

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26247057

研究課題名(和文) 軌道純化に基づく高温超伝導体の圧力・非平衡制御と転移温度増強の理論・実験的研究

研究課題名(英文) Theoretical and experimental study of pressure and nonequilibrium control and enhancement of  $T_c$  based on the orbital distillation

研究代表者

青木 秀夫 (Aoki, Hideo)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・招聘研究員

研究者番号：50114351

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,400,000円

研究成果の概要(和文)：高温超伝導を再攻略し、(1)軌道純化理論を二層系等に拡張し、(2)銅酸化物の $T_c$ のドーム構造を理論的に再現し、(3)隠れた梯子をもつMo系等を提案し、永崎グループで合成を開始、広いバンドと狭いバンドの共存が超伝導に有利なことも理論的に示し、(4)銅酸化物と同構造のイリジウム化合物の探索領域を拡大した。非平衡に対しては、(5)強いレーザー光で超伝導体を励起したときの物理を実験と理論の緊密な連携により確立し、ヒッグスモードが超伝導の良いプローブになり、(6)光との非線形相互作用のために強い第三高調波が発生することを、s波超伝導体NbN、銅酸化物高温超伝導体に対して発見し、理論解析も確立した。

研究成果の概要(英文)：High- $T_c$  superconductivity is re-visited, and (1)the orbital distillation theory (stronger single-band character enhances  $T_c$ ) is extended to bilayers etc, (2)the  $T_c$  dome in the cuprates is theoretically explained, (3)new materials such as a "hidden-ladder" Mo compound are theoretically proposed and experimentally being fabricated, (4)the Ir compound, isostructural with the cuprates, is explored over a wider range. In non-equilibrium, (5)physics of superconductors when excited by intensive laser is worked out in an intimate collaboration between experimental and theoretical groups, where the Higgs mode is shown to be a good probe of superconductors. (6)There, intense third-harmonic generation is found to emerge due to a nonlinear coupling between the Higgs mode and laser. These have been observed in an s-wave superconductor NbN, then in a high- $T_c$  cuprate, for which theoretical analysis is established.

研究分野：物性物理学

キーワード：超伝導材料・素子

1. 研究開始当初の背景

銅酸化物高温超伝導体の超伝導転移温度  $T_c$  はこの約 20 年間上昇しておらず、 $T_c$  を増大させることは、応用上急務であることは言うまでもないが、基礎物理的にも、これを正攻法でアタックすることは極めて重要とおもわれる。電子相関を起源とする超伝導は、銅酸化物におけるように相図上で超伝導に隣接する反強磁性の相関がペアリングに重要な役割を果たしている可能性が高い。しかし、電子が元来持つ高いエネルギー・スケールに比べて  $T_c$  は二桁も落ちており、**機構解明や物質設計や加圧、非平衡化**などにより、 $T_c$  上昇を探ることは重要とおもわれる。

2. 研究の目的

高温超伝導銅酸化物を、鉄系超伝導などで培われた現在の視点から再攻略し、銅酸化物の  $T_c$  増強、及び、非銅系類似物質における超伝導誘起を目指した。第一の柱は、黒木・青木らの最近の研究により、単一軌道系と見られることが多い銅酸化物には実は多軌道性が潜んでおり、単一軌道性を高める、すなわち「**軌道純化**」すれば  $T_c$  上昇が期待されるという観点から、理論的な指針に基づいた元素置換や物質設計を行い、圧力印加の効果も調べる。第二の柱は、超伝導体の新たなプローブとして、強い外場（**レーザー光**）を照射したときの集団励起（ヒッグス）モードを実験的・理論的に探索することにより、非従来型超伝導の解明や非平衡誘起超伝導の可能性を探る。このような、**平衡+非平衡の二本の柱**を連携させ、**理論家（超伝導設計・非平衡）と実験家（物質合成・加圧・非平衡）**を合体させた研究組織において追及する。

3. 研究の方法

理論的方法は、先ず**多軌道性と  $T_c$  の相関**とそのメカニズムを、より一般的に示すことである。平衡状態の実験に関しては、永崎、秋光が担当し、(1)高圧合成法をはじめとする方法で、理論予測された物質を実際に合成すると同時に、(2)高圧下における輸送現象・構造解析も含めて  $T_c$  増強を試みる。第二の柱である非平衡については、一つ目は、レーザーにより**超伝導体の集団励起**を超伝導体のプローブに用いる。実際、島野（分担者）、松永（連携）のグループは低温超伝導体（電荷秩序が共存しない）においてヒッグスモードの観測に世界初で成功した。理論的にはこのモードが、非従来型の高温超伝導や多軌道超伝導でどうなるかを調べる。二つ目は、強いレーザー光励起により**動的制御**、臨界温度の増強の可能性を探る。

