

「量子効果等の物理現象」  
平成9年度採択研究代表者

井口 家成

(東京工業大学大学院理工学研究科 教授)

## 「異方的超伝導体の量子効果と新電磁波機能発現」

### 1. 研究実施の概要

研究のねらいは、高温超伝導体の量子効果とその発現機構の解明、d波ジョセフソン電流、準粒子電流の異方的特性の検証、そして高温超伝導体の層状構造に基づくイントリンシック接合構造からのジョセフソンプラズマ放射の検出とその特性の解明である。これまでに

YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-y</sub>(YBCO) 2次元ランプエッジ型ジョセフソン接合およびトンネル接合の作製法を確立し、d波接合の異方的特性を検証してきた。またジョセフソンプラズマ放射においては、Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>y</sub>(BSCCO)単結晶からの鋭い電磁波発振を捉え、これがほぼジョセフソンプラズマ放射に間違いないことを確かめてきた。平成13年度は、量子効果とその発現機構に対して走査SQUID顕微鏡という新技術を用いて、La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub>薄膜の微小磁束分布を観察することにより、高温超伝導発現機構に直接関わる超伝導前駆状態を捉えることに成功した。この成果はNature誌に発表されている。また新たにBi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>y</sub>, YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-y</sub>を電極とするヘテロ接合の開発に世界で初めて成功し、そのジョセフソン効果、トンネル効果を調べることができた。一方、新電磁波機能開発グループでは、BiおよびTl系超伝導薄膜からのテラヘルツ電磁波放射を始めて観測し、これがジョセフソンプラズマ放射であることが判明した。またBi2212薄膜に対するテラヘルツ時間領域分光測定において、新たに異常金属領域の擬ギャップのふるまいが観測されることを見出した。最後に理論解析グループでは、特に高温超伝導体にドーブされた不純物の周りでの電子状態の研究に著しい進歩が見られた。今後の見通しとしては、走査SQUID顕微鏡手法により量子効果発現機構の解明につながる新事実を探究するほか、Bi2212/YBCO, LSCO/YBCOのヘテロ接合の情報から異方的d波高温超伝導トンネリングの本質に迫る。

### 2. 研究実施内容

#### 基礎物理実験グループ

平成13年度は走査SQUID顕微鏡を用いて、現在高温超伝導体の最大の謎といわれる異常金属状態、擬ギャップ状態における微小磁束分布の検出を試みた。その結果、アンダードーブLa<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub>薄膜のTc以上で大変興味ある磁束構造が発見された。すなわちTcよりはるかに高い温度から反磁性ドメインが出現し、これがTcに近づくに従い発展して、最後にTcでマイスナー状態とつながるといふ新事実を見出した。図1は、La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub>薄膜のTcの上下での磁束像である。

T<sub>c</sub> 以下ではマイスナードメイン上に量子磁束が形成され、T<sub>c</sub> 以上では量子磁束の形状とは異なる平坦な反磁性ドメインが観測されている。図2は T<sub>c</sub> 以上で温度の低下とともに反磁性ドメインが発展する様子を示したものである。この反磁性ドメインが擬ギャップとどう結びつくのか、現在検討中である。

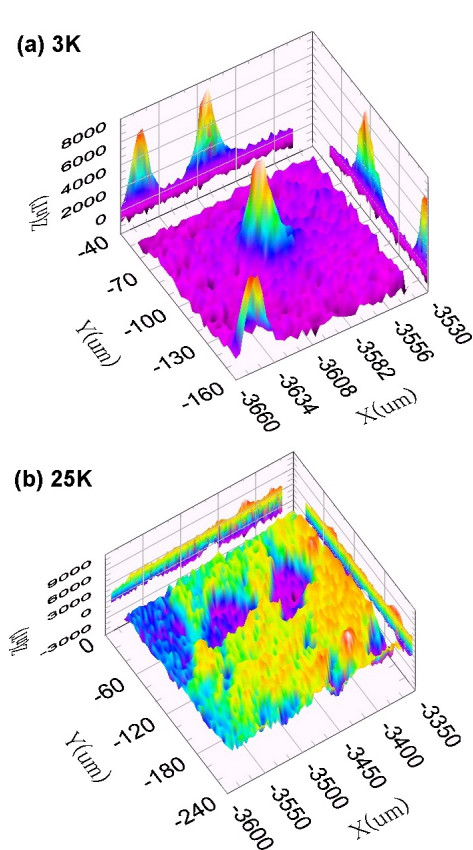


図1 La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub> 薄膜の T<sub>c</sub> の上下での磁束像

