

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009 年度 ～ 2010 年度

課題番号：21740254

研究課題名(和文) エピタキシャル薄膜を用いた鉄系高温超伝導機構の解明

研究課題名(英文) Elucidating the origin of high temperature superconductivity in iron-pnictides via the growth of epitaxial thin films

研究代表者

笠原 成 (KASAHARA SHIGERU)

京都大学・低温物質科学研究センター・研究員

研究者番号：10425556

研究成果の概要(和文)：新しい高温超伝導物質体系として注目される鉄ニクタイト超伝導体について、エキシマレーザーを用いたパルスレーザー蒸着によってエピタキシャル薄膜の作製を行ない、最適置換組成の超伝導薄膜をその場成長することに成功した。又、エピタキシャル薄膜と相補する試料形態である単結晶試料の育成を合わせて行い、これらの試料を基盤とした精密物性測定を行った。

研究成果の概要(英文)：

We have succeeded in *in-situ* growth of epitaxial thin films of iron-pnictides, which are remarked as the second generation materials of high temperature superconductors. Optimally doped superconducting thin films are successfully grown by pulsed laser deposition (PLD) technique using exima laser. We have also grown single crystalline samples which complement the thin films and performed precise experiments on the physical properties of the obtained materials.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| 2009 年度 | 3,100,000 | 930,000 | 4,030,000 |
| 2010 年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| 総計 | 3,600,000 | 1,080,000 | 4,680,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・物性Ⅱ

キーワード：高温超伝導

1. 研究開始当初の背景

(1) 2008 年、鉄ニクタイト $\text{LaFeAs}(\text{O},\text{F})$ において 26 K という転移温度での超伝導が報告され、直後には種々の元素置換により 50 K を超える転移温度での超伝導が続々と発見された。この転移温度は、それまで高温超伝導物質として知られていた銅酸化物に次ぐ高い値であり、鉄ニクタイト系化合物は新しいタイプの高温超伝導物質体系として世界的な研究競争時代を迎えるに至った。

(2) 鉄系化合物における高温超伝導は、低温で反強磁性的スピン密度波(SDW)状態へと相転移を示す母物質に対し、元素置換、或いは

は圧力印加を行うことで SDW 状態が抑制された際に出現する。元素置換には電子や正孔をキャリアとしてドーピングする働きと、化学的圧力によって構造を変化させる 2 つの効果がある。鉄ニクタイト超伝導体でのキャリアドーピング、及び結晶構造の変化が果たしている役割を明確にするとともに、超伝導の出現に対して能動的に働いている物理的因子が何であるのかを明らかにする必要があった。

(3) 本研究課題の申請時は $\text{LaFeAs}(\text{O},\text{F})$ における超伝導の報告から 10 ヶ月程が経過した時期にあった。初期段階にある本分野の研究において、物理の本質を侵すことのない良質

の単結晶、或いは単結晶薄膜(エピタキシャル薄膜)を成長させる必要があり、物理的研究の舞台となるモデル物質が求められた。

2. 研究の目的

鉄ニクタイトにおける高温超伝導では、元素置換によるキャリアドーピング、並びに結晶構造の変化がもたらしている役割をそれぞれ明確にする必要あり、又、超伝導発現に対して能動的に働いている物理的因子を明らかにする必要がある。この為には、それぞれの効果を分離して基底状態が制御可能な明快な系が必要であり、これに好適な試料形態としてエピタキシャル薄膜に着目をした。エピタキシャル薄膜では、時に微小な単結晶しか得ることが出来ない化合物も大型試料の作製が可能となることがある。又、成長に用いる単結晶基板との間に生じる格子不整合歪みにより、化学的圧力による結晶格子の制御が期待でき、結晶構造の果たす効果と超伝導の関係を明確にすることができると考えられる。又、エピタキシャル薄膜の作製技術を確立し、これに微細加工技術を駆使することで超伝導トンネル接合を作製し、将来的に準粒子励起や位相敏感な測定への道筋を切り開くこととなる。これらは超伝導秩序関数の対称性を調べる上での重要な手法であり、この系の超伝導発現機構を直接的究明可能な実験に繋がると期待される。本研究では、鉄系超伝導体における結晶格子と超伝導の関連、超伝導秩序関数の対称性を明らかにすることを目的とし、2009-2010年度の二年間の期間としてエピタキシャル薄膜の作製、及びこれと相補的な純良単結晶試料の育成、精密物性測定を行った。