4. 研究成果

【青木グループ】

(方法論 1) 強相関系に対する DMFT+FLEX 法の提案 [1]: 銅酸化物高温超伝導体の相図では、電子の band filling に対して  $T_c$  が dome

状になるが、満足行く説明はあまりなかった。青木のグループは、揺らぎ交換 (FLEX) 近似 (反強磁性スピン揺らぎに媒介されるペアリング相互作用を記述できるが、Mott 絶縁相を記述できない) と、動的平均場理論 (DMFT) (Mott 絶縁相を記述できる) を組み合わせた “DMFT+FLEX 法” を新たに提案し、これを 2 次元 Hubbard 模型に適用した結果、 $T_c$  dome を得ることに成功した。

(方法論 2) **ダイナミカル・バーテックス近似** (D A):

高温超伝導の  $T_c$  が電子のエネルギーから二桁も落ちている理由の探索は必須である。Held (ウィーン工科大学) のグループが dynamical vertex 近似 (D A) 法を常伝導相に対して開発しているが、青木は Held のグループと共同で、これを超伝導相に拡張した。重要な点は、**バーテックス補正**を入れると、通常は「ボソン交換」によるペアリング相互作用しか考えられていないのに対して、これを超えた枠組みになっており、実際、ペアリング相互作用に強い振動数依存性が生じる等、**ボソン交換枠外**の効果が見られた。

(新奇状態 1) 強相関格子系における

**Pomeranchuk 不安定性**と超伝導 [2]: 正方格子上の Hubbard 模型では、4 回対称のフェルミ面が多体効果のために自発的に低対称化する Pomeranchuk 歪みが可能であるが、超伝導への影響は不明だった。青木のグループは DMFT+FLEX 法を用いてこれを調べ、歪みの元では超伝導のペアリングが d 波から d+(extended) s 波になり、歪みが  $T_c$  を上昇させる場合もあることを見いだした。

(新奇状態 2) **平坦バンド超伝導** [3]:

厳密な強磁性を示すことで知られる平坦バンド系は、最近では超伝導やトポロジカル系の観点からも重要性が認識されつつある。特に電子間斥力のために、**バンド間ペア散乱**が、スピン揺らぎに媒介された高温超伝導を誘発する可能性が黒木のグループにより指摘されていた。青木のグループは、平坦バンドをもつ最も簡単な擬 1 次元模型の一つであるダイヤモンド鎖上の斥力 Hubbard 模型に対して、厳密対角化と密度行列繰り込み群 (DMRG) を用いて物性を調べた。結果 下図 は、フェ

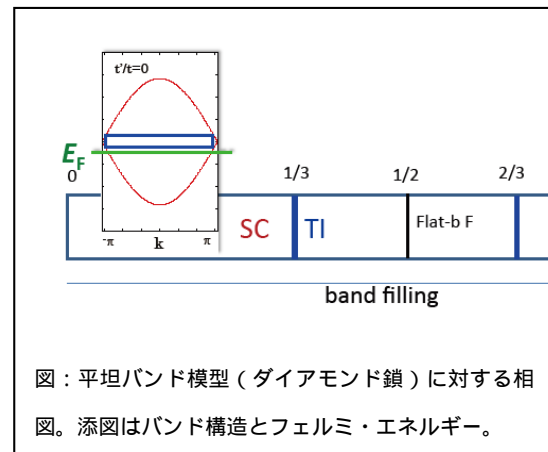


図: 平坦バンド模型 (ダイヤモンド鎖) に対する相図。添図はバンド構造とフェルミ・エネルギー。

ルミ・エネルギーが平坦バンドに近い状況でペア相関が発達することを見出した。特に、この超伝導相の隣では**トポロジカル絶縁体**となっており、平坦バンド超伝導は「トポロジカル相に隣接した超伝導相」となっている。

