

Title	多層膜Nb-Cuにおける超伝導近接効果
Author(s)	鄭, 国慶
Citation	大阪大学低温センターだより. 69 P.1-P.4
Issue Date	1990-01
Text Version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/11094/8245
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

多層膜Nb-Cuにおける超伝導近接効果

基礎工学部 鄭 国慶 (豊中 4693)

常伝導体を超伝導体に電氣的に接触させると、クーパー対が超伝導体から常伝導体に侵入し、常伝導体でも超伝導現象が起きる。この近接効果は超伝導試料内部においてもしばしば起きる。例えば最近の高温超伝導体の試料において、近接効果によって超伝導を示す部分は磁場に弱いため、試料全体の臨界電流 J_c が上がらない、という報告がある。¹⁾ また、Y-Ba-Cu-Oにおける高温超伝導の発現機構を考えるに当たって、CuO₂層が高温超伝導の担い手で、CuO鎖はCuO₂との近接効果で超伝導が実現する、という考えもある。近接効果による超伝導体の性質、例えばクーパー対の侵入深さやその磁場依存性などは古くから研究されてきた。しかし、未解決の問題もあり、特に電子の励起状態はあまりわかっていない。

我々はCuとNbを交互にスパッタ蒸着したNb-Cu多層膜を東北大金研の藤森研で作り(図1)、NMR法によりCuの微視的電子状態を研究した。^{2),3),4)} ここにその概要を紹介する。

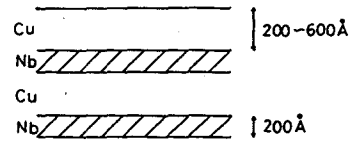


図1 Nb-Cu多層膜。

NMRで測る物理量(緩和率やスペクトルのずれ)は、電子の状態とその変化を反映するものなので、NMRは超伝導を研究するのに有力な手段であり、実際BCS理論の確立に大きな役割を果たした。また、違う核を選択的にみることができると、NMRは多層膜の研究にも他の手法より適している。

図2に磁場循環法によって測定した零磁場における⁶³Cuの緩和率 T_1^{-1} を示す。²⁾ 試料はNbの厚みが200 Åで、Cuの厚みが200 Å~600 Åのものである。直線は $T_1 \cdot T = \text{一定}$ の関係を示すものである。図からわかるように、 T_c より上では、 T_1^{-1} がバルク金属銅(非超伝導)で見られるような $T_1 \cdot T = \text{一定}$ の関係に従う。一方、 T_c より下では一旦増大をしてから急激に減少する(低温で $T_1 \propto \exp(\Delta/k_B T)$ 、 $2\Delta \sim 2.5 k_B T_c$ でフィットできる)。この振舞いはBCS超伝導体で見られるものと似ている。しかし、より低温では、 T_1^{-1} の減少が緩やかになり、 $T_1 \cdot T = \text{一定}$ となる。これは、温度とともにずっと指数関数

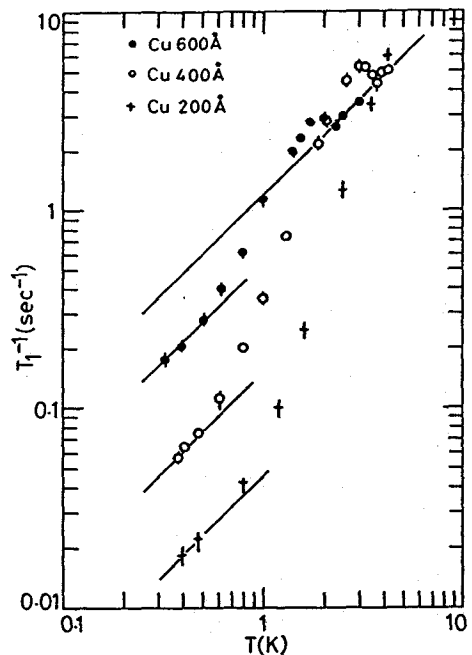


図2 零磁場における⁶³Cuの緩和率。
 $d_{Nb} = 200 \text{ Å}$ 。

的に減少するというBCSの振舞いとは大きく異なる。さらに、特徴的なのは、Cu層が厚い程、 T_1^{-1} の値が大きい。低温で T_1^{-1} が T に比例する振舞いは、近接効果を扱うMcMillanの簡略化したモデルからは予言されていないが、⁹⁾我々は多くの実験結果から、この振舞いは本質的なものであると結論した。

