

準二次元超伝導とその応用

東北大学金属材料研究所

池部 学, 武藤茅雄, 藤森啓安

§1. 準二次元超伝導

層状化合物超伝導体等において、層間の結合が極端に弱くなった場合、超伝導性質にも通常の異方的3次元とは異なった2次元特有なものが期待される。クレムリン¹⁾は微視的理論の立場から、層間がジョセフソン結合で弱く結ばれている超伝導体の場合、層に平行な上部臨界磁場 $H_{c2\parallel}$ が無限大に発散する事を予言した (KLB理論)。2次元性パラメータ、

$$\gamma = \frac{4}{\pi} \left(\frac{\xi_{\perp}(0)}{c/2} \right)^2, \quad \xi_{\perp}(0) \text{ は } 0\text{Kでの層に垂直なGLコーヒルズ長, } c \text{ は層間距離,}$$

が定義され、 $\gamma < 1.76$ の条件を満たす程 γ の値を小さく出来れば、 $H_{c2\parallel}$ の発散が期待される。 $H_{c2\parallel}$ の無限大への発散の異常はパウリの常磁性効果によって抑えられ、けれども、この様な準二次元超伝導体の実現出来れば $H_{c2\parallel}$ が非常に大きくなると予想され、又 $H_{c2\parallel}$ の温度依存性も、異方的3次元超伝導体とは異なったものとなる。

§2. 遷移金属ダイカルコゲナイドの場合²⁾

V族の遷移金属ダイカルコゲナイド、 MX_2 ($M = Nb, Ta, X = S, Se$) は典型的な層状金属である。種々のポリタイプの内、2H型のものは常に超伝導を示す。又金属層と半導体層がC軸方向に交互に配置している4Hb型のものも、混晶にして電荷密度波(CDW)の影響を弱めてやる事により超伝導を示す様になる。図1に $Ta_{0.95}Nb_{0.05}S_2$ の組成を選び、2H, 4Hb, 4Hbにピリジン ($Py = C_5H_5N$) をインターカレートした層間化合物の H_{c2} の振舞を示す。半導体層の存在により、2Hに比較して層間のカップリングがより弱いと考えられる4Hbで $dH_{c2\parallel}/dT$ は大きくなり $dH_{c2\perp}/dT$ は小さくなっている。更にPyにより、ピリジンカップルされた4Hb+Pyは $dH_{c2\parallel}/dT \approx 180 \text{ kOe/K}$ と異常に大きな値を取り、異方性比 $H_{c2\parallel}/H_{c2\perp}$ も100を越える。この物質で γ の値を見積もると、0.16程度の非常に小さな値となり、現在知られている最も理想的な準二次元

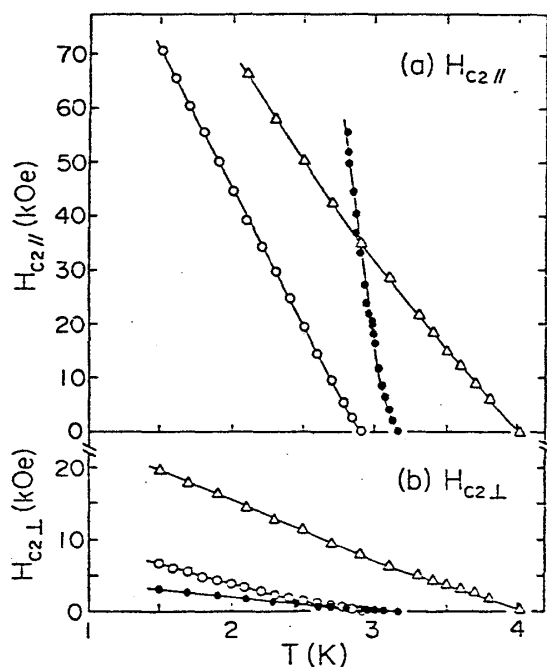


図1. $Ta_{0.95}Nb_{0.05}S_2$ の $H_{c2\parallel}$ および $H_{c2\perp}$. Δ は 2H, $\circ$ は 4Hb, $\bullet$ は 4Hb+Py を表わす。

超伝導体が実現している。 $4\text{Hb-Ta}_{0.95}\text{Nb}_{0.05}\text{S}_2(\text{Py})_{1/2}$ に限らず、 TaS_2 系に有機分子をインターカレートした多くの層間化合物で dH_{c2}/dT は 100 kOe/K 以上の値を取り、 H_{c2} の温度依存性は KLB 理論でよく説明される。これ等の物質で準2次元超伝導が実現しているのは確実なものになってきている。

