

電子トンネル分光による optimum ～overdope 域における 擬ギャップ構造の観察

佐賀大学理工学部 物理科学科

鈴木淳史、田中秀吉、麻生泰臣、鈴木守夫、鄭旭光

abstract

最適ドープ域からオーバードープ域にかけてキャリア数をコントロールしたBi2212系に対して電子トンネル分光を用いて擬ギャップ形成の様子を観測した。その結果、最適ドープ状態、オーバードープ状態のどちらにおいても超伝導転移温度よりも高温でフェルミ面近傍にギャップ様構造が残ることを確認した。これは超伝導を示すほぼすべてのドープ領域で擬ギャップ構造が存在することを意味しており、その起源が超伝導出現の舞台である異常金属相の形成に深く関連することを示唆している。

Introduction

酸化物高温超伝導体においてトンネル分光により電子状態密度の温度依存性を測定すると転移温度よりも高い温度域においてフェルミレベル近傍にギャップ様構造（擬ギャップ）が観測されることがある（図1）。これは以前から知られていた、転移温度よりもかなり高い温度で核磁気緩和率に現れるスピンギャップ異常[1]と直接関連するものと考えられ、擬ギャップ問題として知られている。擬ギャップの起源がこの物質の電子構造を特徴づける「長距離秩序を持たない磁氣的相互作用」に深く関与することは確かなようであるが、その具体的なメカニズムについてはそれほど明確なコンセンサスが得られているわけではない[2-4]。擬ギャップの物性を正しく理解し、高温超伝導現象との関連性を議論するにはその出現条件、特にキャリア数に対する出現条件を明確にすることが重要と考える。本研究では特にBi2212系のオーバードープ域に対象を絞り観測を進めた。

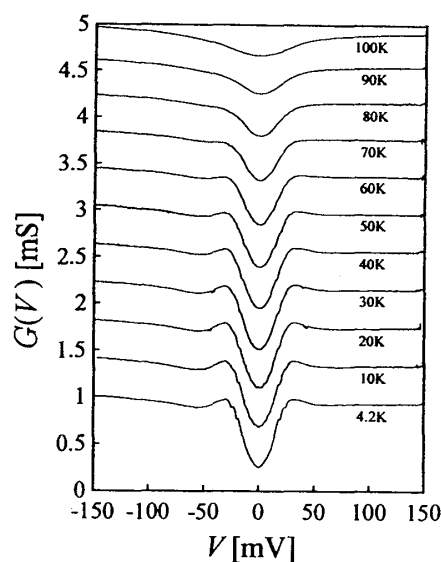


図1
Bi₂Sr₂CaCu₂O₈において観測された擬ギャップ構造の典型例

Experiments

測定に用いた試料はフラックス法により作成したBi₂Sr₂CaCu₂O₈ およびBi₂Sr₂Ca_{1-x}Na_xCu₂O₈の単結晶である。これらに対し 調整雰囲気下(O₂+Ar)でのポストアニール(800℃、40時間)を

施した。この単結晶のへき開面（c 面）上にSiOとAgを逐次真空蒸着してSINトンネル接合（図2）を作成し観測を行なった。

Results

(1) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$

図3に最適ドーブ（ $T_c=90\text{K}$ ）、オーバードーブ（ $T_c=85\text{K}$ ）に関するトンネル分光の測定結果を示す。双方とも転移温度よりも高い温度領域においてフェルミ面近傍に状態密度の落ち込み（擬ギャップ）が観測される。これは擬ギャップ構