McMillanのモデルにおいては、膜厚がコヒーレンス長より十分小さい場合、常伝導層(N層)の電子状態を、電子がN層で滞在する時間 τ_N で記述される。 τ_N は、

$$\tau_N = L_N / (\sigma \cdot v_F)$$

のように書かれる。ここで、 L_N は電子がS-N界面に衝突するまでにN層で動く距離で、 σ は衝突する際Sにトンネルされる確率を表す。また v_F はフェルミ速度である。簡略化のため、すべての電子について L_N をある平均値として取られている。このモデルの結論は、N層においても、有限なエネルギー・ギャップが現れるということである。N層で引力相互作用がなければ、その値は $\Delta_N \sim \hbar / \tau_N$ と表され、特に τ_N が小さい場合ギャップはBCSと同じ値 $\Delta_N = 1.75 k_B T_c$ で表される、とされている。このモデルに基づいて計算された T_1^{-1} の温度依存性は、BCS理論のものと酷似している。⁹⁾

ところが、我々の試料においては、Cu膜の平行方向に走る電子の平均自由行程は6000Åぐらいあり、膜厚(200Å~600Å)よりはるかに大きい。したがって、平行方向に走る電子と垂直方向に走る電子とでは、 L_N が大きく違い、電子の τ_N が大きく分布する。そのため、すべての電子を一つの τ_N で記述するのに無理があると思われる。

そこで我々は、 τ_N の分布により Δ_N が分布するというモデルを考えた。すなわち、膜にはほぼ垂直に走る電子($\theta \sim 0$ 、 θ は膜の法線との角)は τ_N が小さく、McMillanが予言したように、 $\Delta_N = 1.75 k_B T_c$ のギャップがあるとする。だが、 $\tau_N (= d_N / (v_F \cdot \cos \theta \cdot \sigma))$ が増大するにつれ Δ_N が小さくなり、膜にはほぼ平行($\theta \sim \pi/2$)に走る電子は実質的にNb200Å-Cu6000Åにおけるものと同じで、ギャップレスと考える。図3に状態密度の概念図を示す。

このモデルで実験結果を次のように定性的に説明することができる。すなわち、ギャップレスの電子は $T_1 \cdot T = \text{一定}$ の形で、低温で寄与してくる。また、Cu膜が厚いほど、この部分の電子の数が多いので、 T_1^{-1} の値が大きい。一方、ギャップのある電子は主に高温で効く。その結果として、 T_1^{-1} が T_c 直下で一旦増大してから急激に減少する。また、ギャップが $1.75 k_B T_c$ から0まで分布するという仮定は、 T_1^{-1} の減少が、 $1.75 k_B T_c$ の均一なギャップをもつBCS

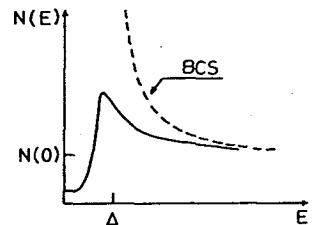


図3 状態密度の概念図。破線はBCS的なものを示す。

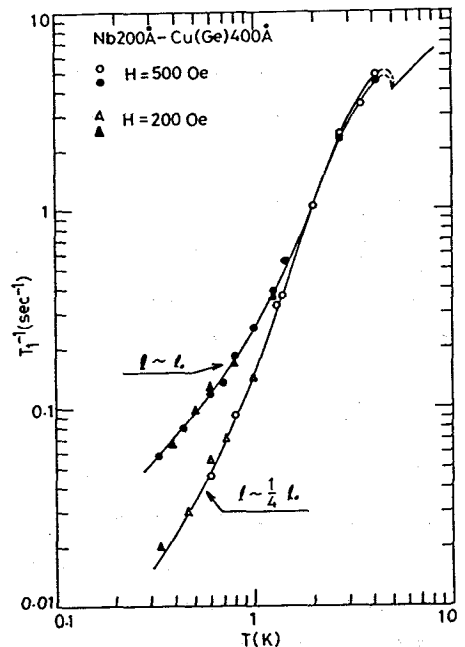


図4 平均自由行程 l の異なる試料についての比較。

超伝導体ほど急激でない、という実験結果をもうまく説明する。

このエネルギー・ギャップの運動量方向に対する“異方性”を取り入れたモデルを支持する実験結果が最近得られた。⁷⁾

図4はCuにGeを混入した試料と純粋なCuとの比較を示す。Ge入りの試料の方は低温で T_1^{-1} の減少が激しく、 $T_1 \cdot T = \text{一定}$ の項が消える傾向にある。これは、不純物散乱によって、電子のS-N界面に衝突する機会が増え τ_N の大きい電子の数が減った、と理解される。

図5に表面(従って界面)が激しく起伏する試料と、表面の平坦なものについて比べる。明らかなように、前者の方は緩和率が低温まで温度と共に激しく減少する。これは、界面が起伏すると電子の運動量依存性(異方性)がなくなり、McMillan Modelが仮定した条件に近づいたため、と解釈できる。