3. 研究の方法

(1) パルスレーザー蒸着法(PLD法)によるエピタキシャル薄膜の作製を行なった。PLD法はペレット状の多結晶体を蒸着源とし、これにパルスレーザーを照射することで、照射エネルギーによって蒸発した物質を基板表面に蒸着する成膜手法である。蒸着源には、小型の単結晶を加圧成型して用いた。レーザーには、PLD法において広く用いられているKrFエキシマレーザー($\lambda=248\text{ nm}$)を用い、(La,Sr)(Al,Ta)O₃単結晶基板上に、鉄系超伝導体の母物質AEFe₂As₂と、電子ドーピング鉄系超伝導体AE(Fe_{1-x}Co_x)₂As₂(AE=Ba, Sr)のエピタキシャル薄膜をその場成長させた。

(2) エピタキシャル薄膜の作製と平行し、これと相補する実験として、単結晶試料の育成、並びに電子輸送現象や磁気量子振動等による常伝導状態の研究や、磁場侵入長、熱伝導度といった準粒子敏感な測定による超伝導ギャップ構造に関する研究を行った。

4. 研究成果

(1) KrFエキシマレーザーを用いたPLD法により、成膜時の基板温度と薄膜のエピタキシャル成長条件を確立し、鉄系超伝導体の母物質SrFe₂As₂、電子ドーピング型の鉄系超伝導体Sr(Fe_{1-x}Co_x)₂As₂、およびBa(Fe_{1-x}Co_x)₂As₂のエピタキシャル薄膜を作製することに成功した。特に、後者においては高い平坦性を有し、 $T_c^{on} = 24.0\text{ K}$ を示す最適置換の超伝導薄膜を得ることに成功した(図1及び図2)。

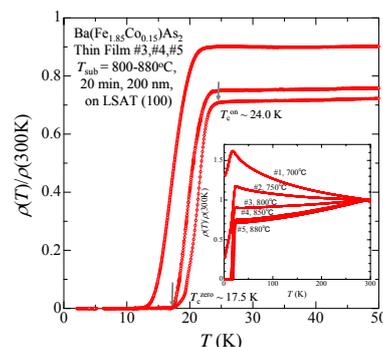


図1. Ba(Fe,Co)₂As₂超伝導薄膜の電気抵抗率の温度依存性。

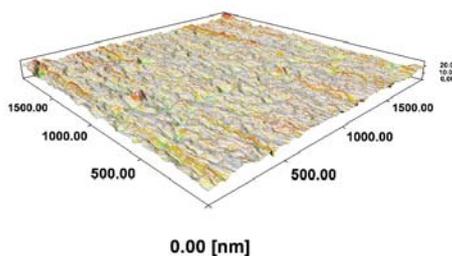


図2. Ba(Fe,Co)₂As₂薄膜の表面モフォロジー。

(2) 薄膜作製の蒸着源に用いる単結晶を育成する過程において、等原子価の元素置換によって超伝導が出現する鉄系超伝導体BaFe₂(As_{1-x}P_x)₂($T_c^{max} = 31\text{ K}$)の純良単結晶育成に成功した[図3(a)及び(b)]。キャリアのドーピングを伴わずに化学的圧力のみによって超伝導が出現する本物質は、結晶構造と超伝導、更にはその背後にある電子系への多体効果の変化を議論するのに好適であり、その純良単結晶が得られたことは本研究課題における大きな副産物となった。

(3) BaFe₂(As_{1-x}P_x)₂において系統的輸送現象測定や広い置換域に及ぶ磁気量子振動の観測、核磁気共鳴測定等により、超伝導転移温度が最も高くなる最適置換近傍において、非フェルミ液体的な輸送現象や強い多体相互作用の重要性を示し、化学的圧力による結晶構造変化に伴ったフェルミ面の変化とバンド間ネスティングの揺らぎに基づく量子臨界点

的な振る舞いが超伝導に密接に関連していることを示した。又、類縁物質である $\text{CaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ の単結晶育成に成功し、この系に固有の格子コラプス転移の存在を明らかにするとともに、格子コラプス転移を挟んだ系統的輸送現象測定から、非フェルミ液体的な電子輸送現象と超伝導の強い相関、そしてこれらの背後にある結晶構造変化に伴ったフェルミ面の変化とバンド間のネスティング揺らぎとの関連を示した(図4)。

