

(7) 超伝導微粒子薄膜の相転移

東北大金研 前川 禎 通

最近、小林達は直径 200 Å の Sn 微粒子から成る薄膜で次のような測定結果を得た：温度を下げていくと 3.8 K で電気抵抗が急に小さくなる。この温度は個々の Sn 微粒子の超伝導転移温度に対応している。さらに温度を下げると抵抗は徐々に減少し、強い非オーム性を示す。ところが、温度が 2 K 以下になると抵抗が急に増加し始める。我々はこのような微粒子薄膜の性質を超伝導渦糸-反渦糸の結合及び解離現象として解釈する。

個々の Sn 微粒子は zero 次元超伝導体とみなされ、3.8 K 以下では秩序 parameter, $\Delta_i = |\Delta| \exp(i\phi_i)$ を持っている。ここで、 i は粒子の番号、 ϕ_i は位相を示す。このような粒子がお互いに Josephson 結合し、2次元の network を作っている。一方、電子が微粒子間を飛びうつることにより電荷のゆらぎが引き起される。従って、ハミルトニアンは次のようになる。

$$\mathcal{H} = \sum_i U_i n_i^2 + \sum_{i,j} E_J(ij) \cos(\phi_i - \phi_j)$$

ここで、 U_i は電荷のゆらぎにともなう静電エネルギーを示す parameter, $E_J(ij)$ 微粒子 i と j の Josephson 結合の強さを示す parameter。但し、量子力学的関係 $n_i = -2id/d\phi_i$ により位相と電荷のゆらぎが結び付いている。また、位相の変域は $-\infty < \phi_i < \infty$ 。この系での位相のゆらぎとして、量子化された渦糸(反渦糸)が存在することが示される。渦糸の安定性は電荷のゆらぎに依存する。電気抵抗の非オーム性の出現は渦糸-反渦糸の結合状態(Kosterlitz-Thouless 状態)として解釈できる。低温では静電エネルギーの寄与が大きくなり、位相の zero 点振動が大きくなって、各微粒子間の位相の相関がなくなってしまう。従って、低温では電気抵抗が大きくなり、見かけ上超伝導性が消失する。

文献： S. Kobayashi, Y. Tada, and W. Sasaki, J. P. S. J. 49, 2075 (1980), S. Maekawa, H. Fukuyama, and S. Kobayashi, Solid. State Commun. 37, 45 (1981).