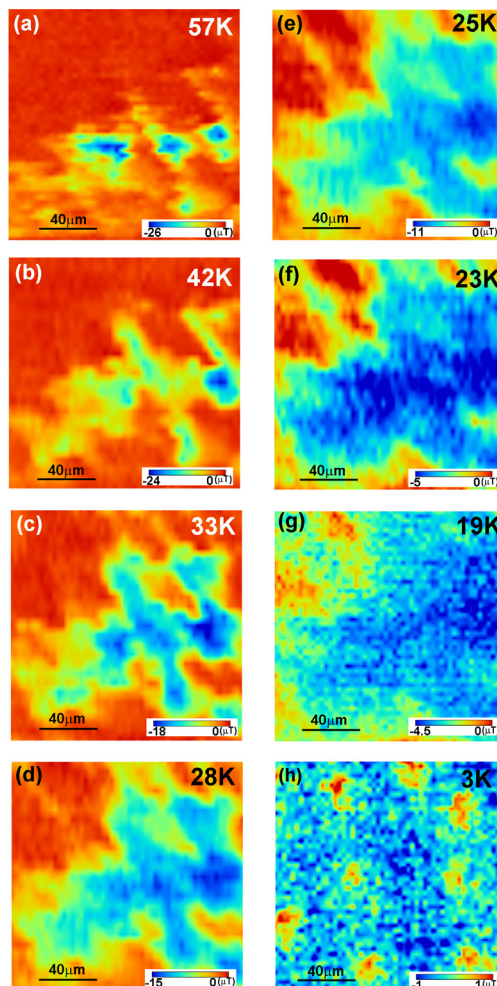


図2 アンダードーピング La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub> 薄膜の反磁性ドメインの発展の様子

一方、バイクリスタル基板を用いたグレインバウンダリー接合(粒界接合)の研究でも、新たな事実が見つかった。d波超伝導体では、ジョセフソン界面に小さな凹凸があると位相モフォロジーにより、 $\pi$ ジャンクションと同じようにフラクショナルな磁束が生じる。非対称 YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-y</sub> バイクリスタル接合でこのフラクショナル磁束を T<sub>c</sub> 近傍まで観測することに成功した。そしてその様子は低温側と高温側では異なることが判明した。一方対称バイクリスタル接合では観測されないことがわかった。また Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>y</sub> 薄膜で同様なフラクショナル磁束を初めて観測することができた。

産総研のグループは、CREST 予算にて新規に導入した希釈冷凍機を用いての測定が立ち上が

り、YBCO をベースとした薄膜接合の磁場応答に関して極低温での測定が行った。その結果、従来より YBCO/LSMO 接合にて観測されていた異常な磁場応答、つまり準粒子のスピン自由度が見かけ上凍結している特性が YBCO/Ag 接合においても観察され、これが対向電極がマンガン系であるがゆえに観測されている異常ではなく、YBCO 固有の性質であることが明らかとなった。

ネオジ系薄膜の作製においては、従来より Ce 濃度 13%以上が超伝導領域とされてきた相図の見直しを行い、Ce 量が 9.5%まで超伝導性が再現良く得られることが確認された。注目すべきことは 12%ドーピングにディップが存在し、ネオジ系においても 1/8 問題の存在が示唆された。ただしホールドーピング系の場合とは異なり、不純物に対して大きな影響を受けないので、1/8 異常の起源自体がホールドーピング系とは異なると考えられる。

低温 STM に関する進展は、超高真空装置と酸素ビーム表面処理装置の in-situ サンプル輸送が可能となり、YBCO 薄膜における超伝導ギャップの測定と XPS 等の光学的分光手法の比較が可能になったことである。これにより、STM によって得られる YBCO 処理表面の仕事関数の空間分布の不均一性が明らかになり、酸素ビーム処理が局所的に有効に表面回復に効くことがわかった。

#### 素子開発グループ

平成 13 年度は、新たに異種高温超伝導体電極をもつ接合の開発とその特性の研究に取り組んできた。高温超伝導体を電極とする接合の作製については、これまでに基礎研究、エレクトロニクス応用ということで何百という論文が報告されているが、すべて同種の高温超伝導体電極をもった接合に限られている ( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  /barrier/ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ ,  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$ /barrier/ $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$  など)。これは高温超伝導薄膜の成長条件が物質によって大きく異なり、異なった種類の超伝導薄膜を 1 つの基板上に堆積するのは非常に困難だからである。ヘテロ接合では、準粒子トンネリングはどうなるのか、ジョセフソン電流は流れるのかなど大きな問題がある。この困難を克服して  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  薄膜、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$  薄膜をレーザアブレーション法により同一基板上に成長させる条件を見出すことが出来た。そしてランプエッジ型接合作製に成功して、準粒子トンネル特性、ジョセフソン特性を調べることができた。図 3 は 2 つの薄膜の抵抗-温度特性と接合の温度特性である。 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  薄膜の  $T_c$  は 90K,  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$  薄膜の  $T_c$  は 70K 程度である。トンネルコンダクタンス特性には 2 つの超伝導体の和、差にあたる電圧にギャップ構造が見られ、半導体トンネルモデルがヘテロ接合の場合もほぼ正しいことが裏付けられた。また接合抵抗の低い接合では、ジョセフソン電流が流れるのが確認された。

