

YBa₂Cu₃O_y/La_{0.7}Ca_{0.3}MnO₃トンネル接合膜の超伝導特性におけるスピン注入効果

東北大学大学院理学研究科物理学専攻 岩田 充

GMR (巨大磁気抵抗)、TMR (スピントンネル磁気抵抗)、CMR (超巨大磁気抵抗) 効果など、近年電子のスピンに依存した伝導現象について、数多くの研究がなされている。今、強磁性体と超伝導体のトンネル接合系において、強磁性体から超伝導体へとトンネル電流を流した場合を考える。これは超伝導体に対するスピン配向した準粒子注入となるため、そのクーパー対破壊効果によって、超伝導オーダーパラメータを制御することが出来ると考えられる。特に、強磁性体としてCMR効果を示すMn酸化物を用いた場合、その高いスピン分極率から、非常に強いスピン注入効果が期待できる。そこで本研究では、La_{0.7}Ca_{0.3}MnO₃/LaAlO₃/YBa₂Cu₃O_y (LCMO/LAO/YBCO) の強磁性体/絶縁体/超伝導体トンネル接合膜を用いて、その超伝導特性におけるスピン注入効果を調べた。

トンネル接合膜は、3元スパッタ装置を用いて、SrTiO₃(100)基板上にLCMO/LAO/YBCOの順でヘテロエピタキシャル成長させることにより作製した(YBCOはc軸方向)。フォトリソグラフィ法とケミカルエッチング法を用いて微細加工を行うことで、図1(a)(b)のようなブリッジ型とパッド型の構造をもつ試料を得た。図中①と③の端子を用いてスピン注入電流 I_{inj} を流しながら、④～⑦の端子を用いたYBCOの臨界電流 I_c 測定や、電気抵抗温度依存性 $R(T)$ 測定を行った。さらに、②と⑤の端子を用いてLCMOとYBCO間のトンネル電圧 $V_T(I_{inj})$ 測定を行った。

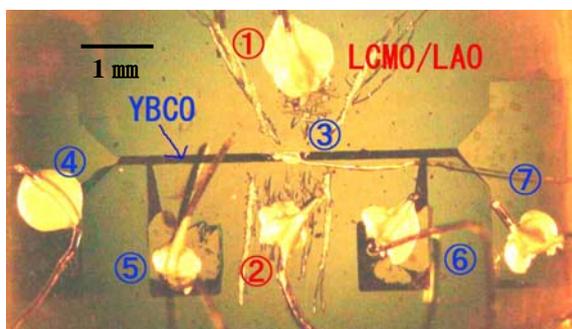


図1(a) ブリッジ型試料 (M17)

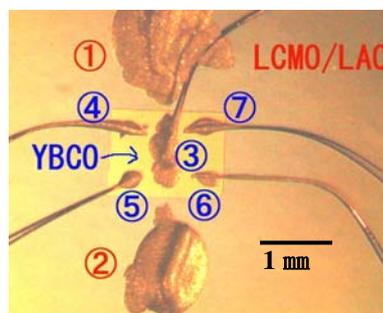


図1(b) パッド型試料 (M24)

典型例として、75Kでのブリッジ型試料におけるYBCOの電流電圧(I - V)特性が I_{inj} によって変化していく様子を図2に示す。 I_{inj} を増やしていくと $V = 0$ の領域が減少し、やがてオーミックな I - V 特性に変わる。これは、スピン注入の効果によって I_c が減少し、ついには $I_c = 0$ の常伝導状態になることを示す。図3に、各温度において I - V 特性から求めた I_{inj} と I_c との関係を示す。 $I_{inj} = 0$ の際の I_c と、 $I_c = 0$ となる I_{inj} とを用いて定義されるゲイン $G \equiv I_c(I_{inj} = 0) / I_{inj}(I_c = 0)$ を計算すると、ゲインは10を超えた。この値は従来の実験で報告されている値[1]と比べても大きい方に属する。これにより、スピン注入によって超伝導特性を十分制御できる試料の作製に成功したと言える。