§3. 多重スパッター法による人工多層膜 Mo/Si の超伝導³⁾

準2次元超伝導体で現在知られている dH_{c2}/dT の最大値は鉛ジブアレル化合物の 60 kOe/K であり、準2次元超伝導体の 180 kOe/K との差は大きい。もし人工的な多層膜に準2次元超伝導体的な性質を持たせる事が出来れば H_{c2} の値に大きな改善が期待され、超伝導材料として応用面からも興味深い。2ターゲットスパッター法により、 Mo/Si の多層膜を作製しその超伝導性質を調べた。図2にX線小角散乱のパターンを示すが、周期 $\lambda = 32.3\text{ \AA}$ を持つ多層膜構造が確認されている。この Mo/Si 膜は $T_c = 7.23\text{ K}$ で超伝導になり、上部臨界磁場としては $dH_{c2}/dT = 20.1\text{ kOe/K}$, $dH_{c2}/dT = 19.0\text{ kOe/K}$ の値を示した。これ等の T_c , dH_{c2}/dT の値は Mo-Si アモルファス超伝導体とはほぼ同じであるが、 $H_{c2}/H_{c2\perp} = 1.06$ と約6%ではあるが、 MX_2 層状化合物に似た異方性を示すのが注目される。図3に Mo/Si 多層膜の臨界電流 J_c を示す。同図に示されている $\text{Mo}_{68}\text{Si}_{32}$ アモルファス合金と比較し、 J_c は一桁以上大きくなっていて Mo/Si の多層膜構造は、ボルクスに対するピン止め中心としても有効であることを示している。人工多層膜で準2次元超伝導実現への道はまだわけわいとお考えられるが、この方法が超伝導材料の特性改善の一方法として注目し値する事は疑えない。

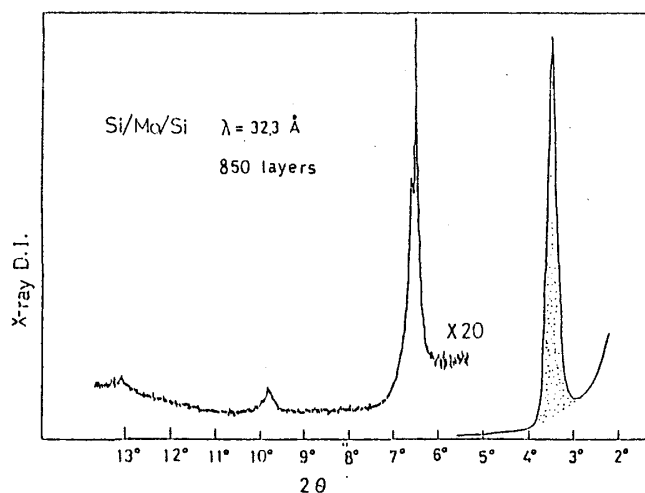


図2. Mo/Si 人工多層膜のX線散乱パターン

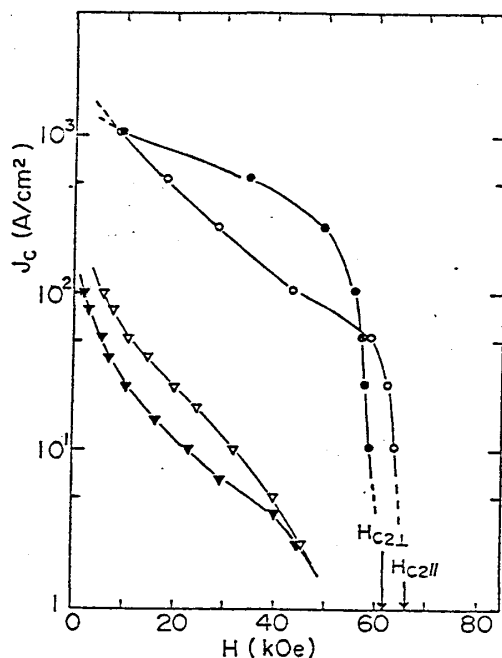


図3. $T = 4.2\text{ K}$ での Mo/Si 多層膜の臨界電流 J_c . ○ は磁場が層に平行、● は垂直、▽ と ▼ は $\text{Mo}_{68}\text{Si}_{32}$ アモルファス合金の同様な J_c を示す。

References

- 1) R.A. Klemm et al., Phys. Rev. B12(1975) 877
- 2) M. Ikebe and Y. Muto., Syn. Metals 5 (1983) 229
- 3) M. Ikebe, N.S. Kazama, Y. Muto and H. Fujimori., IEEE Trans. Mag. 19 (1983) 204