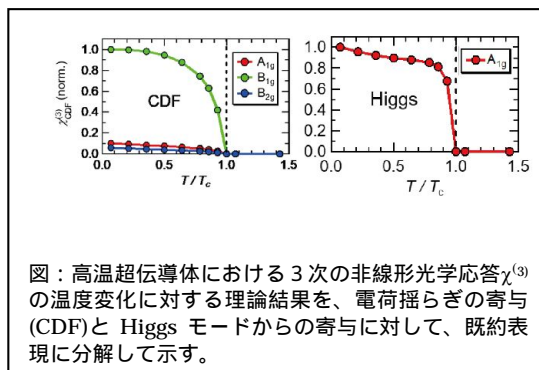
(非平衡 1) **超伝導体におけるヒッグスモード**：このテーマは本基盤研究 A のハイライトとなる業績である。超伝導体は、秩序パラメーターの振幅(超流動密度)の集団的振動モードである Higgs モードをもつが、このモードは電荷などをもたず、線形応答の範囲では電磁場と結合しない。青木のグループは、非線形応答ではヒッグスと電磁場が結合し、周波数 $\Omega$ の光を照射すると、ヒッグスモードの固有周波数  $2\Delta$  が  $2\Omega$  と一致するとき、秩序パラメーターの振動振幅および**三次高調波 (THG) が共鳴的に増大**することを示した。このヒッグスモード共鳴は、島野のグループによるテラヘルツ光の実験により観測された。その後、THG 応答には準粒子励起(電荷密度揺らぎ)も寄与し、BCS 近似の範囲内ではこれが大きいことがイタリアのグループから指摘された。青木のグループは、**BCS を超えた DMFT** でこれを調べ、フォノン媒介相互作用の**遅延効果**を明らかにした[4]。特に、THG へのヒッグスモードの寄与は準粒子励起の寄与と同程度になり得ることが示された。

(非平衡 2) さらに、青木の理論グループは島野の実験グループと共同で、THG 共鳴へのヒッグスモードと密度揺らぎの寄与の各々が、**レーザーの偏光方向と結晶軸のなす角度**にどの様に依存するかを明らかにした[14]。島野の実験で使われた超伝導体 NbN に対し角度依存性を理論的に求めたところ、ヒッグスの寄与は角度に依存しないのに対し、密度揺らぎは大きな依存性を示す。THG の実験結果は殆ど偏光角度依存性をもたず、ヒッグスの寄与が支配的であることが結論された。

(非平衡 3) **高温超伝導体におけるヒッグスモード共鳴**[13]：次の喫緊の興味はヒッグスモードが、d 波ペアリングをもつ高温超伝導体においてどうなるかであり、本基盤研究の目標でもあった。青木の理論グループは、異方的(d 波)超伝導に対して、結晶の正方対称性の既約表現に分解して解析した。島野の実験グループは Bi 系銅酸化物に対してポンプ光、プローブ光の偏光を回転させてこの分解を観測し、結果  $A_{1g}$  既約表現成分が大きく、これは理論的にヒッグスモードの寄与が支配的であることを示す(下図)。この研究はパリ大学との共同研究であり、Phys. Rev. Lett. の Editor's suggestion に選ばれた。

(非平衡 4) **2 バンド超伝導体における集団励起**[5]：青木と島野のグループは、2 バンド超伝導体における Higgs および Leggett 位相モード、ならびに光との共鳴を理論的に調べ、

MgB<sub>2</sub> での観測可能性について議論した。

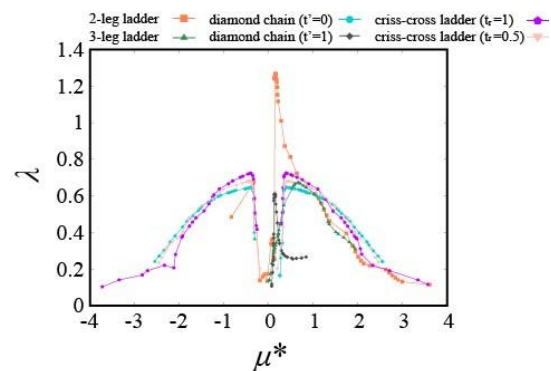


図：高温超伝導体における 3 次の非線形光学応答 $\chi^{(3)}$ の温度変化に対する理論結果を、電荷揺らぎの寄与(CDF)と Higgs モードからの寄与に対して、既約表現に分解して示す。