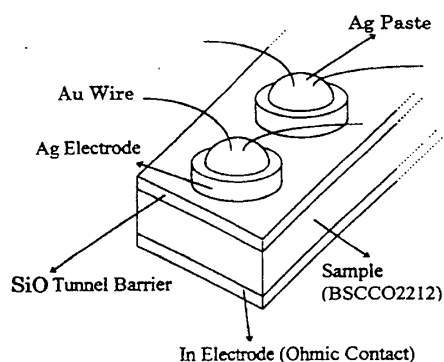


図2
本研究で作成したトンネル接合の模式図。

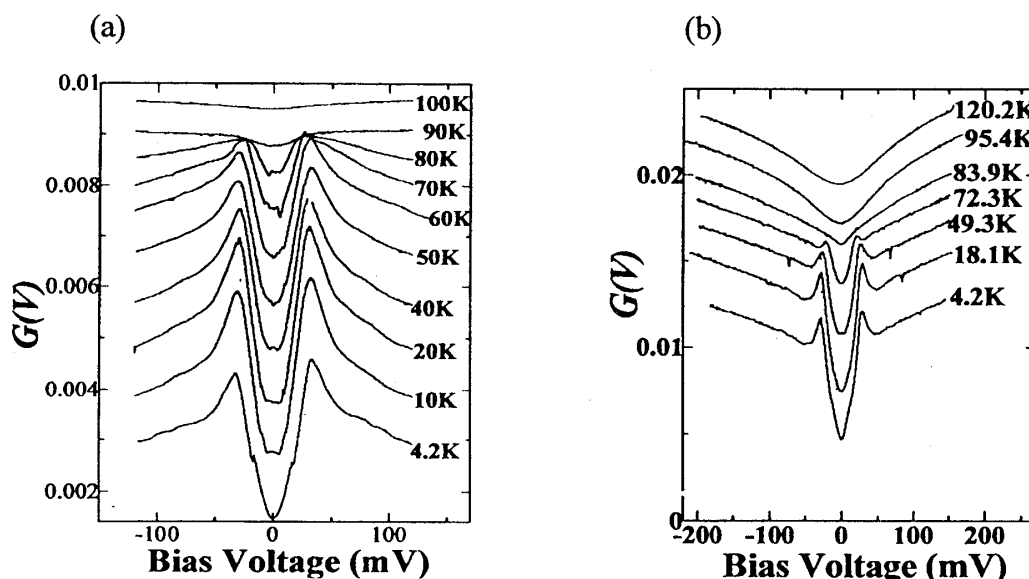


図3

電子トンネルスペクトルのキャリア濃度依存性：(a) 最適ドーブ試料（ $p(\text{O}_2)=0.043$, $T_c=90\text{K}$ ）、(b) オーバードーブ試料（ $p(\text{O}_2)=1.00$, $T_c=85\text{K}$ ）

造の出現条件がライトドーブ域にのみ限定されるものではなくむしろ超伝導が出現するキャリア領域全体にまたがるものであることを示唆している[5]。また、最適ドーブ試料ではそのスペクトル曲線のバックグラウンド形状が特異な温度依存性を示すこともわかった。このような顕著な温度依存性は今のところ最適ドーブ領域のサンプルでしか観測されていない[6, 7]。

(2) $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Cu}_2\text{O}_8$

Bi2212 の Ca^{2+} サイトを Na^+ で置換した試料に対する観測結果を図4に示す。図中に示した x の値はそれぞれ単結晶作成に際しての仕込み量であり、実際の Na 濃度とは若干のずれがあると推測されるが、 x の増加とともにその超伝導転移温度は連続的に減少し、さらにホール係数から見積もったキャリア濃度値も一方的に増加傾向を示す。この場合にもオーバードーブ領域に入っていると考えられる $x=0.15$ の試料において擬ギャップ構造が観測された。

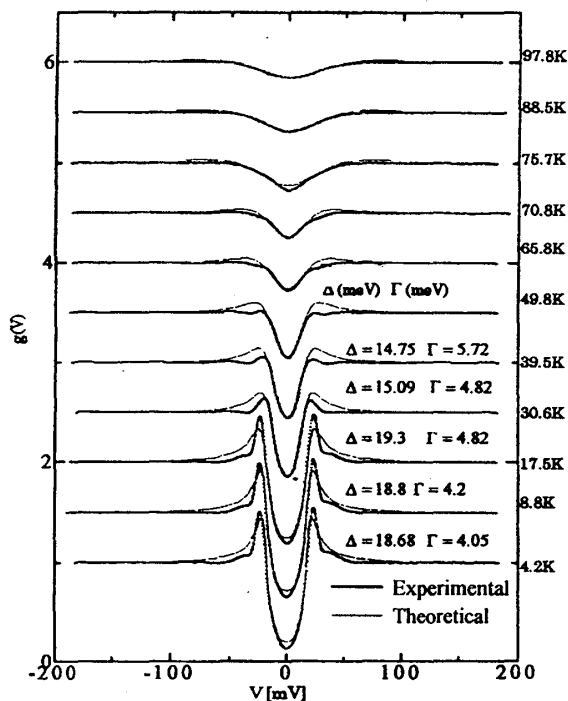
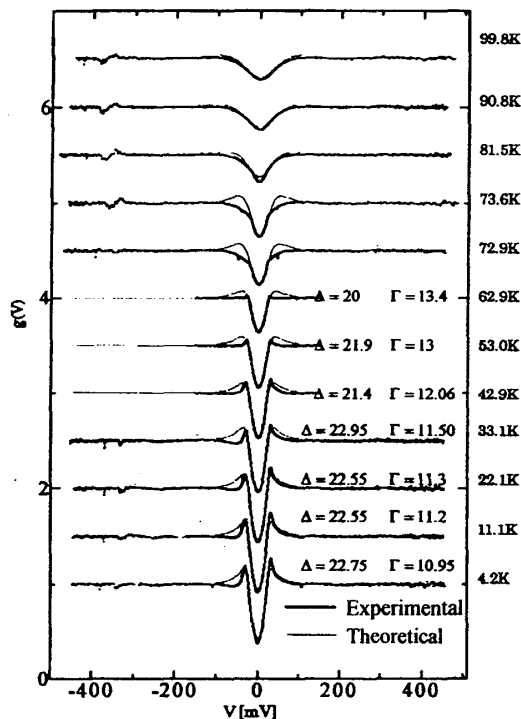
(a) $x=0.05$, $T_c=89\text{K}$ (b) $x=0.15$, $T_c=85\text{K}$ 

