

有機導体における磁性と超伝導について

京大理 町田一成

最近のいくつかの物質で二つの長距離秩序が共存している可能性が指摘されている。層状物質 $2H-NbSe_2$ 等における電荷密度波と超伝導との共存の確認以外に、三元合金系 $(RE)MCoS_2$, $(RE)Rh_4B_4$ でも反強磁性と超伝導との共存は実験的に確かであるとの報告がある。

有機導体 $(TMTSF)_2X$ (tetramethyltetraselenafulvalene, $X=PF_6, AsF_6, SbF_6, BF_4, NO_3$) においても常圧下のスピン密度波と圧力等により誘起される超伝導との共存するかどうか興味を持たれている。

ここでは簡単なモデルに基づいてその可能性について議論してみる。上記の三元合金系と異なりこの系には磁性を担う特別な電子は存在しない。伝導電子が磁性と超伝導の両方を担っている。フェルミ面を分割し第1の領域ではネスタリング条件が満足されているためにSDWギャップが形成され、残りの第2の領域では超伝導ギャップが形成できるとする異方的フェルミ面を持ったモデルを考慮する。分子場近似で相の様子を調べる。即ち $\mathcal{H} = \mathcal{H}_0 + \mathcal{H}_{SDW} + \mathcal{H}_{BCS}$

$\mathcal{H}_0 = \sum_{k\sigma} \epsilon_k C_{k\sigma}^\dagger C_{k\sigma}$, $\mathcal{H}_{SDW} = - \sum_{k \in \text{region 1}} \sum_{\sigma} M C_{k\sigma}^\dagger C_{k+\Delta, \sigma} + h.c.$, $\mathcal{H}_{BCS} = - \sum_{\mathbf{r}} (\Delta C_{\mathbf{r}\uparrow}^\dagger C_{\mathbf{r}\downarrow} + h.c.)$, M は部分格子磁化、 Δ は超伝導の s - d パラメータである。したがって真に両相が競合するのは第1領域であり、超伝導にとってSDWは時間反転対称性を破る振動として働き、超伝導を破壊しようとする。

M と Δ は対応する self-consistent 方程式は

$$\ln \frac{T}{T_c} = 2\pi T \sum \left[\frac{1}{2M} \left(\frac{M+\Delta}{\sqrt{\omega_n^2 + (M+\Delta)^2}} + \frac{M-\Delta}{\sqrt{\omega_n^2 + (M-\Delta)^2}} \right) - \frac{1}{\omega_n} \right]$$

$$\ln \frac{T}{T_c} = \frac{N(\omega)}{N(\omega_c)} 2\pi T \sum \left[\frac{1}{2\Delta} \left(\frac{\Delta+M}{\sqrt{\omega_n^2 + (\Delta+M)^2}} + \frac{\Delta-M}{\sqrt{\omega_n^2 + (\Delta-M)^2}} \right) - \frac{1}{\omega_n} \right]$$

$$+ \frac{N(\omega)}{N(\omega_c)} 2\pi T \sum \left(\frac{1}{\sqrt{\omega_n^2 + \Delta^2}} - \frac{1}{\omega_n} \right).$$

となる。但し $N_1(\omega)$, $N_2(\omega)$ は $\omega=1$, $\omega=2$ 領域のフェルミエネルギーでの状態密度であり、 T_{c0} (T_{c0}) は他の相がない時の超伝導 (SDW) 転移温度である。一次相転移の可能性も考慮するために自由エネルギーも同時に計算し安定な状態を求める。

得られた結論は次のとおりである。

- (1) $T_{c0} < T_{c0}$ では超伝導状態は T_{c0} より低い温度で出現する。二次転移で現われる際には SDW と超伝導とは共存するが、一次の場合は相がそこでそれぞれ変るだけで共存しない。
- (2) $T_{c0} > T_{c0}$ 先に超伝導が出現してしまうと低温で SDW が発生することはない。
- (3) 共存の起きている状態の $\omega=1$ 領域の有効なエネルギーギャップは $|A-M|$ であり、固有状態は 2 つの相の線型結合になっている。
- (4) 単純化された非磁性不純物散乱の効果は、共存領域 ($\omega=1$) のギャップの中に束縛状態を生み出すことがある。更に濃度が希薄な場合には SDW を抑えることにより超伝導転移温度を上昇させる可能性がある。

文献

K. Machida, J. Phys. Soc. Jpn. 50 (1981) 2195

K. Machida and T. Matsubara, *ibid* 50 (1981) 3231

K. Machida, to be published in Solid State Commun.