### 【黒木グループ】

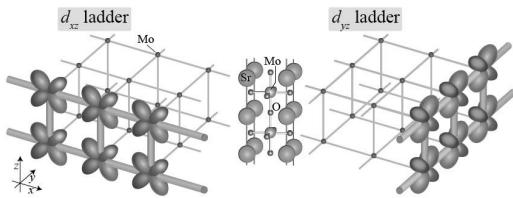
(1) 銅酸化物において、メインの  $dx^2-y^2$  軌道以外の軌道のフェルミ面における混成が弱い物質ほど  $T_c$  が高くなるという**軌道純化理論**を二層系に拡張し、その普遍性を示した。二層系まで含めて、 $T_c$  の指標をフェルミ面の湾曲度合いに対してプロットし、実験結果を説明することに成功した[6]。

(2) 単一軌道成分系において超伝導が著しく増強される系として、**ワイドバンドとナローバンド**が共存する多バンド系における超伝導の研究を推進した。2 本鎖、3 本鎖梯子、ダイヤモンド鎖などのハバード模型に対して FLEX を適用して、ナローバンドの近傍にフェルミ準位があるときに一般的に超伝導が増強されることを示した(下図) [9]



図：フラットバンドを有する種々の擬一次元格子上的ハバード模型に対して、エリアシュベルグ方程式の固有値を、化学ポテンシャルの関数としてプロット。化学ポテンシャル=0 がフラットバンドのエネルギー位置を表す。

(3) ワイドバンド・ナローバンド共存を実現でき得る物質として梯子型同酸化物があるが、ナローバンド近傍にフェルミ準位を位置させるためには多量の電子ドーピングが必要となり、現実には難しい。そこで、他の物質を青木と共に理論的に探索し、二層系 Ruddlesden-Popper 化合物では電子の d 軌道の異方性のため**隠れた梯子構造**をもつことを見出した[8](下図)。

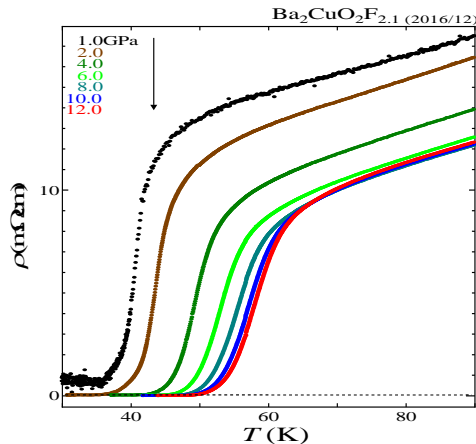


図：二層系 Ruddlesden-Popper 化合物中における  $d_{xz}$ ,  $d_{yz}$  軌道のそれぞれが、2本鎖梯子型の電子状態を持つことを表す概念図。

### 【永崎グループ】

(1)  $d^7$  基底状態を有する2次元層状酸化物  $(\text{Ln}, \text{Ca})_2\text{NiO}_4$  (Ln: 希土類元素) の合成および正孔のドーピングに成功した。

(2) **頂点フッ素**を配置した銅酸化物高温超伝導体  $\text{Ba}_2\text{CuO}_2\text{F}_{2+\delta}$  を発見し、従来の銅酸化物超伝導体より格段に大きな圧力効果を有することを見いだした(下図)。



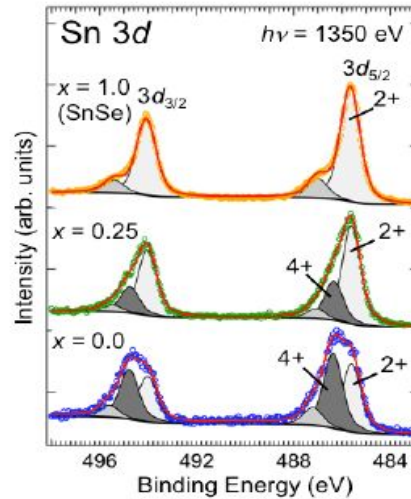
(3) さらに、高压合成法を用い、層状  $\text{Sr}_3\text{Mo}_2\text{O}_7$  の合成を行った。得られた試料は全て酸素欠損を含んでおり、そのために青木、黒木の理論グループにより予言された超伝導が実現していないと考えられる。

