bisogni V., Liu X., Dean M. P. M.	4. 巻 124
2. 論文標題 Strongly Correlated Charge Density Wave in La <sub>2-x</sub> Sr <sub>x</sub> CuO <sub>4</sub> Evidenced by Doping-Dependent Phonon Anomaly	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 207005-1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.124.207005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wang Qisi, Horio M., von Arx K., Shen Y., John Mukkattukavil D., Sassa Y., Ivashko O., Matt C. E., Pyon S., Takayama T., Takagi H., Kurosawa T., Momono N., Oda M., Chang J., 他12名	4. 巻 124
2. 論文標題 High-Temperature Charge-Stripe Correlations in La <sub>1.675</sub> Eu <sub>0.2</sub> Sr <sub>0.125</sub> CuO <sub>4</sub>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 187002-1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.124.187002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Simutis Gediminas, Kuspert Julia, Wang Qisi, Choi Jaewon, Bucher Damian, Boehm Martin, Bourdarot Frederic, Bertelsen Mads, Wang Chennan N., Kurosawa Tohru, Momono Naoki, Oda Migaku, Mansson Martin, Sassa Yasmine, Janoschek Marc, Christensen Niels B., Chang Johan, Mazzone Daniel G.	4. 巻 5
2. 論文標題 Single-domain stripe order in a high-temperature superconductor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications Physics	6. 最初と最後の頁 01061 ~ 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42005-022-01061-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kuspert J., Cohn Wagner R., Lin C., von Arx K., Wang Q., Kramer K., Pudenko W. R., Plumb N. C., Matt C. E., Fatuzzo C. G., Sutter D., Sassa Y., Yan J.-Q., Zhou J.-S., Goodenough J. B., Pyon S., Takayama T., Takagi H., Kurosawa T., Momono N., Oda M., Hoesch M., Cacho C., Kim T. K., Horio M., Chang J.	4. 巻 4
2. 論文標題 Pseudogap suppression by competition with superconductivity in La-based cuprates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Research	6. 最初と最後の頁 043015 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevResearch.4.043015	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Vinograd I., Zhou R., Mayaffre H., Kramer S., Ramakrishna S. K., Reyes A. P., Kurosawa T., Momono N., Oda M., Komiya S., Ono S., Horio M., Chang J., Julien M.-H.	4. 巻 106
2. 論文標題 Competition between spin ordering and superconductivity near the pseudogap boundary in La <sub>2-x</sub> Sr <sub>x</sub> CuO <sub>4</sub> : Insights from NMR	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 054522 ~ 20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.106.054522	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Campbell D. J., Frachet M., Benhabib S., Gilmutdinov I., Proust C., Kurosawa T., Momono N., Oda M., Horio M., Kramer K., Chang J., Ichioka M., LeBoeuf D.	4. 巻 129
2. 論文標題 Evidence for a Square-Square Vortex Lattice Transition in a High-T <sub>c</sub> Cuprate Superconductor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 067001 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.129.067001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Frison R., Kuspert J., Wang Qisi, Ivashko O., Zimmermann M. v., Meven M., Bucher D., Larsen J., Niedermayer Ch., Janoschek M., Kurosawa T., Momono N., Oda M., Christensen N. B., Chang J.	4. 巻 105
2. 論文標題 Crystal symmetry of stripe-ordered La <sub>1.88</sub> Sr <sub>0.12</sub> CuO <sub>4</sub>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 224113 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.224113	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Choi J., Wang Q., Joehr S., Christensen N. B., Kuspert J., Bucher D., Biscette D., Fischer M. H., Hucker M., Kurosawa T., Momono N., Oda M., Ivashko O., Zimmermann M. v., Janoschek M., Chang J.	4. 巻 128