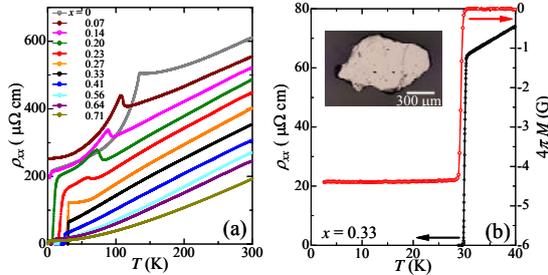


図3. (a) $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ の電気抵抗率の温度変化。(b) $x=0.33$ での T_c 近傍の電気抵抗率及び磁化曲線。

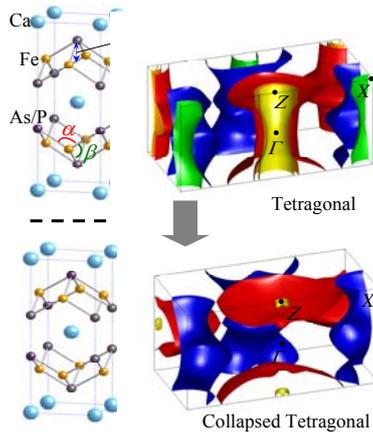


図4. $\text{CaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ における格子コラプス転移を挟んだ結晶構造とフェルミ面の変化。

(4) 本物質の超伝導状態について、磁場侵入長、熱伝導度等の準粒子敏感な測定から、超伝導ギャップ関数が符号反転を伴うラインノード構造を持つこと示した。これは、鉄系超伝導体の超伝導発現機構が非従来型であることを強く示唆する重要な結果である。同時に、鉄系超伝導体では超伝導ギャップ構造が非ユニバーサルであり、従来の超伝導体系にない側面を捉えている。

(5) 本研究課題を通じて、KrF エキシマレーザーを用いたパルスレーザー蒸着によって AEFe_2As_2 系の鉄系超伝導体をエピタキシャル成長させることが可能となった。又、単結晶試料を用いた実験からは、バンド間ネスティング揺らぎがこの系の超伝導出現に深く関連し、これは化学的圧力による結晶構造の

変化により制御可能である。今後、特に超伝導状態について、本研究課題によりラインノード構造を持つことが明らかになった $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ の超伝導トンネル接合を作製することで、鉄系超伝導体の秩序関数の究明が可能になると期待される。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 19 件)

[1] “Specific Heat Discontinuity, ΔC , at T_c in $\text{BaFe}_2(\text{As}_{0.7}\text{P}_{0.3})_2$ - Consistent with Unconventional Superconductivity”,

J. S. Kim, G. R. Stewart, S. Kasahara, T. Shibauchi, T. Terashima, and Y. Matsuda, J. Phys.: Condens. Matter **23**, 222201 (2011). (査読有)

[2] “Nesting of Electron and Hole Fermi Surfaces in Non-Superconducting BaFe_2P_2 ”,

B. J. Arnold, S. Kasahara, A. I. Coldea, T. Terashima, Y. Matsuda, T. Shibauchi, and A. Carrington, Phys. Rev. B [Rapid Commun.] (to be published). (査読有)

[3] “Orbital-Independent Superconducting Gaps in Iron-Pnictides”,

T. Shimojima, F. Sakaguchi, K. Ishizaka, Y. Ishida, T. Kiss, M. Okawa, T. Togashi, C.-T. Chen, S. Watanabe, A. Chainani, K. Ohgushi, S. Kasahara, T. Terashima, T. Shibauchi, Y. Matsuda, and S. Shin, Science **332**, 564-567 (2011). (査読有)

[4] “Two- and Three-Dimensional Fermi Surfaces and their Nesting Properties in Superconducting $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ ”,

T. Yoshida, I. Nishi, S. Ideta, A. Fujimori, M. Kubota, K. Ono, S. Kasahara, T. Shibauchi, T. Terashima, Y. Matsuda, H. Ikeda, R. Arita, Phys. Rev. Lett. **106**, 117001 (2011). (査読有)

[5] “Highly Reduced Anatase TiO_2 Thin Films Obtained via Low-Temperature Reduction”,