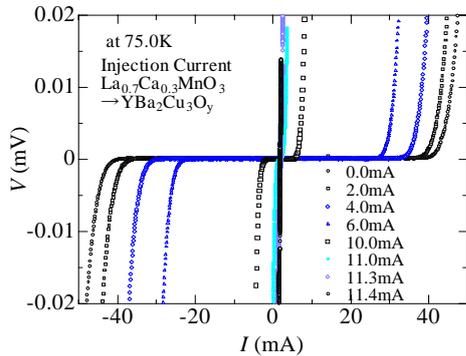


図2 $I-V$ 特性の I_{inj} による効果 (M17)

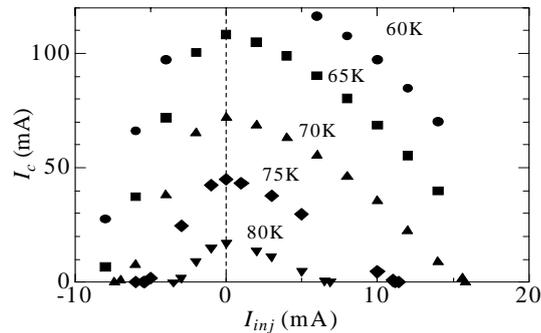


図3 I_{inj} による I_c の減少 (M17)

両試料における、 I_{inj} ($I_c = 0$)と温度 T の関係を図4にプロットする。これは、 I_{inj} による超伝導転移の相境界を表す。実際、 $R(T)$ 測定において求められた超伝導転移温度 T_c の I_{inj} による変化と一致する。そこで、各温度においてトンネル電圧 $V_T(I_{inj})$ を測定し、この境界を横切る時の変化を調べた(図5)。 dI_{inj}/dV_T は、正負両方向での V_T の増加に対しピークをもって急激に減少する。このピーク位置での I_{inj} は、図4中の相境界とほぼ一致する。よってこのピークで相転移が起こっていることがわかる。Takahashiらの計算[2]によると、 s 波的な超伝導体では $T = 0$ K近傍を除いて、 I_{inj} による超伝導から常伝導への相転移は連続的(2次転移的)となり、この時 $I_{inj}-V_T$ 特性は超伝導状態から常伝導状態の曲線に連続的につながることが報告されている。本研究の結果もこの様な場合に相当する。よってYBCOのような d 波の超伝導においても、 c 軸方向にスピン注入することによって起こる超伝導転移は、少なくとも T_c 近傍において連続的なものであると結論される。

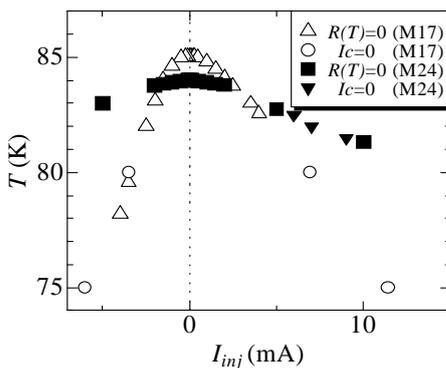


図4 I_{inj} と超伝導転移温度の関係

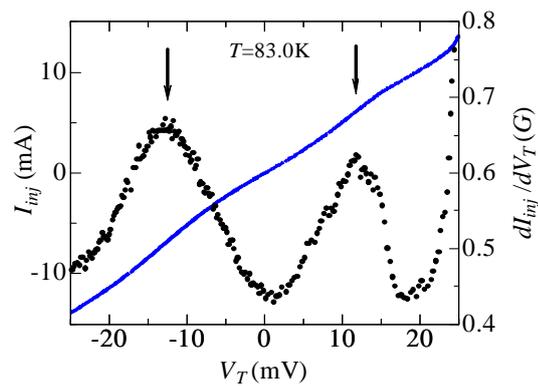


図5 V_T-I_{inj} 特性と V_T-dI_{inj}/dV_T の関係 (M24)

- [1] Z. W. Dong, R. Ramesh, T. Venkatesan, Mark Johnson, Z. Y. Chen, S. P. Pai, V. Talyansky, R. P. Sharma, R. Shreekala, C. J. Lobb, and R. L. Greene, Appl. Phys. Lett. **71**, 1718 (1997).
 [2] S. Takahashi, H. Imamura, and S. Maekawa, Phys. Rev. Lett. **82**, 3911 (1999)