

$a\text{-Si}_{1-x}\text{Au}_x$ 金属薄膜の輸送現象：局在と超伝導
東京大学物性研究所 西田信彦

§ はじめに

$a\text{-Si}_{1-x}\text{Au}_x$ の低温の電気伝導は、 $a\text{-Si}$ の *pseudo-gap* 中深い位置に順位をもつ金原子の電子による。金の濃度の低い半導体領域で、電気伝導率は、*variable range hopping* による $\sigma(T) \propto \exp(-(\frac{T_0}{T})^{1/4})$ の温度依存性を示す。そして金の濃度を増してゆくと約14at%で非金属-金属転移をする。(1) $x > 14 \text{ at.}\%$ の金属相で、電気伝導率は興味ある変化を示す。温度の低下とともに、 σ は、ゆっくり減少してゆき、15 K以下で電子間相互作用によると考えられる $\Delta\sigma(T) \propto T^{1/2}$ または $T^{3/2}$ の温度変化をする。さらに1 K以下で、金の濃度の高い試料 ($x \sim 18 \text{ at.}\%$) は、超伝導転移をし、超伝導を示さない試料は、膜厚の薄い場合、二次元金属薄膜で観測されている $\Delta\sigma(T) \propto \ln T$ の局在の前駆現象と考えられる温度依存性を示す(2)。膜厚の大きな試料では、 x を14 at.% に近づけてゆくと、 σ は、Mottのいう $\sigma_{\min}$ より小さな値をとりえ、局在の理論で予言されているように、連続的に金属から絶縁体にかわってゆく。 $a\text{-Si}_{1-x}\text{Au}_x$ 系は、このように、電子の局在、電子間相互作用が重要な役割をしている系であり、かつ、超伝導転移するので局在、超伝導の関係を調べる興味ある系と考えられる。ここでは、超伝導転移温度 T_c が低くなってゆく $x \sim 18 \text{ at.}\%$ の近くで金の濃度、膜厚をかえ、電気伝導度を10 mKまで測定し、 $T \rightarrow 0$ での相図を考察してみる。即ち、金の量を減少させて金属-非金属転移に近づくと、局在、超伝導がいつに起るかを調べてみる。