2. 論文標題 Unveiling Unequivocal Charge Stripe Order in a Prototypical Cuprate Superconductor	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 207002 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.128.207002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Wang Qisi, von Arx K., Mazzone D. G., Mustafi S., Horio M., Kuspert J., Choi J., Bucher D., Wo H., Zhao J., Zhang W., Asmara T. C., Sassa Y., Mansson M., Christensen N. B., Janoschek M., Kurosawa T., Momono N., Oda M., Fischer M. H., Schmitt T., Chang J.	4. 巻 13
2. 論文標題 Uniaxial pressure induced stripe order rotation in La <sub>1.88</sub> Sr <sub>0.12</sub> CuO <sub>4</sub>	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1795 ~ 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-29465-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Toda Yasunori, Tsuchiya Satoshi, Yamane Keisaku, Morita Ryuji, Oda Migaku, Kurosawa Tohru, Mertelj Tomaz, Mihailovic Dragan	4. 巻 31
2. 論文標題 Optical vortex induced spatio-temporally modulated superconductivity in a high-T <sub>c</sub> cuprate	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 17537 ~ 17537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.487041	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計11件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 井原慶彦, 衣川裕也, 小田研
2. 発表標題 La <sup>+</sup> -NQR測定による過剰酸素La <sub>2</sub> CuO <sub>4+y</sub> において実現する超伝導 反強磁性共存状態の微視的研究
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小田 研, 水田 崇聖, 黒澤 徹, 吉田 紘行, 伊土 政幸, 桃野 直樹, 戸田 泰則
2. 発表標題 銅酸化物高温超伝導体におけるチェッカーボード変調と準粒子干渉との実空間相関
3. 学会等名 つくば-柏-本郷 超伝導かけはしプロジェクト・ワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Mizuta, T. Kurosawa, N. Momono, H. Yoshida, M. Oda and M. Ido
2. 発表標題 Coexistence of electronic superstructures in high-Tc cuprate Bi <sub>2</sub> Sr <sub>2</sub> CaCu <sub>2</sub> O <sub>8+x</sub> studied by STM/STS
3. 学会等名 SNS (spectroscopies in Novel Superconductors) 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Mizuta, T. Kurosawa, N. Momono, H. Yoshida, M. Oda and M. Ido
2. 発表標題 STM/STS Study on Coexistence of Electronic Superstructures in Cuprate Superconductor Bi <sub>2</sub> Sr <sub>2</sub> CaCu <sub>2</sub> O <sub>8+x</sub>
3. 学会等名 5th ISCPMS (International Symposium on Current Progress in Mathematics and Sciences) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小田 研, 水田 崇聖, 黒澤 徹, 吉田 紘行, 伊土 政幸, 桃野 直樹, 戸田 泰則
2. 発表標題 銅酸化物高温超伝導体Bi <sub>2</sub> 212の超伝導ギャップと一次元超格子との相関
3. 学会等名 つくば-柏-本郷 超伝導かけはしプロジェクト・ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Oda, S. Mizuta, T. Kurosawa, H. Yoshida, M. Ido, N. Momono and Y. Toda
2. 発表標題 STM/STS imaging of electronic superstructures in high-Tc cuprate Bi2212
3. 学会等名 Superstripes 2019 International Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Oda, S. Mizuta, T. Kurosawa, H. Yoshida, M. Ido, N. Momono and Y. Toda
2. 発表標題 STM imaging of electronic superstructures in high-Tc cuprate Bi2Sr2CaCu2O8+d
3. 学会等名 ECSN2019 International Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水田 崇聖, 黒澤 徹, 吉田 紘行, 小田 研, 伊土 政幸, 桃野 直樹
2. 発表標題 STM/STSからみたBi2212の電子系変調構造とエネルギーギャップ
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Miyakoshi, M. Iwamatsu, K. Tachi, Y. Kinugawa, S. Mizuta, Y. Ihara, H. Yoshida, Y. Toda, T. Kurosawa, N. Momono, and M. Oda
2. 発表標題 Effects of magnetic order on electronic conduction in high-Tc cuprate La2CuO4+d
3. 学会等名 International workshop on Microscopic Properties of Quantum Materials (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮腰宏太, 城剛希, 岩松柁希, 衣川裕也, 水田崇聖, 井原慶彦, 吉田紘行, 戸田泰則, 黒澤徹, 桃野直樹, 小田研
2. 発表標題 少量の過剰酸素が添加されたLa系銅酸化物の電気伝導と磁気秩序の関わり
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩松柁希, 宮腰宏太, 城剛希, 衣川裕也, 水田崇聖, 井原慶彦, 吉田紘行, 戸田泰則, 黒澤徹, 桃野直樹, 小田研
2. 発表標題 少量の過剰酸素が添加された La 系銅酸化物の磁場中における 超伝導および超伝導揺らぎ
3. 学会等名 日本物理学会2023年春季大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	戸田 泰則  (Toda Yasunori)  (00313106)	北海道大学・工学研究院・教授   (10101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
スロベニア	Jozef Stefan Inst			
フランス	Univ Grenoble Alpes	European Synchrotron Radiat Facil		
スイス	University at Zurich	Paul Scherrer Institute	EPFL	