#### 新電磁波機能グループ

高温超伝導結晶メサ構造からのジョセフソンプラズマ発振ということで、実験に適した薄膜接合を開発を行ってきた。非常に上質な接合の開発ということで、ごく最近薄膜が極めて良質な  $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  / $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ / $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  メサ接合の作製に成功した。接合の電流-電圧特性は、これまでの高温超伝導接合には見られないトンネル接合特有な大きなヒステリシスを伴った特性であり、今後マイクロ波実験によりプラズマ発振の様子等を調べていく予定である。

一方、大阪大学のグループでは以下のような成果が得られた。その 1 つは Bi および Tl 系超伝導薄膜からのテラヘルツ電磁波放射を初めて観測したことである。YBCO 薄膜などからのテラヘル

ツ電磁波放射では、ほぼ単一電磁パルスが放射されるが Tl 系からの放射では、最初のパルスに続いて振動するパルスが放射されることが確認された。約 640GHz にピークを持つ電磁波成分が放射されており、光励起によるジョセフソンプラズマ放射が実現されていることを示唆している(図4)。以上のように、これまでにない共鳴放射を発見することができ、CW 発振への展開に期待される結果を導いた。

テラヘルツ時間領域分光法(TDS)を用いて様々な強相関電子系薄膜の、低エネルギー電荷物性の評価を行った。その結果、 $\text{Pr}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{MnO}_3$  薄膜において、電荷密度波の励起と考えられる吸収が、1-3meV に存在することを見出した。また、Bi2212 薄膜に対しても TDS を適用し、通常の高周波応答に加えて、1THz 以上の成分では、210K 以下から異常な振舞いが初めて観測された。この異常は、擬ギャップの発生と強く関係していると思われる。

#### 理論解析グループ

名古屋大学のグループは実験グループに協力して以下のような研究を行った。

d波超伝導体・常伝導接合を流れるトンネル電流の特性をあきらかにするために、時間反転対称性の破れた状態がいかにより形成されるかを明確にするために 透過率をいろいろと選んだ計算を行った。その結果透過率の高い接合では時間反転対称性の破れた状態はおこりにくくその痕跡となるゼロバイアスコンダクタンスピークの分裂もあらわれないことが明らかになった。またd波との接合の合成抵抗を計算する新しい回路理論を提案することも行った。

次に銅酸化物高温超伝導体にドーパされた不純物のまわりの電子状態に関する計算を PD の土浦氏が徹底的に行った。図5はその結果を示す。不純物のまわりには単純に反強磁性の秩序が増強されるとは限らないことが明確となった。また反強磁性の存在は STS 実験とは相容れない結果となることも明らかとなった。これ以外に土浦氏は磁束のまわりの電子状態を調べ、なぜゼロ電圧での共鳴ピークが消失するのかも明確にした。一方、強磁性体と異方的超伝導体との接合のトンネル効果の理論を提案した。特に共鳴状態を介したトンネル接合では磁性体の磁化の向きがトンネルコンダクタンスからすぐにわかることが明らかになった。またトリプレット超伝導体の内部構造を知る上でこの方法は有効であることも明確となった。