### 【秋光グループ】

(1) 単結晶育成に成功した**イリジウム酸化物**  $\text{Sr}_{2-x}\text{La}_x\text{IrO}_4$  ( $x=0, 0.04, 0.08$ ) において、銅酸化物超伝導体と類似したハバードギャップ内状態(in-gap state)が成長することを ARPES で発見した。キャリアドーピングにより高温超伝導が期待でき、La 置換による更なる電子ドーピングを試みた。メカニカルアロイ法による合成で La 固溶領域を 15% 程度の電子ドーピングまで拡大することに成功した。また、 $\mu\text{SR}$  法を用いることにより、 $x=0.1$  の試料では Griffiths phase と呼ばれる常磁性に短距離反強磁性クラスターが存在する状態が実現している可能性を指摘した。[10,11]

(2)  $\text{AgSnSe}_2$  は、 $\text{Sn}^{2+}$  と  $\text{Sn}^{4+}$  のように**バレンススキップ状態**が超伝導に重要であると期待される物質である。 $\text{Ag}_{1-x}\text{Sn}_{1+x}\text{Se}_2$  に対

して Ag サイト、Sn サイトそれぞれに様々な元素をドーピングすることによって超伝導発現には Sn の 5s 軌道と Se の 4p 軌道が重要であることを示した。さらに、異なる x において X 線光電子分光を行ったところ、超伝導転移を示す物質だけが  $\text{Sn}^{2+}$ ,  $\text{Sn}^{4+}$  の混成状態を示し(下図)、超伝導発現にバレンス状態が不連続な状態が有利であることを示した。[12]

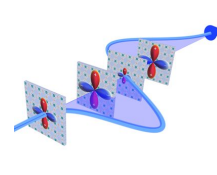


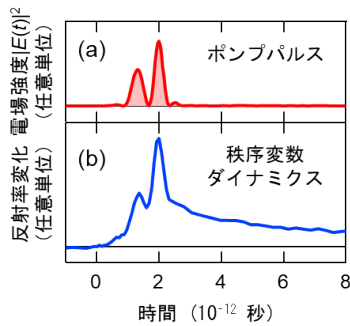
図：  $\text{Ag}_{1-x}\text{Sn}_{1+x}\text{Se}_2$  ( $x=0, 0.25$ ) と SnSe における Sn の電子状態。超伝導体である  $x=0, 0.25$  のみで  $\text{Sn}^{2+}$  と  $\text{Sn}^{4+}$  が共存する。

### 【島野グループ】

テラヘルツ (THz) 電磁波パルスを用いて、超伝導秩序の振幅振動である**ヒッグスモード**と電磁波との非線形相互作用を先ず  $s$  波低温超伝導体で明らかにした。マルチサイクル THz 波パルスを  $s$  波超伝導体に照射すると超伝導秩序変数が入射波の振動数の 2 倍の周波数で振動する様子を観測し、これがヒッグスモードの強制振動であることを青木のグループの理論との共同研究で明らかにした。さらに、THz 波とヒッグスモードが共鳴すると高効率に**第三高調波**が発生することを発見した (Science 345, 1145 (2014); [14])。さらに、 $d$  波高温超伝導体に研究を展開し、そのヒッグスモードの観測に初めて成功した (Phys. Rev. Lett. 120, 117001 (2018) [13]) (下図)。

また、超伝導転移温度上昇の可能性を検証するために、銅酸化物高温超伝導体を強く光励起したときの効果を調べた。これにより、





図： $d$ 波高温超伝導体  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$  において超伝導秩序変数が入射電場パルスの自乗波形(a)に追隨して振動する様子(b)。最上段は  $d$  波の秩序変数が振動する概念図。

励起は単に超伝導を破壊するのではない兆候も得られ、将来的には新たな指針となる可能性がある。

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 15 件)(全て査読有り)

- [1]M. Kitatani, N. Tsuji and H. Aoki: FLEX+DMFT approach to the d-wave superconducting phase diagram of the two-dimensional Hubbard model, Phys. Rev. B **92**, 085104 (2015). DOI:10.1103/PhysRevB.92.085104
- [2]M. Kitatani, N. Tsuji and H. Aoki: Interplay of Pomeranchuk instability and superconductivity in the two-dimensional repulsive Hubbard model, Phys. Rev. B **95**, 075109(2017). DOI:10.1103/PhysRevB.95.075109
- [3]K. Kobayashi, M. Okumura, S. Yamada, M. Machida, and H. Aoki: Superconductivity in repulsively interacting fermions on a diamond chain --- flat-band induced pairing, Phys. Rev. B **94**, 214501 (2016). DOI:10.1103/PhysRevB.94.214501
- [4]N. Tsuji, Y. Murakami and H. Aoki: Nonlinear light-Higgs coupling in superconductors beyond BCS: Effects of the retarded phonon-mediated interaction, Phys. Rev. B **94**, 224519 (2016). DOI:10.1103/PhysRevB.94.224519
- [5]Y. Murotani, N. Tsuji and H. Aoki: Theory of light-induced resonances with collective Higgs and Leggett modes in multiband superconductors, Phys. Rev. B **95**, 104503 (2017). DOI:10.1103/PhysRevB.95.104503
- [6]H. Sakakibara, K. Suzuki, H. Usui, S. Miyao, I. Maruyama, K. Kusakabe, R. Arita, H. Aoki, and K. Kuroki: Orbital mixture effect on the Fermi surface- $T_c$  correlation in the cuprate superconductors:

