



#### 4. 高温超伝導単結晶BSCCOのトンネルBreakJunction特性

##### Tunneling Break Junction Characteristics of High Tc Superconductor BSCCO Single Crystals

R. Aoki, A. I. Akimenko, H. Murakami, and V. A. Gudimienko

##### 「トンネル分光の有用性」

Tunneling Spectroscopyは超伝導電子状態や電子間相互作用についての直接的な情報を与える有効な実験手段である。特にhigh Tc 酸化物ではその高温超伝導の発現機構は未だ解明されておらず、その究明には単に臨界温度や臨界磁場のようなマクロ相転移点の観測にとどまらず、ミクロ情報としてのgap異方性やgap内外の状態密度、さらにはクーパ対介在励起子スペクトルなどの知見を与えるトンネル分光法はきわめて有効であり、種々の実験が行われている。

##### 「トンネル分光法の問題点」

しかしこの電子トンネル分光技術の困難は、清浄な試料表面上に電子のトンネルが可能な極薄膜で一様なトンネルバリアーを形成してその上に対向電極を設定することである。そのような清浄平滑な試料表面としては単結晶へき開面を用いることが考えられ、とくにへき開可能なBSCCO試料などで実験が行われている。[1]

##### 「試料表面清浄化法」

その場合にも、我々の研究で見い出された問題点は、へき開面上に人工のトンネルバリアーを形成しようとして絶縁物や半導体の極薄膜を蒸着すれば、high Tc oxide の特性である酸素結合の不安定性から、容易に界面反応変質が生じて、厳密な清浄試料面が得られない点にある。とくにトンネル分光の場合には試料表面から原子径程度の電子波長の及ぶ範囲の電子状態が測定対象となるために、試料表面状態がきわめて敏感にトンネルスペクトルに影響を与えることになる。[2]

### 「真空トンネル分光法」

そのため近來の技術動向として、人工のトンネルバリアー膜を形成することなく高真空中の試料表面に近接して針状の対向電極を置き、その間隔をマイクロ原子単位で調節して真空バリアーを用いる走査型トンネル分光法(STS)が多く用いられている。

しかしその場合にも予めへき開した試料をスペクトルメータ内に持ち込めば、すでに表面にガス吸着が生じているので、高真空スペクトロメータ内で試料へき開を行うことが必要である。ところがその場合でも室温でへき開すれば、直ぐに酸化物試料表面からの構成酸素の脱離が起こるので、試料台を予め液体ヘリウム温度に冷却しておいて、観測寸前に装着試料表面をへき開することが要求される。

このようにして我々はへき開可能なBSCCO単結晶試料について真空トンネルSTS装置により精密なトンネルスペクトル測定を行って多くの結果を報告してきた。[3]

### 「真空トンネル分光法の問題点」

しかしながらこの測定方法にも次の限界がある。

- 1) 試料表面がへき開可能なc軸に垂直な[ab]面に限られるためトンネル電子は主としてc軸方向なので、異方性の著しい[ab]面内の情報が得られない。
- 2) 針状対向電極との間の真空トンネル分光では、電子トンネル確率が小さくて、クーバー対媒介子スペクトルが反映されるトンネルコンダクタンスの2次微分スペクトルの観測などが困難である。
- 3) 対向電極の位置がマイクロ原子単位の微妙な調節のために、試料温度を変化すると熱膨張により真空トンネルバリアーの条件が変化する。そのためにトンネルスペクトルの温度変化が同一条件で観測できない。

### 「Break Junction法の利点」

これらの問題解決のためには別のトンネル接合法を採用せねばならない。

その一つにBreak Junction法がある。これは試料の破断部を接合に用いる方法であって、何らの介在物を導入せず新鮮な破断面間の空隙をバリアーに用いるので理想的なSIS接合であるが、任意方向の接合を得ることは困難である。とくにへき開容易な結晶ではどうしてもマイクロにはその方向の接合が優先する。