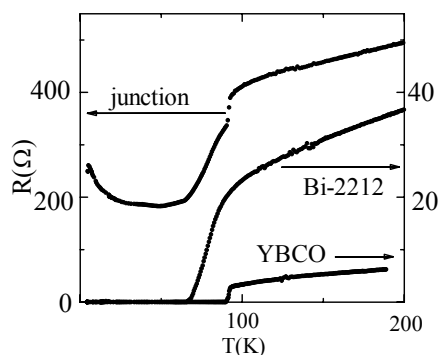


図3 YBCO 薄膜、BSCCO 薄膜の抵抗-温度特性および接合抵抗の温度依存性

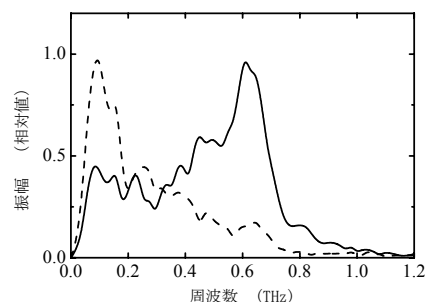


図4 Tl2212 電磁波放射の周波数スペクトル。磁気バイアス(実線)と電流バイアス(破線)の比較。

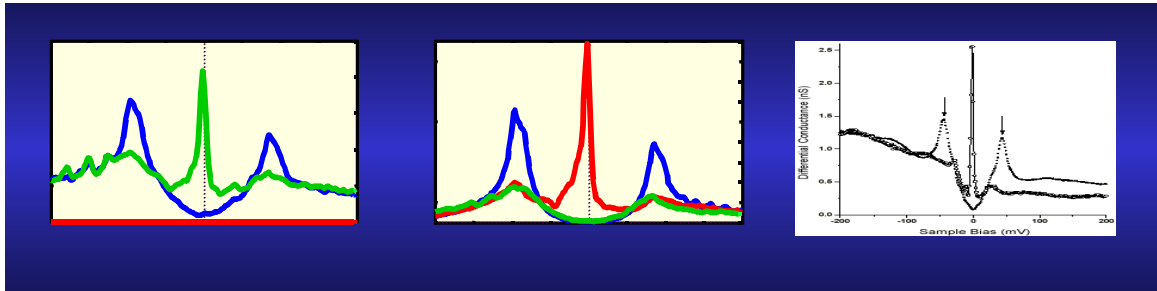


図5 磁場がないときの非磁性不純物の周りの局所状態密度の計算結果(左、中央)と実験結果(右)。

### 3. 研究実施体制

#### 基礎物理実験グループ

- ① 井口 家成(東京工業大学 教授)  
柏谷 聡(産業技術総合研究所 主任研究員)
- ② 研究項目
  - ・異方的ジョセフソン接合の量子効果
  - ・異方的ジョセフソン効果とモデルの構築
  - ・薄膜イントリンシヨック接合の特性
  - ・SQUID 顕微鏡による異方的超伝導体の量子効果の検証
  - ・極低温でのトンネル接合の研究 等

#### 素子開発グループ

- ① 井口 家成(東京工業大学 教授)
- ② 研究項目
  - ・レーザーアブレーション法による異方的ジョセフソン接合素子の作製
  - ・レーザーアブレーション法によるイントリンシック接合素子の作製
  - ・レーザーアブレーション法によるランプエッジジョセフソン接合素子の作製 等

#### 新電磁波機能開発グループ

- ① 井口 家成(東京工業大学 教授)  
斗内 政吉(大阪大学 教授)
- ② 研究項目
  - ・キャリア注入トンネル接合によるマイクロ波放出機構の解明
  - ・フェムト秒レーザー照射によるマイクロ波放出機構の解明
  - ・磁場印加接合素子からのジョセフソンプラズマ発振
  - ・キャリア注入高温超伝導体からの THz 発振
  - ・テラヘルツ電磁波の機能材料評価への応用
  - ・半導体・超伝導体テラヘルツ波デバイスの開発 等

## 理論解析グループ

① 田仲 由喜夫(名古屋大学 助教授)

② 研究項目

- ・異方的ジョセフソン接合の解析及び電磁波放出機構の解明
- ・異方的超伝導体界面及び接合の解析
- ・異方的ジョセフソン接合の解析
- ・トリプレット超伝導体におけるトンネル効果の解析 等

## 4. 研究成果の発表

(1) 論文発表

- G. G. Alvarez, H. Haibara, I. Iguchi, “c-Axis tunneling characteristics of Nd-Ba-Cu-O/Pr-Ba-(Cu, Ga)-O/Nd-Ba-Cu-O planar junctions”, Physica C 367(2002) 410.
- T. Imaizumi, T. Kawai, T. Uchiyama and I. Iguchi, “Fabrication of ramp-edge type junctions with different high-Tc superconductor electrodes”, Physica C 367(2002) 272.
- K. Lee, and I. Iguchi, “Microwave plasma emission from Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>aCu<sub>2</sub>O<sub>y</sub> tunnel-injected intrinsic Josephson junctions”, Physica C 367(2002) 376.
- A. Sugimoto, T. Yamaguchi and I. Iguchi “Temperature dependence of half flux quantum in YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-y</sub> tricrystal thin film observed by scanning SQUID microscopy”, Physica C 367 (2002) 28.
- T. Uchiyama, Z. Wang and I. Iguchi, “Preparation of superconducting YBCO/Bi-2212/YBCO trilayer films for intrinsic Josephson junction devices”, Physica C 367 (2002) 389.
- I. Iguchi, A. Sugimoto, T. Yamaguchi, N. Chaki, T. Miyake, I. Tanaka and S. Watauchi “Observation of diamagnetic precursor to the Meissner state above T<sub>c</sub> in high-Tc La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub> cuprates by scanning SQUID microscopy”, Physica C 367(2002) 9.
- I. Iguchi, H. Kobayashi, T. Imaizumi, and T. Kawai, “Josephson and quasiparticle tunneling in anisotropic High-Tc d-wave superconductors”, Extended Abstracts, 8<sup>th</sup> International Superconductive Electronics Conference (2001) 133.
- A. Sugimoto, T. Yamaguchi and I. Iguchi, “Observation of fractional vortices in High-Tc superconducting thin films by scanning SQUID microscope”, Extended Abstracts, 8<sup>th</sup> International Superconductive Electronics Conference (2001) 481.
- T. Uchiyama, and I. Iguchi “Conducting Properties of Superconductive Bi-2212/YBCO Bilayer Films Prepared by Nd:YAG Laser Ablation”, Extended Abstracts, 8<sup>th</sup> International Superconductive Electronics Conference (2001) 553.
- I. Iguchi, T. Yamaguchi, and A. Sugimoto, “Diamagnetic activity above Tc as a precursor to superconductivity in La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub> thin films”, Nature Vol. 412 (2001) 420.
- T. Uchiyama, Z. Wang and I. Iguchi, “Transport properties of superconductive