Atsushi Kitada, Shigeru Kasahara, Takahito Terashima, Kazuyoshi Yoshimura, Yoji Kobayashi, and Hiroshi Kageyama, Appl. Phys. Express **4**, 035801 (2011). (査読有)

[6] “Abrupt recovery of Fermi-liquid transport following the collapse of the c axis in $\text{CaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ single crystals”,

S. Kasahara, T. Shibauchi, Y. Nakai, K. Hashimoto, H. Ikeda, T. Terashima, and Y. Matsuda, Phys. Rev. B **83**, 060505(R) (2011). (査読有)

[7] “Quasiparticle Scattering Induced by Charge

Doping of Iron-Pnictide Superconductors Probed by Collective Vortex Pinning”,

C. J. van der Beek, M. Konczykowski, S. Kasahara, T. Terashima, R. Okazaki, T. Shibauchi, Y. Matsuda, Phys. Rev. Lett. **105**, 267002 (2010). (査読有)

[8] “Chemical Pressure and Physical Pressure in $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ ”,

L. E. Klintberg, S. K. Goh, S. Kasahara, Y. Nakai, K. Ishida, M. Sutherland, T. Shibauchi, Y. Matsuda, T. Terashima, J. Phys. Soc. Jpn. **79**, 123706 (2010). (査読有)

[9] “Unconventional Superconductivity and Antiferromagnetic Quantum Critical Behavior in the Isovalent-Doped $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ ”,

Y. Nakai, T. Iye, S. Kitagawa, K. Ishida, H. Ikeda, S. Kasahara, H. Shishido, T. Shibauchi, Y. Matsuda, and T. Terashima, Phys. Rev. Lett. **105**, 107003 (2010). (査読有)

[10] “Anisotropic Superconducting Properties of Optimally Doped $\text{BaFe}_2(\text{As}_{0.65}\text{P}_{0.35})_2$ under Pressure”,

S. K. Goh, Y. Nakai, K. Ishida, L. E. Klintberg, Y. Ihara, S. Kasahara, T. Shibauchi, Y. Matsuda, and T. Terashima, Phys. Rev. B **82**, 094502 (2010). (査読有)

[11] “Specific heat versus field in the 30 K superconductor $\text{BaFe}_2(\text{As}_{0.7}\text{P}_{0.3})_2$ ”,

J. S. Kim, P. J. Hirschfeld, G. R. Stewart, S. Kasahara, T. Shibauchi, T. Terashima, Y. Matsuda, Phys. Rev. B **81**, 184519 (2010). (査読有)

[12] “Line nodes in the energy gap of superconducting $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ single crystals as seen via penetration depth and thermal conductivity”,

K. Hashimoto, M. Yamashita, S. Kasahara, Y. Senshu, N. Nakata, S. Tonegawa, K. Ikada, A. Serafin, A. Carrington, T. Terashima, H. Ikeda, T. Shibauchi, Y. Matsuda, Phys. Rev. B **81**, 220501(R) (2010). (査読有)

[13] “Evolution from non-Fermi- to Fermi-liquid transport via isovalent doping in $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ superconductors”,

S. Kasahara, T. Shibauchi, K. Hashimoto, K. Ikada, S. Tonegawa, R. Okazaki, H. Shishido, H. Ikeda, H. Takeya, K. Hirata, T. Terashima, and Y. Matsuda, Phys. Rev. B **81**, 184519 (2010). (査読有)

[14] “Evolution of the Fermi Surface of $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ on Entering the Superconducting

Dome”,

H. Shishido, A. F. Bangura, A. I. Coldea, S. Tonegawa, K. Hashimoto, S. Kasahara, P. M. C. Rourke, H. Ikeda, T. Terashima, R. Settai, Y. Ōnuki, D. Vignolles, C. Proust, B. Vignolle, A. McCollam, Y. Matsuda, T. Shibauchi, and A. Carrington, Phys. Rev. Lett. **104**, 057008 (2010). (査読有)

[15] “ ^{31}P and ^{75}As NMR evidence for a residual density of states at zero energy in superconducting” $\text{BaFe}_2(\text{As}_{0.67}\text{P}_{0.33})_2$ ”,

Yusuke Nakai, Tetsuya Iye, Shunsaku Kitagawa, Kenji Ishida, Shigeru Kasahara, Takasada Shibauchi, Yuji Matsuda, and Takahito Terashima, Phys. Rev. B **81**, 020503 (2010). (査読有)