一方、トンネリング(Electronic Tunneling)という実験方法は電子の状態密度を直接測定する。FreakerがCu-Pb2層膜に於いてCuの状態密度を測定したところ、あるエネルギーの値(ギャップと考えられている)から状態密度の急激な立ち上がりを

観測し、またそれと共に、その値より下では有限な状態密度をも観測した。⁸⁾もっともこの状態密度の値は常伝導状態のその数パーセントで、我々が観測した低温での T_1^{-1} から見積もった値(10%以上)よりはるかに小さい。しかし、きれいな試料において、トンネリングは運動量方向が法線方向からほぼ10度ぐらいの範囲内にある電子だけを見るので、この違いはさほど驚くべきものではなく、むしろ両実験結果に共通点が多いと言える。

以上述べたことをまとめると、常伝導金属でさえ、近接効果によって超伝導エネルギーギャップが現れることがわかった。また、ギャップの性質は電子がそこで滞在する時間に左右され、常伝導層の“きれいさ”(平均自由行程の長短)や、超伝導層との界面の状態によっては、ギャップが異方的であり、 $T_1 \cdot T = \text{一定}$ のように緩和率に寄与する低励起があることがNMRの研究でわかった。

参考文献

- 1) X. Cao, T. Zhang and G. Han: Solid Commu. 68 (1989) 1091.
- 2) R. Aoki, G. Q. Zheng, Y. Kohori, Y. Oda, K. Asayama, S. Wada: J. Phys. Soc. Jpn. 56 (1987) 4495.
- 3) R. Aoki, G. Q. Zheng, Y. Kohori, Y. Oda, K. Asayama, S. Wada and Y. Obi: Proc. 18th Int. Conf. on Low Temp. Phys., Kyoto, 1987; Jpn. J. Appl. Phys. 26 (1987) 1455.

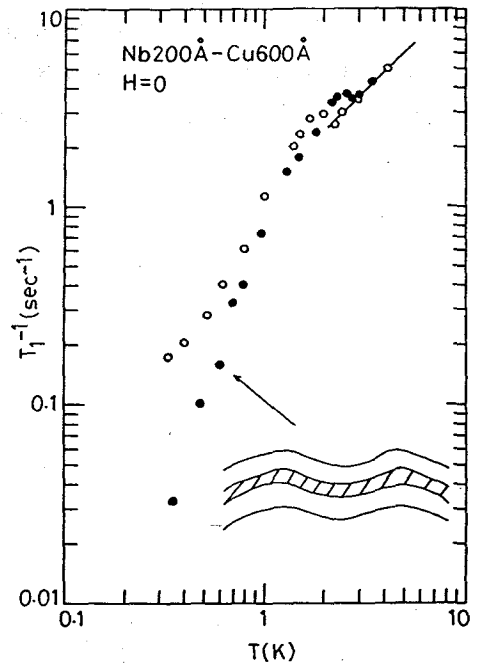


図5 表面が起伏する試料と表面が平坦な試料との比較。

- 4) G. Q. Zheng, Y. Kohori, Y. Oda, K. Asayama, R. Aoki, Y. Obi and H. Fujimori:
J. Phys. Soc. Jpn. 58 (1989) 39.
- 5) W. L. McMillan: Phys. Rev. 175 (1968) 537.
- 6) K. Kuboki and H. Fukuyama: Physica C 153-155 (1988) 705.
- 7) 鄭 国慶、北岡良雄、小田棋景、朝山邦輔、小尾叔久、藤森啓安：日本物理学会 1989年秋分科会3aZE11.
- 8) S. M. Freake: Philos. Mag. 23 (1971) 319.

低温センターで寒剤液化・供給業務を行なっていくにあたっては、高圧ガス取締法により、以下の保安管理のための組織を設けることが義務づけられています。

また、同法の定めにより、立入検査が義務付けられており、今年度は、豊中分室が昨年10月25日、吹田分室は12月6日に大阪府生活環境部消防防災課の職員2名により検査がなされました。大きな注意・指導を受けることもなく、検査は終わりました。これからも、実験室での事故がないよう注意して寒剤を取扱って下さい。

吹 田 分 室

豊 中 分 室

保安統括者	荻野和己(工学部長)	金森順次郎(理学部長)
" 代理	浜口智尋(副センター長)	伊達宗行(センター長)
保安技術管理者	岡田東一	千原秀昭
" 代理	三谷康範	菅 宏
保安係員(機械)	脇坂義美	吉田 立
" 代理	牧山博美	石塚 守
保安係員(化学)		松尾隆祐
" 代理		徂徠道夫

(平成2年1月現在)