- Bi-2212/YBCO bilayer films prepared by Nd:YAG laser ablation”, IEICE Trans Electron., Vol. E85-C, No.3 (2002) 78.
- H. Shibata, S. Kimura, S. Kashiwaya, S. Ueno, M. Koyanagi, N. Terada, E. Kawate and Y. Tanaka, ”Far-infrared reflectance and transmittance studies of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  single-crystal thin films.” Jpn. J. Appl. Phys. 40(2001)3163.
  - I. Iguchi, T. Imaizumi, T. Kawai, Y. Tanaka and S. Kashiwaya, ”Josephson and quasiparticle tunneling in anisotropic high-Tc d-wave superconductors”, IEICE Trans. On Electronics, Vol.E85-C, No.3 (2002) 789.
  - 河合智行、今和泉卓也、内山哲治、井口家成  
「 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}/\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  ランプエッジ型ヘテロジャンクションの作製と特性評価」  
信学技報 Vol.101, No.348 (2001) 37.
  - 生原浩士、埴岡慶一、三宅高志、河合智行、今和泉卓也、内山哲治、井口家成  
「 $\text{La}_{1.85}\text{Sr}_{0.15}\text{CuO}_4$ を用いたランプエッジ型ジョセフソン接合の作製」  
信学技報 Vol.101 No.348 (2001) 43.
  - 内山哲治、井口家成、王鎮  
「 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+y}/\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  異種超伝導による積層型接合の作製」  
信学技報 Vol.101, No.348 (2001) 31.
  - 井口家成、小林寛和、今和泉卓也  
「d波超伝導接合」  
応用物理 第71巻 第1号(2002) 52.
  - H. Kobayashi, T. Imaizumi, I. Iguchi, Y. Tanaka and S. Kashiwaya, ”Angle dependent Josephson current in high-Tc YBCO ramp edge junctions.” Physica C357-360(2001) 1567.
  - H. Shibata, K. Oka, S. Kashiwaya and H. Yamaguchi, ”Traveling-solvent floating-zone growth and reduction condition optimization of  $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$  single crystals.” PhysicaC357 (2001) 363
  - M. Sakai, H. Shibata and M. Shinohara, ”Influence of a surface on the Franz-Keldysh effect in n- and p-type GaAs epitaxial Layers.” J. Phys. Soc. Jpn., 70, (2001)1064.
  - Y. Tanuma, Y. Tanaka and S. Kashiwaya, ”Interface effect and tunneling conductance of a normal metal/d-wave superconductor junctions” Physica C 362 (2001) 223.
  - S. Ueno, S. Kashiwaya, N. Terada, A. Sawa, N. Matsubara, M. Koyanagi, Y. Tanaka, Y. Tanuma, K. Obara and K. Takita, ”Scanning tunneling spectroscopy of YBCO thin film treated with an atomic oxygen beam.” Physica C 357-360(2001) 1576.
  - H. Kashiwaya, A. Sawa, S. Kashiwaya, H. Yamazaki, M. Koyanagi, I. Kurosawa, Y. Tanaka and I. Iguchi, ”Size dependence and mesoscopic effect of YBCO/LSMO.” Physica C 357-360(2001)1610.
  - Y. Tanaka, H. Tsuchiura, Y. Tanuma and S. Kashiwaya, ”Quasiparticle bound states near

the surface of high-Tc superconductors.” Physica C, in press.