[16] “Antiferromagnetic fluctuations in iron pnictide superconductor $\text{BaFe}_2(\text{As}_{0.67}\text{P}_{0.33})_2$ investigated by ^{31}P NMR”,

Yusuke Nakai, Tetsuya Iye, Shunsaku Kitagawa, Kenji Ishida, Shigeru Kasahara, Takasada Shibauchi, Yuji Matsuda, Takahito Terashima, Physica C **470**, S420 (2010). (査読有)

[17] “Superconductivity induced by isovalent doping in single crystals of $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ ”,

S. Kasahara, K. Hashimoto, R. Okazaki, H. Shishido, M. Yamashita, K. Ikada, S. Tonegawa, N. Nakata, Y. Sensyu, H. Takeya, K. Hirata, T. Shibauchi, T. Terashima, Y. Matsuda, Physica C **470**, S462 (2010). (査読有)

[18] “Characterization of FeSe single crystals”,

Hiroyuki Takeya, Shigeru Kasahara, Kazuto Hirata, Takashi Mochiku, Akira Sato, Yoshihiko Takano, Physica C **470**, S497 (2010). (査読有)

[19] “Microwave Surface-Impedance Measurements of the Magnetic Penetration Depth in Single Crystal $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ Superconductors: Evidence for a Disorder-Dependent Superfluid Density”,

K. Hashimoto, T. Shibauchi, S. Kasahara, K. Ikada, S. Tonegawa, T. Kato, R. Okazaki, C. J. van der Beek, M. Konczykowski, H. Takeya, K. Hirata, T. Terashima, and Y. Matsuda, Phys. Rev. Lett. **102**, 207001 (2009). (査読有)

[学会発表] (計 47 件)

[1] “磁場侵入長による等価 P 置換された鉄砒素系超伝導体の準粒子励起”,

橋本頭一郎, 勝股亮, 笠原成, 寺嶋孝仁, K. Cho, M.A. Tanatar, R. Prozorov, A. Carrington, 芝内孝禎, 松田祐司, 2011 年 3 月 25-28 日, 日本物理学会年次大会, 新潟大学, 新潟県新潟市.

[2] “鉄系超伝導体 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ の正方晶相における回転対称性の破れ”, 史宏杰, 笠原成, 岡崎竜二, 山下穰, 芝内孝禎, 寺嶋孝仁, 松田祐司, 2011年3月25-28日, 日本物理学会年次大会, 新潟大学, 新潟県新潟市.

[3] “化学的圧力による111系鉄ニクタイトの基底状態制御”, 笠原成, 橋本顕一郎, 勝股亮, 芝内孝禎, 松田祐司, 寺嶋孝仁, 2011年3月25-28日, 日本物理学会年次大会, 新潟大学, 新潟県新潟市.

[4] “Magnetic Torque Evidence for Broken Rotational Symmetry in the Tetragonal Phase of $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ Single Crystals”, Shigeru Kasahara, Hongjie Shi, Ryuji Okazaki, Kenichiro Hashimoto, Minoru Yamashita, Takasada Shibauchi, Takahito Terashima, Yuji Matsuda, American Physical Society March Meeting, Mar. 21-25, 2011, Dallas, Texas, USA.

[5] “Robust nodal gap structure in $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ with P doping revealed by magnetic penetration depth measurements”, Kenichiro Hashimoto, Ryo Katsumata, Sho Tonegawa, Shigeru Kasahara, Takahito Terashima, Takasada Shibauchi, Yuji Matsuda, Alessandro Serafin, Antony Carrington, American Physical Society March Meeting, Mar. 21-25, 2011, Dallas, Texas, USA.

[6] “鉄系超伝導体 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ における対称性の破れ”, 笠原成, 2010年12月1-3日, 第18回渦糸物理国内会議, 日本原子力研究開発機構 システム計算科学センター, 東京都.

[7] “Isovalent phosphorus doping as a model system to study Fe-pnictides”, Shigeru Kasahara, JSPS A3 Foresight Program “Joint Research on Novel Properties of Complex Oxides” Autumn School for Young Scientists, Nov. 23-26, 2010, Kyoto. Japan.

