

修士論文要旨

piezo素子を用いたポイントコンタクト技術の開発と 鉄砒素系超伝導体への応用

東北大学大学院理学研究科 物理学専攻
低温物質科学グループ 森岡 貴之

研究の背景と目的

鉄砒素系超伝導体は、2008年に発見された銅を含まない新しい高温超伝導体である。これまで1111系と呼ばれる $L_n\text{FeAs}(\text{O}_{1-x}\text{F}_x)$ (L_n :希土類金属、転移温度 T_c の最大値55 K)や122系と呼ばれる $A\text{Fe}_2\text{As}_2$ ($A = \text{Ba}, \text{Sr}, T_c$ の最大値38 K)が、相次いで発見されている。これらの物質は共通して Fe_2As_2 面の2次元ネットワークを持つことが知られている。また、最近の理論や実験により FeAs 系の多くは複数の超伝導ギャップをもつ超伝導体(マルチギャップ超伝導体)であることが示唆されている。しかし、高温超伝導体の起源を議論する上で重要な超伝導ギャップの温度・磁場依存性やマルチギャップの性質などは明らかになっていない。本研究では、piezoポジショナーを用いた接合面間のトンネル抵抗を制御可能なトンネル分光装置を開発する。さらに、開発したポイントコンタクト法を鉄砒素系超伝導体へ適用し各結晶軸方向に対する超伝導ギャップの振る舞いを明らかにする。

トンネル測定技術の開発

ポイントコンタクト法として、piezoポジショナーを用いた接合面間トンネル抵抗の制御を行うために、室温、低温において0.1 nmオーダーで位置を制御できる、piezo素子 Piezo electric linear positioner,(Attocube ANPx51)を用いたx軸方向の微小距離移動装置を作製した。装置の写真と模式図を図1(a),(b)に示す。piezo素子は、三角波パルス状の電圧を印加することで伸縮する圧電素子であり、移動距離を電圧、温度を変えて測定することによって、本装置の特性を確認した。室温における移動距離は1パルス(15V)あたり86 nmであり、また低温での移動距離は同じ印加電圧下で室温の0.24倍であり、1パルス(15V)あたり ~ 20 nm (= 200 Å)であった。この装置の信頼性を確認するために、本装置を用いて、従来型の典型的な超伝導体 Nb と Au 間のトンネル測定を行った。Nb と Au が接触した後、トンネル抵抗の1パルスあたりの変化は100 Ω付近までは、 ~ 4700 Ω/パルス、それ以降は ~ 0.50 Ω/パルスの変化をすることがわかった。この結果をもとにパルス数でトンネル抵抗を制御し良質なポイントコンタクトが形成されることを確認した。図2にトンネルコンダクタンス dI/dV - V 特性の温度依存性を示す。温度が T_c (~ 9.3 K)に向かうにつれてコヒーレンスピークが減少していくことがわかる。最低温度3 Kにおけるトンネルスペクトルに対して超伝導ギャップ Δ 、トンネルバリアの高さ Z をパラメータを含む

Blonder-Tinkham-Klapwijk(BTK)理論に、準粒子に関連したブロードニングパラメータ Γ を取り入れたmodified-BTK理論($T=0$)との比較を行った。図3に3 Kのデータのフィッティング結果を示す。実験結果は $\Delta = 1.5$ meV, $\Gamma = 0.3$ meV,

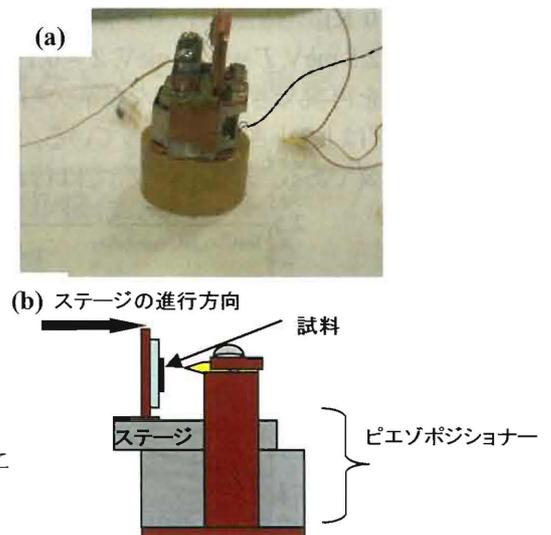


図1 piezoポジショナーを用いた分光装置の実物(a)との模式図(b)