- A. Sawa, S. Kashiwaya, H. Kashiwaya, H. Obara, H. Yamasaki, M. Koyanagi, I. Kurosawa and Y. Tanaka, “Magnetic field dependence of tunneling conductance spectra of LSMO/YBCO junctions in ultra-low temperatures.” Physica C. 357 (2001) 294.
- K. Oka, H. Shibata and S. Kashiwaya, “Crystal growth of ZnO.” J. of Crystal Growth, in press.
- Y. Tanuma, K. Kuroki, Y. Tanaka and S. Kashiwaya, “Theoretical study of quasiparticle states near the surface of a quasi-one-dimensional organic superconductor (TMTSF)<sub>2</sub>PF<sub>6</sub>”, Phys. Rev. B 64, (2001)214560.
- H. Tsuchiura, S. Uno, Y. Tanaka, M. Ogata, J. Inoue and S. Kashiwaya, “Vortex tunneling spectra of high-Tc superconductors based on the t-J model” Physica C 367 (2002) 20.
- N. Yoshida, H. Itoh, Y. Tanaka, J. Inoue and S. Kashiwa, ”A relation between the zero-bias conductance and spin polarization in ferromagnetic metal/d-wave superconductor junctions” Physica C 367 (2002) 165.
- Y. Tanuma, K. Kuroki, Y. Tanaka, R. Akita, S. Kashiwaya and H. Aoki, “Zero-energy peak and pairing symmetry of quasi-one-dimensional organic superconductor (TMTSF)<sub>2</sub>X”, J. Phys. Chem. Solids (2001)
- L. Lucarelli, S. Lupi, P. Calvani, P. Maselli, G. De Marzi, P. Roy, N. L.Saini, A. Bianconi, T. Ito and K. Oka “Optical conductivity of the nonsuperconducting cuprate La<sub>8-x</sub>Sr<sub>x</sub>Cu<sub>8</sub>O<sub>20</sub>”, Phys. Rev.B 65 (2002) 54511.
- I. N. Kida and M. Tonouchi, “Terahertz radiation from magnetoresistive Pr<sub>0.7</sub>Ca<sub>0.3</sub>MnO<sub>3</sub> thin films” Appl. Phys. Lett. 78 (2001) 4115.
- T. Kondo, M. Hangyo, and M. Tonouchi, “THz beam generation from YBCO thin films using a 1.55 micro-m femtosecond laser”, IEEE Trans. on Applied Superconductivity 11 (2001) 3166.
- H. Saijo, M. Morimoto, T. Kiwa and M. Tonouchi, “Terahertz emission properties from YBCO thin film log-periodic antennas”, Physica C 362 (2001) 319.
- T. Kiwa and M. Tonouchi, “High frequency properties of YBCO thin films by time-domain terahertz spectroscopy”, Physica C 362 (2001) 314.
- H. Wald, P. Seidel, and M. Tonouchi, “Carrier dynamics in YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> studied by pump-probe terahertz excitation”, Physica 362 (2001) 324-.
- T. Yoshimura, T. Kiwa, and M. Tonouchi, “Terahertz emission from YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> Josephson junctions excited by femtosecond laser”, Physica C 362 (2001) 329.
- M. Tonouchi, H. Saijo, M. Hangyo, O. Morikawa, P. Gu, M. Tani, and K. Sakai, “Highly efficient terahertz radiation from YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> thin film log-periodic antennas”, Physica C 357 (2001) 1600.
- H. Wald, P. Seidel and M. Tonouchi, “Pump and probe terahertz method to investigate



YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-δ</sub> thin films”, Physica C 367 (2002) 308.