図4

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Na}_x\text{Cu}_2\text{O}_8$ において観測された電子トンネルスペクトルのキャリア濃度依存性。示したデータは高バイアス側のバックグラウンド曲線を低バイアス側に内挿することによって規格化してある。

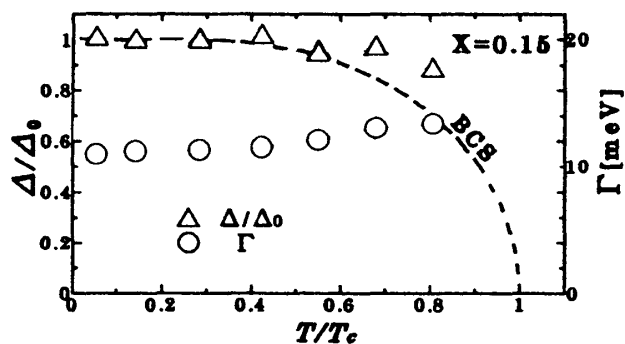


図5

$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{0.85}\text{Na}_{0.15}\text{Cu}_2\text{O}_8$ の観測データに対するパラメーターフィットから求められたギャップの大きさと Γ 値。 Δ_0 は $T=4.2\text{K}$ におけるギャップの値。

これらのデータに対して標準的なDynes's 表式によってギャップ形状をフィットし、その温度変化を見積もったものが図5である。その結果、擬ギャップの大きさは超伝導状態において観測されたギャップのそれにほぼ等しく、転移温度を挟んで両者の構造が連続的につながっていくことが見て取れる。ただし、擬ギャップ構造はその大きさが温度に対してそれほど顕著に変化せず、ガンマの値だけが温度上昇に対して一方的に増加していくことを指摘しておく。これは擬ギャップの振る舞いが一般に言われる超伝導ギャップとは根本的に異なるものであることを示唆している。

しかし、バックグラウンド自体も微妙に温度依存性およびドーピング依存性を示しており、今後、精密な議論を行なう際には生データから擬ギャップ構造を抽出する際の解析手順について何らかの共通認識を確立しておくことが必要である。

Summary

以上、Bi2212系に対して2通りの方法によってキャリアドーピングを行い最適～オーバードーピング領域の試料について電子トンネル分光を行ない、フェルミ面近傍の電子状態を観測した。その結果、最適ドーピング状態、オーバードーピング状態のどちらにおいても超伝導転移温度よりも高温でフェルミ面近傍に擬ギャップ構造が現れることを確認した。これはこの構造が超伝導を示すほぼすべてのドーピング領域で存在することを意味しており、その起源が超伝導出現の舞台である異常金属相の形成に深く関連することを示唆している。

References

- [1] H.Yasuoka, T.Imai and T.Shimizu: *Springer Series in Solid State Science 89, Strong Correlation and Superconductivity*, ed H.Fukuyama, S.Maekawa and A.P.Malozemoff (Springer-Verlag, New York, 1989) p254.
- [2] M.Oda, K.Hoya, R.Kubota, C.Manabe, N.Momono, T.Nakano and M.Ido: *Physica C*281(1997)p135.
- [3] M.Sato: *Physica C*263 (1996) 271.
- [4] K.Kodama *et al.* : *J.Phys.Soc.Jpn.* 66 (1997)p793.
- [5] オーバードーピング域でも擬ギャップが観測されるとする報告は例えば Ch.Renner *et al.*:*Phys. Rev. Lett.* 80, (1998) p149.によってもなされている
- [6] M.Matsuo, M.Suzuki, S.Tanaka and X.G.Zheng, *PHYSICA C* 282-287 (1997) 1497-1498.
- [7] A.Suzuki, M.Suzuki, M.Kuno, Y.Aso, X.G.Zheng and S.Tanaka: *Proc. Int. Symp. on Supercon. (ISS 98)*