### 「本研究の特色」

そこで本研究ではBSCCO単結晶試料を、弾性板に重ねたコルツなどの基板上に例えばc軸が基板面に平行になるように（図.1参照）設定して、その周辺をエポキシ樹脂で包埋して基板とともに強制的に破断することにより、破断面内にc軸を含みその上、a+bの適当な方向軸を含むように破断面を選択できることを計画した。

そのために基板には予めノッチを刻んで破断方向を誘導することにした。

また、エポキシ樹脂には分子量の異なる組成の混合を行い温度膨張係数を結晶試量と合わせて密着性を良くした。

### 「実験結果」

このような工夫によって、試料装着の弾性板を微動ネジで曲げながらBSCCO結晶試料の破断実験を行い、その破断面を走査電顕で観察した限りでは図.2で観られるようになんかなり平滑な接合面を得ることに成功した。

そして弾性板の曲がり (bending) を微動ネジで変えることにより接合抵抗を調節することを可能にした。それが数百 $\Omega$ から数十キロ $\Omega$ の領域で超伝導ギャップのトンネルスペクトルが観測された。

しかし、それ以上にbendingを大きくして行っても接合抵抗は無量大近くには達せずズルズルと同様の抵抗値の起伏をくりかえすうちに、接合コンダクタンスはジョセフソンjunction的特性も示すことから、つぎのことが考えられた。すなわちこの接合は理想的な平滑破断面間のbreak junctionとはならず、ミクロにはへき開容易な[ab]面間のslippingによる多点接触がbendingの過程で続いているものと考えられる。

### 「新しい特徴」

しかしながら、この接合の最も好ましい特性はbending途中の各点において接合を保持してトンネルスペクトルを観測した後、温度変化サイクルを加えてもトンネル特性が再現性良く図.3のように観測された。いままで真空トンネル法などでは超伝導gapの温度変化が同一接合で測定困難であったことから考えて、大きな実験上の利点である。

これは最近の $T_c$ 以上の温度でのスピン励起に関連するpseudo gapの出現問題など、高温超伝導発現機構の究明にきわめて有効な手段と考えられる。

「参考文献」

- [1] H. Murakami, and R. Aoki; IEICE Transact. on Electronics, vol E76-C8 pp. 1303-1309(1993)
- [2] H. Murakami, S. Hiramatu, and R. Aoki; Physica C vol. 261 pp. 302-308(1996)
- [3] R. Aoki, and H. Murakami; "Problems in Tunneling Spectroscopy for High T<sub>c</sub> Superconductors" (ed. by A. Narlikar, Nova Science Pub. Inc. Newyork 1996)