- M. Tonouchi and A. Moto, “Vortex penetration effect on supercurrent distribution in YBCO thin film strips”, Physica C 367 (2002) 33.
- H. Murakami, T. Fukui, Y. Tominari, M. Tonouchi, T. Uchiyama, I. Iguchi, and Z. Wang, “Optical response of BSCCO thin film in superconducting state”, Physica C 367 (2002) 317.
- H. Murakami, T. Kiwa, M. Tonouchi, T. Uchiyama, I. Iguchi and Z. Wang, “Time-domain terahertz spectroscopy of Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>8+d</sub> thin film”, Physica C 367 (2002) 322.
- Y. Tominari, T. Kiwa, H. Murakami, M. Tonouchi, T. Arai, and T. Aomine, “Preparation and picosecond optical response of Bi system high-Tc superconductors”, Physica C 367 (2002) 332.
- N. Kida, M. Hangyo, and M. Tonouchi, “Low-energy charge dynamics of La<sub>0.7</sub>Ca<sub>0.3</sub>MnO<sub>3-δ</sub> thin films”, Journal of Magnetism and Magnetic Materials 226–230 (2001) 818.
- H. Murakami, T. Yasuda, Y. Tominari, T. Kiwa, and M. Tonouchi, “Relaxation Time of Optically Excited Supercarriers in Single Crystalline BSCCO”, Physica C (2002) in press.
- H. Murakami, T. Kiwa, M. Tonouchi, T. Uchiyama, I. Iguchi and Z. Wang, “Electric field pulse radiation properties of a Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>8+δ</sub> bowtie-antenna devices by optical pulse illumination”, to be published in Jpn. J. Appl. Phys.
- Y. Tominari, T. Kiwa, H. Murakami, M. Tonouchi, H. Wald, H. Schneidewind, P. Seidel, “Resonant terahertz radiation from Tl<sub>2</sub>Ba<sub>2</sub>CaCu<sub>2</sub>O<sub>8+δ</sub> thin films by ultrafast optical pulse excitation”, Appl. Phys. Lett. Vol. 80 (2002) in press.
- N. Yoshida, Y. Tanaka, J. Inoue and S. Kashiwaya, “Magnetoresistance in ferromagnet /d-wave superconductor double tunnel junctions”, Phys. Rev. B 63 (2001)024509.
- H. Shibata, S. Kimura, S. Kashiwaya, S. Ueno, M. Koyanagi, N. Terada, E. Kawate and Y. Tanaka, “Far infrared reflectance and transmittance studies of YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> single-crystal thin films”, Jpn. J. Appl. Phys. 40 (2001) 3163.
- Y. Tanaka, Y. Tanuma and S. Kashiwaya, “Influence of the impurity scattering on tunneling conductance in normal metal/d-wave superconductor junction”, Phys. Rev. B 64(2001) 054510.
- Y. Tanuma, K. Kuroki, Y. Tanaka and S. Kashiwaya, “Paring symmetry and quasiparticle states near surfaces of quarter-filled quasi-one-dimensional organic superconductors”, Phys. Rev. B 64 (2001) 214510.
- Y. Tanuma, Y. Tanaka and S. Kashiwaya, “Tunneling conductance in normal metal / d<sub>x<sup>2</sup>-y<sup>2</sup></sub>-wave superconductor junctions in the presence of broken time reversal symmetry state near the interface junctions”, Phys. Rev. B 64 (2001)214519.
- H. Tsuchiura, Y. Tanaka, M. Ogata and S. Kashiwaya, “Local magnetic moments around a nonmagnetic impurity in the two-dimensional t-J model”, Phys. Rev. B 64 (2001)140501(R).
- T. Hirai, N. Yoshida, Y. Tanaka, J. Inoue and S. Kashiwaya, “Parity-sensitive measurements

based on ferromagnet/superconductor junctions”, J. Phys. Soc. Jpn. 70 (2001)1885.

- Y. Tanaka, H. Tsuchiura, Y. Tanuma and S. Kashiwaya, “Influence of magnetic field on tunneling conductance in normal metal/  $d_{x^2-y^2}$ -wave superconductor junctions”, J. Phys. Soc. Jpn. 71 (2002)271.
- P. V. Komissinski, E. Il'ichev, G. A. Ovsyannikov, Z. Ivanov, S. A. Kovtonyuk, M. Grajcar, T. Claeson, Y. Tanaka, N. Yoshida and S. Kashiwaya, “Superconducting current-phase relation for Nb/Au/(001)YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> heterostructures”, Europhysics Letters 57 (2002) 585.
- K. Kuroki, T. Kimura, R. Arita, Y. Tanaka and Y. Matsuda, “ $d_{x^2-y^2}$ -vs.  $d_{xy}$  like pairing in organic superconductors  $\kappa$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>X”, Phys. Rev. B 65 (2002) 100516.
- Y. Asano, Y. Tanaka and S. Kashiwaya, “Retro property of a quasiparticle and zero energy states in normal metal/d-wave superconductor Junctions”, Phys. Rev. B 65 (2002) 064522.
- Y. Tanaka and S. Kashiwaya, “Andreev bound state and charge transport in unconventional superconductors”, Physica C 352 (2001) 30.
- H. Tsuchiura, Y. Tanaka, M. Ogata and S. Kashiwaya, “Lattice model calculations for  $d_{x^2-y^2}$ -wave Josephson junctions”, Physica C 352 (2001) 165.
- T. Hirai, K. Kusakabe and Y. Tanaka, “Doping effects on Josephson current in Mott's Insulator/anisotropic superconductor junctions”, Physica C 352 (2001)169.
- N. Yoshida, Y. Tanaka, J. Inoue and S. Kashiwaya, “Current fluctuation in ferromagnet/unconventional superconductor junctions”, Physica C 352 (2001) 199.
- N. Yoshida, Y. Tanaka, J. Inoue and S. Kashiwaya, “Influence of zero-energy state on tunneling magnetoresistance in ferromagnet/d-wave superconductor/ferromagnet tunnel junctions”, Physica C 352 (2001) 203.
- N. Yoshida, Y. Tanaka, S. Kashiwaya and J. Inoue, “Charge transport in singlet superconductor/triplet superconductor junctions”, Physica C 352 (2001) 207
- H. Shibata, S. Kimura, S. Kashiwaya, A. Sawa, N. Matsubara, K. Takita and Y. Tanaka, “Far-infrared optical conductivity of Nd<sub>2-x</sub>Ce<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub> thin films”, Physica C 357-360 (2001) 112.
- T. Hirai, Y. Tanuma, Y. Tanaka, J. Inoue and S. Kashiwaya, “Proximity effect in normal metal/triplet superconductor junction”, Physica C 357-360 (2001)1580.
- S. Shirai, H. Tsuchiura, Y. Tanaka, J. Inoue and S. Kashiwaya, “Effects of interface roughness on d-wave Josephson junctions”, Physica C 357-360 (2001)1584.
- K. Tsuchikawa, N. Yoshida, Y. Tanaka, S. Kashiwaya, J. Inoue and Y. Takagaki, “Theory of tunneling conductance in quantum-wire/unconventional superconductor junctions”, Physica C 357-360 (2001)1588.
- T. Hirai, N. Yoshida, Y. Tanaka, J. Inoue and S. Kashiwaya, “Spin polarized tunneling in