[8] “Isovalent phosphorus doping as a model system to study Fe-pnictides”, Shigeru Kasahara, International Mini Workshop on Iron-Based Superconductors, Nov. 4, 2010, Yukawa Inst. Kyoto University.

[9] “ $\text{LiFe}(\text{As},\text{Pn})$ 純良単結晶の物性”, 笠原成, 橋本顕一郎, 勝股亮, 利根川翔, 芝内孝禎, 松田祐司, 寺嶋孝仁, 2010年9月23-26日, 日本物理学会分科会, 大阪府立大学, 大阪府堺市.

[10] “鉄系超伝導体の角度分解熱伝導率測定による超伝導ギャップ構造の研究”, 千秋義紀, 永田真己, 橋本顕一郎, 山下穰, 芝内孝禎, 松田祐司, 笠原成, 寺嶋孝仁, 齊藤拓, 深澤英人, 小堀洋, 木方邦宏, 伊豫彰, 李哲虎, 永崎洋, 2010年9月23-26日, 日本物理学会分科会, 大阪府立大学, 大阪府堺市.

[11] “ $\text{CaFe}_2(\text{As},\text{P})_2$ 単結晶における T-cT 構造相転移と超伝導”, 笠原成, 中井祐介, 橋本顕一郎, 石田憲二, 芝内孝禎, 寺嶋孝仁, 松田祐司, 2010年9月23-26日, 日本物理学会分科会, 大阪府立大学, 大阪府堺市.

[12] “磁場侵入長測定からみた $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ における超伝導ギャップ構造のドーブ依存性”, 勝股亮, 橋本顕一郎, B. Anna, 利根川翔, 笠原成, 山下穰, 寺嶋孝仁, A. Serafin, A. Carrington, 芝内孝禎, 松田祐司, 2010年9月23-26日, 日本物理学会分科会, 大阪府立大学, 大阪府堺市.

[13] “低温還元反応による還元アナターゼ TiO_2 薄膜の電子物性制御”, 北田敦, 笠原成, 寺嶋孝仁, 小林洋治, 吉村一良, 陰山洋, 2010年9月23-26日, 日本物理学会分科会, 大阪府立大学, 大阪府堺市.

[14] “ $\text{AEFe}_2(\text{As},\text{P})_2$ 純良単結晶における輸送現象測定”, 笠原成, 橋本顕一郎, 利根川翔, 勝股亮, 中井祐介, 石田憲二, 芝内孝禎, 寺嶋孝仁, 松田祐司, 2010年03月20-23日, 日本物理学会年次大会, 岡山大学, 岡山県岡山市.

[15] “dHvA 効果から見た $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ のフェルミ面の変化”, 宍戸寛明, A.F. Bangura, A.I. Coldea, 橋本顕一郎, 笠原成, P.M.C. Rourke, 池田浩章, 寺嶋孝仁, 利根川翔, 撰待力生, 大貫惇睦, D. Vignolles, C. Proust, B. Vignolle, A. McCollam, 芝内孝禎, 松田祐司, A. Carrington, 2010年03月20-23日, 日本物理学会年次大会, 岡山大学, 岡山県岡山市.

[16] “マイクロ波準粒子伝導度測定による鉄系高温超伝導体の不純物効果について”, 利根川翔, 橋本顕一郎, 笠原成, 勝股亮, 山下穰, 寺嶋孝仁, 芝内孝禎, 松田祐司, 2010年03月20-23日, 日本物理学会年次大会, 岡山大学, 岡山県岡山市.

[17] “鉄系超伝導体 $\text{AEFe}_2(\text{As},\text{P})_2$ 単結晶の超伝導ギャップ構造”,

勝股亮, 橋本顕一郎, 笠原成, 利根川翔, 井加田洗輔, 山下穰, 中井祐介, 石田憲二, 寺嶋孝仁, 芝内孝禎, 松田祐司, 2010年03月20-23日, 日本物理学会年次大会, 岡山大学, 岡山県岡山市.

[18] “Non-Fermi Liquid Transport Properties in Phosphorous Substituted Iron-Arsenides”, S. Kasahara, K. Hashimoto, M. Yamashita, R. Okazaki, H. Shishido, K. Ikada, N. Nakata, Y. Sensyu, M. Shimozawa, H. Ikeda, T. Shibauchi, T. Terashima, Y. Matsuda, American Physical Society March Meeting, Mar. 15-18, 2010, Portland, Oregon, USA.

