



|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 量子トンネルスペクトル測定による超伝導電子状態に関する研究   |
| Author(s)    | 村上, 博成  |
| Citation     | 大阪大学, 1995, 博士論文  |
| Version Type | VoR   |
| URL          | <a href="https://doi.org/10.11501/3104989">https://doi.org/10.11501/3104989</a> |
| rights       |   |
| Note         |   |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

|               |  |
|---------------|--|
| 氏 名           | むら 村 上 博 成   |
| 博士の専攻分野の名称    | 博 士 ( 工 学 )  |
| 学 位 記 番 号     | 第 1 2 0 2 9 号  |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平 成 7 年 5 月 3 1 日  |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第4条第2項該当   |
| 学 位 論 文 名     | 量子トンネルスペクトル測定による超伝導電子状態に関する研究                                |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査)<br>教 授 青木 亮三<br>教 授 白藤 純嗣      教 授 平木 昭夫      教 授 村上 吉繁 |

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、より高臨界温度  $T_c$  を有する新超伝導物質を探索する上で、必須と考えられる層状銅系酸化物の高温超伝導発現機構の解明、ならびにその超伝導マイクロエレクトロニクス素子開発の上で問題となる接合素子界面状態を調べることが主たる研究目的として、量子トンネル分光法による超伝導電子状態の観察、及び良好な接合界面特性を持つトンネル接合素子開発に関し、現在までの研究成果及び経過について論述したもので、9章から構成されている。

第1章では、本研究の目的と意義、さらに本論文の構成について述べている。

第2章では、量子トンネル現象の一般的事項について概説している。

第3章では、酸化物高温超伝導体の電子構造、結晶構造等の一般的性質について概説している。

第4章では、トンネルスペクトル観察に用いる高精度高調波検出回路及び超高真空・極低温下で原子分解能を有して安定動作するSTM/STSシステムの開発、及びそれらの評価実験結果について述べている。

第5章では、酸化物高温超伝導体と同様その超伝導発現機構に興味をもたれている低キャリア濃度超伝導体Pb (Tl) Teに対し、トンネル分光法を用いて初めて母体PbTeの価電子帯中に2つの準局在化したTl不純物電子状態が存在することを直接観察することに成功しており、またキャリア輸送特性、超伝導特性の観察から、この系の超伝導がこれらTl不純物バンドにおける伝導キャリアの共鳴散乱と密接に関わっていることを明らかにしている。

第6章では、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8-x}$  単結晶試料に対して行った種々のトンネル接合法によるスペクトル測定結果について述べている。膜積層型では、酸素イオンビーム照射を応用して、良好な試料界面特性を有した接合素子の作成を可能にしている。また点接触法では、各結晶面でのギャップ異方性を明らかにするとともに、超伝導電子対形成の媒介子機構としてフォノン関与を示すスペクトル構造を見いだしている。さらに低温STM/STS観察から、本質的超伝導層とされている $\text{CuO}_2$ 面上での超伝導電子状態の直接観察に初めて成功し、この超伝導体の異方的s波超伝導特性を指摘している。

第7章及び第8章では、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  及び  $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4-y$  試料に対して行った一連のトンネルスペクトル測定結果について述べている。試料表面劣化の著しいこれら試料に対し、特別に超高真空・極低温下で極清浄試料表面を実現し

て、これまでにほとんど例を見ない高信頼性のSTSスペクトル観察に成功している。それら良質なスペクトル特性から、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ と同様に異方的s波超伝導体の可能性を指摘している。

第9章では、第4章から第8章で得られた本研究の知見を総括している。

## 論文審査の結果の要旨

超伝導電子状態は、フェルミ面に微小なエネルギーギャップを有する独特の構造をし、その解析にはエネルギースペクトルに高分解能を有する量子トンネル分光法が有力な手段となる。

本研究では、高温超伝導体のエネルギーギャップ構造及びCooper対特性解析のため、各種トンネル接合による分光システムを研究開発し、それを用いて $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ 、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ 、 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-y}$ 等の典型的な酸化物高温超伝導体の電子状態を解析したもので得られた主な成果は次の通りである。

- (1) 各種トンネル分光のために微分コンダクタンスの高分解能解析を可能にする低雑音高調波回路システムの構成、極低温超高真空状態で清浄試料面の保持観察を可能にするクライオスタット系の構築、 $\text{BiO}$ 等酸化物超伝導体における格子面原子識別分解能を有するSTM/STSシステムの開発等に独自の工夫技術で成功している。本技術は最近の半導体表面状態の解析などにおいて新しい工学的応用の途を開くものである。
- (2) 典型的な高温超伝導酸化物である $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ 、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ 、 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_{4-y}$ などの各試料特性に応じたトンネル接合を膜接合法、点接触接合法、真空ギャップ法などの方式で作成する際に、独特の工夫と条件設定により、表面劣化を伴わない清浄で良好な接合を完成し、ゼロバイアスコンダクタンスレベルが常伝導レベルの2~3%以下という極めて明瞭な超伝導ギャップ構造の観測に成功している。この結果は、これら高温超伝導体が一貫して有限ギャップを有することを示唆している。
- (3)  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ においてSTM/STS同時観察により、単位格子内各原子面に対応する超伝導ギャップ構造の分別観察に成功して発表した結果は、現在まで国内外で報告されていた各種スペクトルの判別基準を与えるものとして広く学会で注目されている。
- (4) 低雑音の高次微分コンダクタンススペクトル解析の結果、超伝導ギャップの外側に微細構造を検出し、Eliashbergギャップ方程式による解析により、これらが酸化物内の光学フォノンスペクトルと対応することを明らかにしている。このことは高温超伝導電子対結合にフォノンが関与することを示唆している。

以上のように、独自に開発した量子トンネル分光技術により、高温超伝導酸化物の電子状態及び電子間相互作用について多くの新たな知見を得ており、電気電子工学に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。