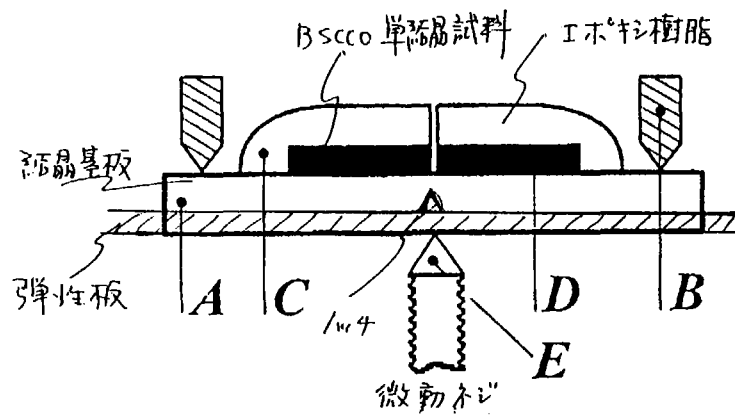


図.1 Break junction 構造模式図

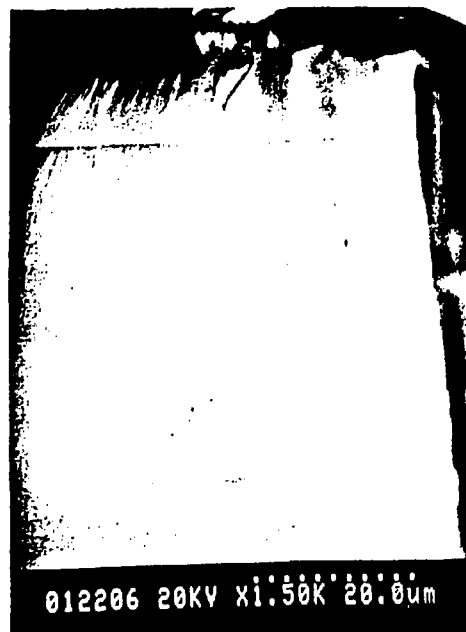


図.2 BSCCO 単結晶 破断面の走査電顕像

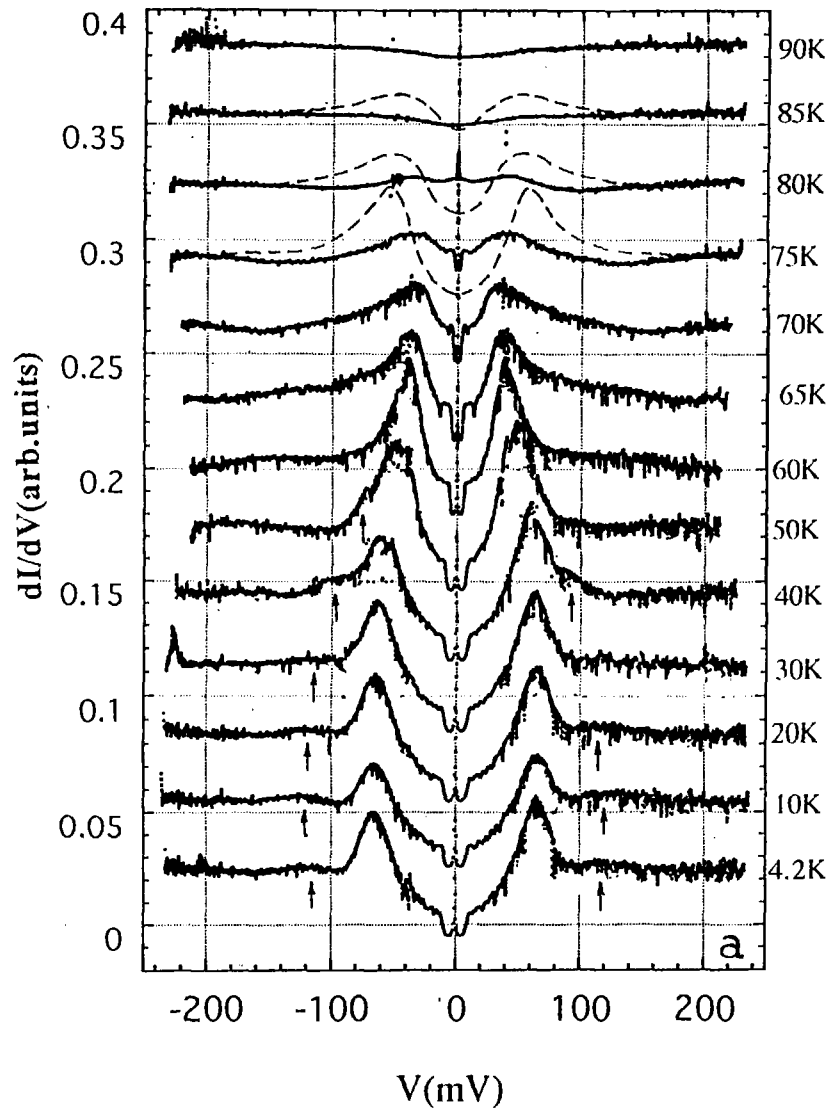


図.3 Break junction によるBSCCO超伝導トンネルgapの  
温度変化観測スペクトル