$Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ 固有ジョセフソン接合における第 2 スイッチの臨界電流密度依存性

Critical Current Density Dependence of the Second Switch in $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ Intrinsic Josephson Junctions

京大院工, ○ 野村 義樹, 岡本 陸, 神原 仁志, 掛谷 一弘

Kyoto Univ., ○Y. Nomura, R. Okamoto, H. Kambara, I. Kakeya

E-mail : nomura@sk.kuee.kyoto-u.ac.jp

【背景】固有ジョセフソン接合は金属超伝導体を用いたジョセフソン接合に比べ超伝導層や絶縁層がきわめて薄いため、近接するジョセフソン接合が強く相互作用することが理論的に指摘されている [1,2]。$Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$(Bi2212) では第 2 スイッチと呼ばれるスイッチでスイッチング確率分布測定を行ったところ、クロスオーバー温度が 8 ~ 10 K と理論値に比べて一桁程度高くなる現象が観測されている [3,4]。この現象は $Bi_2Sr_2CuO_{6+\delta}$(Bi2201) では観測されているが、$Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10+\delta}$(Bi2223) では観測されておらず、電荷結合による相互作用を示す結果が得られている [5]。電荷結合の影響は電荷遮蔽長が長いほど強くなるため、電荷遮蔽長が変化すればクロスオーバー温度の上昇率が変化すると考えられる。電荷遮蔽長はキャリア濃度に依存し、キャリア濃度は臨界電流密度に反映されるため、臨界電流密度の異なる Bi2212 の試料で第 2 スイッチのスイッチング確率分布測定を行った。

【実験結果、考察】Bi2212 単結晶を TSFZ 法で育成し、育成した単結晶からおよそ 1 μm^2 のメサ構造素子を複数作製した。今回測定した試料の臨界電流密度は 1.0 kA/cm^2 ~ 2.0 kA/cm^2 である。同一の結晶を用いているため各試料の組成はほぼ等しいと考えてよく、臨界電流密度の違いは酸素ドープ量に起因するものであると考えられる。これらの試料でスイッチング確率分布測定を行い、第 2 スイッチに関してその分布幅を評価した。分布幅の評価は、熱揺らぎによる理論式で得られた分布幅をフィットし実効温度を計算することで行った。実効温度が温度依存性を示さなくなる最高温度をクロスオーバー温度 (T^*) とし、第 2 スイッチの T^* と臨界電流密度の関係を図 1 に示す。理論上の T^* は ~ 1 K なので、先行研究と同様に T^* が一桁程度高くなっていることが分かる。また T^* と臨界電流密度の関係に注目すると、臨界電流密度が 1.0 kA/cm^2 の試料で T^* が 8.0 K で最大値をとり、臨界電流密度の増加とともに T^* が低下していくことがわかる。このような負の相関は単一接合モデルでは説明できず、Large Junction モデル [6] でも説明できない。したがってキャリア濃度の増加とともに電荷遮蔽長が短くなり、その結果電荷結合が弱くなったため T^* が減少したと考えられる。

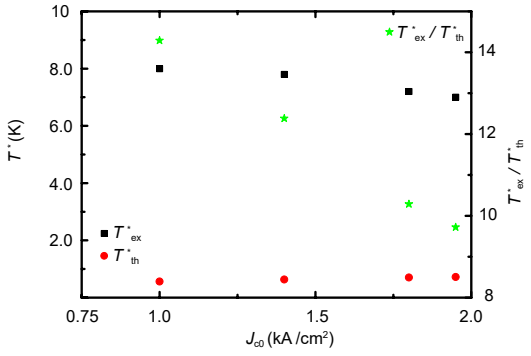

図 1：臨界電流密度とクロスオーバー温度の関係

[1] T. Koyama, and M. Tachiki, Phys. Rev. B **54**, (1996) 16183.

[2] S. Sakai, P. Bodin and N. F. Pedersen, J. Appl. Phys. **73**, (1991) 2411.

[3] H. Kashiwaya, *et. al.*, Phys. Soc. Jpn. **77**, (2008) 104708.

[4] K. Ota, *et. al.*, Phys. Rev. B **79**, (2009) 134505.

[5] Y. Nomura, *et. al.*, J. Phys. Soc.Jpn. **84**, (2015) 013704.

[6] N. Mros, *et. al.*, Phys. Rev. B, **57**, (1998) 8135.

© 2016年 応用物理学会