triplet superconductor,” *Physica C* 362 (2001)215.

- Y. Tanuma, Y. Tanaka and S. Kashiwaya, “Interface Effect and Tunneling Conductance of a Normal Metal/d-wave Superconductor Junction”, *Physica C* 362 (2001) 219.
- K. Tsuchikawa, N. Yoshida, Y. Tanaka, S. Kashiwaya, J. Inoue and Y. Takagaki, “Theory of tunneling conductance in quantum wire/d-wave superconductor junctions”, *Physica C* 362 (2001) 224.
- H. Tsuchiura, S. Uno, Y. Tanaka, M. Ogata, J. Inoue and S. Kashiwaya, “Vortex tunneling spectra of high- $T_c$  superconductors based on the t-J model”, *Physica C* 367 (2002) 20.
- Y. Tanaka, H. Itoh, H. Tsuchiura, Y. Tanuma, J. Inoue and S. Kashiwaya, “Quasiparticle Bound States near the Interface of High- $T_C$  Superconductors”, *Physica C* 367 (2002) 73.
- H. Itoh, Y. Tanaka, J. Inoue and S. Kashiwaya, “Effect of disorder on tunnel conductance in normal metal/insulator/d-wave superconductor junctions”, *Physica C* 367 (2002) 99.
- H. Itoh, Y. Tanaka, H. Tsuchiura, J. Inoue and S. Kashiwaya, “Tight-binding formulation of the electrical transport in mesoscopic system with unconventional superconductors”, *Physica C* 367 (2002) 133.
- T. Hirai, N. Yoshida, Y. Tanaka, J. Inoue and S. Kashiwaya, “Electron-hole asymmetry of the tunneling effect in ferromagnet/superconductor junctions”, *Physica C* 367 (2002)137.
- Y. Tanuma, Y. Tanaka and S. Kashiwaya, “Tunneling conductance and broken time reversal symmetry state near the interface of a normal metal/d-wave superconductor”, *Physica C* 367 (2002) 141.
- Y. Tanuma, Y. Tanaka, H. Tsuchiura and S. Kashiwaya, “Local density of states near the surface of high- $T_c$  superconductors under magnetic field based on the t-J model”, *Physica C* 367 (2002) 147.
- K. Tsuchikawa, H. Itoh, Y. Tanaka, J. Inoue and S. Kashiwaya, “Theoretical study of the conductance in normal metal/d-wave superconductor point contacts”, *Physica C* 367 (2002) 161.
- N. Yoshida, H. Itoh, T. Hirai, Y. Tanaka, J. Inoue and S. Kashiwaya, “A relation between the zero-bias conductance and spin polarization in ferromagnetic metal/d-wave superconductor junctions”, *Physica C* 367 (2002) 165.
- N. Yoshida, H. Itoh, H. Tsuchiura, Y. Tanaka, J. Inoue and S. Kashiwaya, “Theory of the spin-dependent transport in superconducting quantum point contacts with a ferromagnetic metal”, *Physica C* 367 (2002)185.
- H. Shibata, S. Kimura, S. Kashiwaya, S. Kohjiro, A. Sawa, K. Mitsugi and Y. Tanaka, “Far-infrared optical conductivity of  $NbN_{1-x}C_x$  thin films”, *Physica C* 367 (2002) 337.

(2) 特許出願

なし