- bilayer vs single layer, Phys. Rev. B **89** (2014) 224505 (1-6). DOI:10.1103/PhysRevB.89.224505
- [7]M. Nakata, D. Ogura, H. Usui, and K. Kuroki: Finite-energy spin fluctuations as a pairing glue in systems with coexisting electron and hole bands, Phys. Rev. B **95** (2017) 214509(1-7). DOI:10.1103/PhysRevB.95.214509
- [8]D. Ogura, H. Aoki, and K. Kuroki: Possible high- $T_c$  superconductivity due to incipient narrow bands originating from hidden ladders in Ruddlesden-Popper compounds, Phys. Rev. B **96** (2017) 184513(1-8). DOI:10.1103/PhysRevB.96.184513
- [9]K. Matsumoto, D. Ogura, and K. Kuroki: Wide applicability of high  $T_c$  pairing originating from coexisting wide and incipient narrow bands in quasi-one-dimensional systems, Phys. Rev. B **97** (2018) 14516(1-11). DOI:10.1103/PhysRevB.97.014516
- [10] K. Horigane, M. Fujii, H. Okabe, K. Kobayashi, R. Horie, H. Ishii, Y. F. Liao, Y. Kubozono, A. Koda, R. Kadono, and J. Akimitsu, Magnetic phase diagram of  $\text{Sr}_{2-x}\text{La}_x\text{IrO}_4$  synthesized by mechanical alloying, Phys. Rev. B **97**, 064425/1-8 (2018). DOI:10.1103/PhysRevB.97.064425
- [11] K. Terashima, M. Sunagawa, H. Fujiwara, T. Fukura, M. Fujii, K. Okada, K. Horigane, K. Kobayashi, R. Horie, J. Akimitsu, E. Golias, D. Marchenko, A. Varykhalov, N. L. Saini, T. Wakita, Y. Muraoka, and T. Yokoya, Evolution of the remnant Fermi-surface state in the lightly doped correlated spin-orbit insulator  $\text{Sr}_{2-x}\text{La}_x\text{IrO}_4$ , Phys. Rev. B **96**, 180503(R)/1-5 (2017). DOI:10.1103/PhysRevB.96.041106
- [12] T. Wakita, E. Paris, K. Kobayashi, K. Terashima, M. Y. Hacisalihoglu, T. Ueno, F. Bondino, E. Magnano, I. Piš, L. Olivi, J. Akimitsu, Y. Muraoka, T. Yokoya, and N. L. Saini, Electronic structure of  $\text{Ag}_{1-x}\text{Sn}_{1+x}\text{Se}_2$  ( $x = 0.0, 0.1, 0.2, 0.25$  and  $1.0$ ), Phys. Chem. Chem. Phys. **19**, 26672-26678 (2017). DOI:10.1103/PhysRevB.96.041106
- [13] Kota Katsumi, Naoto Tsuji, Yuki I. Hamada, Ryusuke Matsunaga, John Schneeloch, Ruidan D. Zhong, Genda D. Gu, Hideo Aoki, Yann Gallais, and Ryo Shimano, Higgs Mode in the d-Wave Superconductor  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$  Driven by an Intense Terahertz Pulse, Phys. Rev. Lett. **120**, 2018, 117001/1-6 (Editor's suggestion), <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.120.117001>
- [14] R. Matsunaga, N. Tsuji, K. Makise, H. Terai, H. Aoki, and R. Shimano, Polarization-resolved terahertz third-harmonic generation in a single-crystal superconductor NbN: Dominance of the Higgs mode beyond the BCS

approximation, Phys. Rev. B 96、2017,020505(R)/1-5https://doi.org/10.1103/PhysRevB.96.020505