$Z = 0.66$ として再現できることがわかった。この値は他の文献値と良く一致しており良質なポイントコンタクトが形成されていることが確認できた。

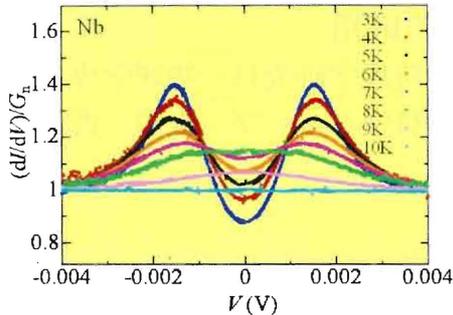


図2 Nb-Au ポイントコンタクトによる微分コンダクタンスの温度依存性

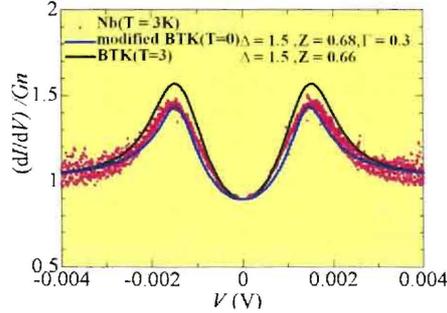


図3 Nb-Au ポイントコンタクトによる微分コンダクタンスの3Kと理論曲線

FeAs 系超伝導体のトンネル測定

FeAs 系超伝導体のトンネル測定に用いた試料は、フラックス法で作成された典型的電子ドーパ122系の $\text{Ba}(\text{Fe}_{0.93}\text{Co}_{0.07})_2\text{As}_2$ ($T_c \sim 24$ K) 単結晶である。試料の I - V 特性を4端子法(図4(a))によって測定し、微分することでトンネルコンダクタンス dI/dV - V 特性を得た。トンネルコンダクタンスは、フェルミ面付近の超伝導状態密度を反映する。 ab 面内方向の測定では、図4(b)試料の尖った部分を加工せずに用いた。 c 軸方向に対しては、層状になっている面を剥がしクリーンな面を出して測定を行った。

$\text{Ba}(\text{Fe}_{0.93}\text{Co}_{0.07})_2\text{As}_2$ のトンネルコンダクタンス測定の結果を図5に示す。図に示される特徴的な3種類のスペクトルが接合の方向によらず得られた。このうち、明らかに超伝導ギャップの存在を示すと思われるトンネルコンダクタンスを2バンドを想定した modified BTK 理論

($T = 0$ K) にもとづいてフィッティングを行った。結果を図6に示す。2種類のエネルギーギャップ $\Delta_S = 2.5$ meV, $\Gamma = 0.25$ meV, $Z = 0.19$ 及び $\Delta_L = 7$ meV, $\Gamma = 0.22$ meV, $Z = 0.6$ 仮定することで実験結果を再現できた。大きなギャップは、他の研究で報告されている値とほぼ一致するが、小さなギャップはより小さい値となっている。他のスペクトルについては、不純物による効果などさらに検討が必要である。また、本研究では行われなかった温度・磁場依存性など更なる研究が必要である。

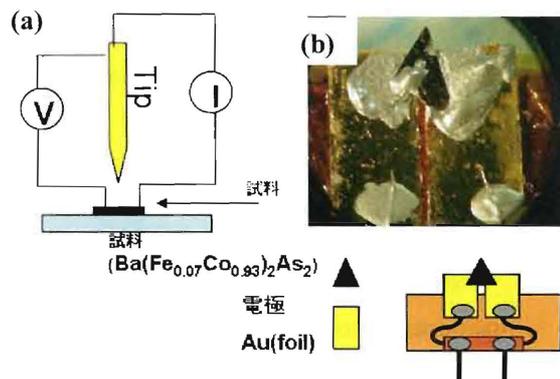


図4 (a) $\text{Ba}(\text{Fe}_{0.93}\text{Co}_{0.07})_2\text{As}_2$ 端子付け (b) 4端子法の原理図

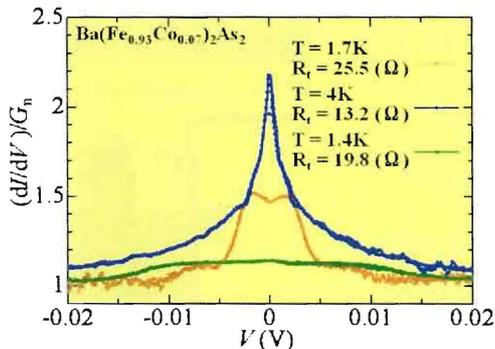


図5 $\text{Ba}(\text{Fe}_{0.93}\text{Co}_{0.07})_2\text{As}_2$ の測定よりえられた特徴的な微分コンダクタンス

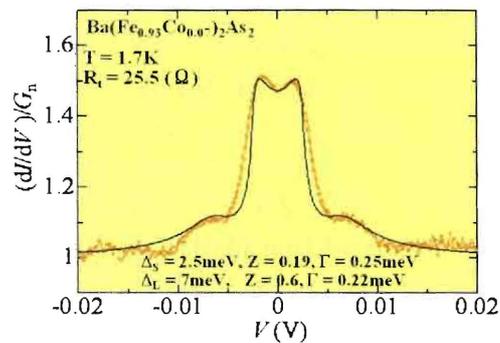


図6 $\text{Ba}(\text{Fe}_{0.93}\text{Co}_{0.07})_2\text{As}_2$ の c 軸方向の微分コンダクタンスのフィッティング