[19] “Quasi-degenerate superconductivity in the ‘122’ iron-pnictide superconductors”, K. Hashimoto, A. Serafin, A. Carrington, S. Kasahara, S. Tonegawa, K. Ikada, M. Yamashita, H. Ikeda, T. Terashima, T. Shibauchi, Y. Matsuda, American Physical Society March Meeting, Mar. 15-18, 2010, Portland, Oregon, USA.

[20] “単結晶 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ における超伝導 : 電子輸送現象測定”, 笠原成, 橋本顕一郎, 利根川翔, 井加田洗輔, 池田浩章, 竹屋浩幸, 平田和人, 芝内孝禎, 寺嶋孝仁, 松田祐司, 2009年9月25-28日, 日本物理学会分科会, 熊本大学, 熊本県熊本市.

[21] “PLD 法による鉄系超伝導体薄膜の作成と超伝導状態の研究”, 笠原成, 加藤智成, 竹屋浩幸, 平田和人, 芝内孝禎, 松田祐司, 寺嶋孝仁, 2009年9月25-28日, 日本物理学会分科会, 熊本大学, 熊本県熊本市.

[22] “磁場侵入長による鉄砒素系超伝導体 $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ 単結晶の超伝導対称性の決定” 橋本顕一郎, 利根川翔, 井加田洗輔, Allensando Serafin, Antony Carrington, 笠原成, 寺嶋孝仁, 竹屋浩幸, 平田和人, 芝内孝禎, 松田祐司, 2009年9月25-28日, 日本物理学会分科会, 熊本大学, 熊本県熊本市.

[23] “ $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ の熱伝導率測定による超伝導ギャップ構造の研究”, 千秋義紀, 山下穰, 中田宣人, 笠原成, 寺嶋孝仁, 竹屋浩幸, 平田和人, 芝内孝禎, 松田祐司, 2009年9月25-28日, 日本物理学会分科会, 熊本大学, 熊本県熊本市.

[24] “鉄ヒ素系高温超伝導体におけるトルク測定”, 石井究, 加藤智成, 山下穰, 笠原成, 寺嶋孝仁, 松田祐司, 芝内孝禎, 2009年9月25-28日, 日本物理学会分科会, 熊本大学, 熊本県熊本市.

[25] “エキシマレーザーによる AFe_2As_2 系エピソードキシャル薄膜のその場成長”, 笠原成, 加藤智成, 竹屋浩幸, 平田和人, 芝内孝禎, 松田祐司, 寺嶋孝仁, 2009年9月8-11日 応用理学会秋季大会, 富山大学, 富山県富山市.

[26] “Superconductivity Induced by Iso-valent Doping in Single Crystals of $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ ”, S. Kasahara, K. Hashimoto, R. Okazaki, H. Shishido, M. Yamashita, K. Ikada, S. Tonegawa, N. Nakata, Y. Sensyu, H. Takeya, K. Hirata, T. Shibauchi, T. Terashima, Y. Matsuda, The 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity High Temperature Superconductors ($\text{M}^2\text{S-HTSC}$), Sep 7-12, 2009, Tokyo, Japan.

[27] “Study of penetration depth in single crystals of $\text{BaFe}_2(\text{As}_{1-x}\text{P}_x)_2$ with isovalent doping”, K. Hashimoto, S. Kasahara, Y. Sensyu, N. Nakata, S. Tonegawa, K. Ikada, A. Serafin, A. Carrington, H. Ikeda, T. Terashima, and T. Shibauchi, Y. Matsuda, The 9th International Conference on Materials and Mechanisms of Superconductivity High Temperature Superconductors ($\text{M}^2\text{S-HTSC}$), Sep 7-12, 2009, Tokyo, Japan.

6. 研究組織

(1)研究代表者

笠原 成 (KASAHARA SHIGERU)
京都大学・低温物質科学研究センター・研究員
研究者番号 : 10425556

(2)研究協力者

寺嶋 孝仁 (TERASHIMA TAKAHITO)
京都大学・低温物質科学研究センター・教授
研究者番号 : 40252506

芝内 孝禎 (SHIBAUCHI TAKASADA)
京都大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授
研究者番号 : 00251356

松田 祐司 (MATSUDA YUJI)
京都大学・理学(系)研究科(研究院)・教授
研究者番号 : 50199816