[15] Ryusuke Matsunaga, Naoto Tsuji, Hiroyuki Fujita, Arata Sugioka, Kazumasa Makise, Yoshinori Uzawa, Hirotaka Terai, Zhen Wang, Hideo Aoki, and Ryo Shimano, Light-induced collective pseudospin precession resonating with Higgs mode in a superconductor, Science, 345, 2014, 1145-1149  
DOI: 10.1126/science.1254697

〔学会発表〕(計 14 件)

[1]Hideo Aoki: Perspective of superconductivity, topology and nonequilibrium (Int. Symposium on New Horizons in Condensed Matter Physics, Tokyo, 18 June 2016). (招待講演、国際学会)

[2]Hideo Aoki: Superconducting and topological multiband systems ("BEC2016", Kyoto, 27 Sept 2016). (招待講演、国際学会)

[3]Hideo Aoki: Designing superconducting and topological flat-band systems ("IWSRFM2016", Tsukuba, 21 Dec 2016). (招待講演、国際学会)

[4]青木秀夫: 2次元系におけるトポロジカルおよび超伝導設計(新学術「トポロジー」領域会議、仙台、16 Dec 2016)。 (招待講演)

[5]K. Kuroki, Optimization of spin fluctuation mediated pairing: what we can learn from existing high  $T_c$  materials, MRS Spring Meeting & Exhibit (San Francisco, USA, April 21-25, 2014) (招待講演、国際学会)

[6]K. Kuroki, Optimization of unconventional superconductivity through electron correlation designing Int. Symposium on New Horizons in Condensed Matter Physics (Tokyo, Japan, June 18-19, 2016) (招待講演、国際学会)

[7]K. Kuroki, First principles study on the impurity effect on the band structure of iron Selenides, EMRS Fall meeting (Warsaw, Poland, Sept. 18-22, 2017) (招待講演、国際学会)

[8]山本文子, 竹下直, 寺倉千恵子, 十倉好紀: 高温超伝導体 Hg1212 および Hg1223 の電気抵抗率に対する圧力効果、日本物理学会第70回年次大会(2015年)

[9]竹下直, 伊豫彰: Cu,C系銅酸化物高温超伝導体の  $T_c$  の圧力依存性 II、日本物理学会2016年秋季大会。

[10]佐々木岬, 岡崎尚太, 伊豫彰, 竹下直: 頂点フッ素系銅酸化物高温超伝導体の  $T_c$  の圧力効果、日本物理学会第72回年次大会(2017年)

[11]K. Kobayashi, Band tuning via synthesis method-layered iridates and NaCl-type chalcogenides, Physics and chemistry of

emerging superconductors and thermoelectric materials (2017). (招待講演)

[12] Ryo Shimano, Nonlinear THz spectroscopy of collective modes in superconductors, Low Energy Electrodynamics in Solids、2016年(招待講演、国際学会)

[13] Ryo Shimano, Time-resolved study of Higgs amplitude mode in s-wave superconductors, Materials and Mechanisms of Superconductivity (M2S)、2015年(招待講演、国際学会)

[14]Ryo Shimano, Time-resolved study of Higgs mode in superconductors, APS March meeting、2015年(招待講演、国際学会)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

青木秀夫 (AOKI, Hideo)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・招聘研究員 研究者番号: 50114351

### (2)研究分担者

黒木和彦 (KUROKI, Kazuhiko)

大阪大学・理学研究科・教授

研究者番号: 10242091

永崎 洋 (EISAKI, Hiroshi)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・首席研究員 研究者番号: 20242018

秋光純 (AKIMITSU, Jun)

岡山大学・異分野基礎科学研・特任教授

研究者番号: 80013522

島野 亮 (SHIMANO, Ryo)

東京大学・低温センター・教授

研究者番号: 40262042

### (3)連携研究者

岡 隆史 (OKA, Takashi)

東京大学・工学研究科・講師 (H27 より Max-Planck 研究所)

研究者番号: 50421847

辻 直人 (TSUJI, Naoto)

東京大学・理学研究科・助教 (現在理化学研究所) 研究者番号: 90647752

竹下 直 (TAKESHITA, Nao)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・主任研究員 研究者番号: 60292760

伊豫 彰 (IYO, Akira)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・上級主任研究員 研究者番号: 50356523

松永隆佑 (MATSUNAGA, Ryusuke)

東京大学・理学系研究科・助教 (2017年7月より東大物性研究所准教授)

研究者番号: 50615309