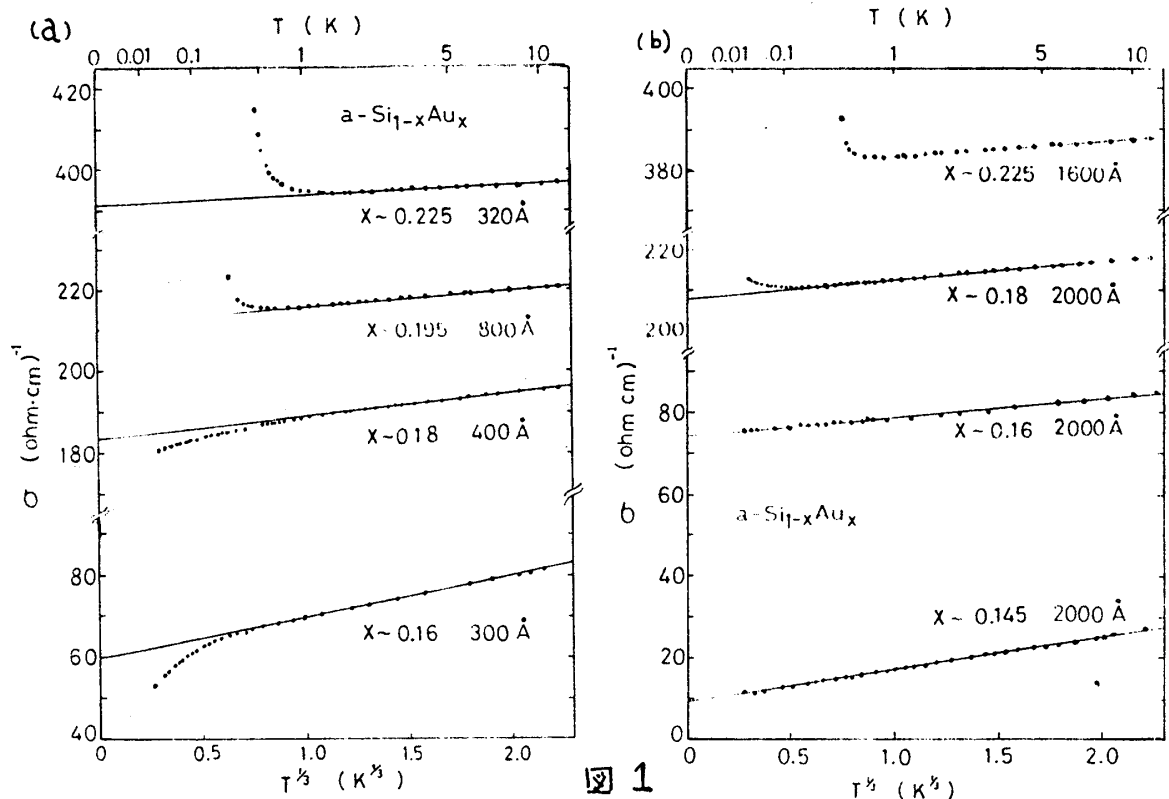


図 1

§ 実験結果と議論

第一図に、零磁場での σ の温度依存性を (a) 膜厚 $300 \sim 800 \text{ \AA}$, (b) 膜厚 $1600 \sim 2000 \text{ \AA}$ の間数として示す(注)。15 K から 1 K の温度では、膜厚によらず

$$\sigma(T) = \sigma_0 + A T^{1/3} \quad (1)$$

の温度依存性を示す。この温度依存性は、金の濃度を一定に保ち膜厚を変えた試料間で、厚までスケールできた。超伝導を示さない膜厚 $2000 \text{ \AA}$ の試料は、測定した温度の下限まで式(1)で表現できるが、厚さ $300 \sim 400 \text{ \AA}$ の試料は、1 K 以下で式(1)からずれ(図五参照)

$$\sigma_0(T) = \sigma_0(1K) + A' \ln T \quad (2)$$

の温度変化を示す。このとき $A' / (\frac{e^2}{2\pi^2 k})$ は、0.7 ~ 1.0 の値をとる。超伝導転移温度 T_c は $T_c > 200 \text{ mK}$ のとき膜厚を変えてもあまり変化しなかったが、 T_c が低くなると、1600 ~ 2000 $\text{\AA}$ の膜厚で超伝導を示す金の濃度の試料でも、超伝導を示さないものがあった。第二図に T_c の金の濃度依存性を示す。

$x \sim 18 \text{ at.}\%$ 近辺で T_c は急激に低くなる。まず膜厚の大きな試料について、 $T \rightarrow 0$ の状態を考察してみる。超伝導を示さない試料は $T \rightarrow 0$ で有限の σ_0 (図1(b)) をもつので金属状態と考えられる。超伝導を示す試料についても式(1)の σ_0 を考え、 σ_0 を $x/x_c - 1$ ($x_c = 14 \text{ at.}\%$) に対し両対数プロットしたものが第三図である。 $\sigma_0 \sim \alpha \sigma_{\min} (x/x_c - 1)^{\nu}$ ($\alpha = 5.3 \pm 1.5$, $\nu = 0.94 \pm 0.15$; $\sigma_{\min} = 100 (\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$) と表わされる。電子数 n と、 $n \propto x$ と仮定すると、局在の理論で予想されるように、 x の減少とともに、連続的に、金属から絶縁体にかわってゆくことを示している。従って、三

次元の場合、 $a\text{-Si}_{1-x}\text{Au}_x$ 系は、測定した温度領域から予想すると、 $T \rightarrow 0$ で

$x < 0.14$: 絶縁体, $0.14 < x < 0.18$: 常伝導金属, $x > 0.18$: 超伝導と考えられる。

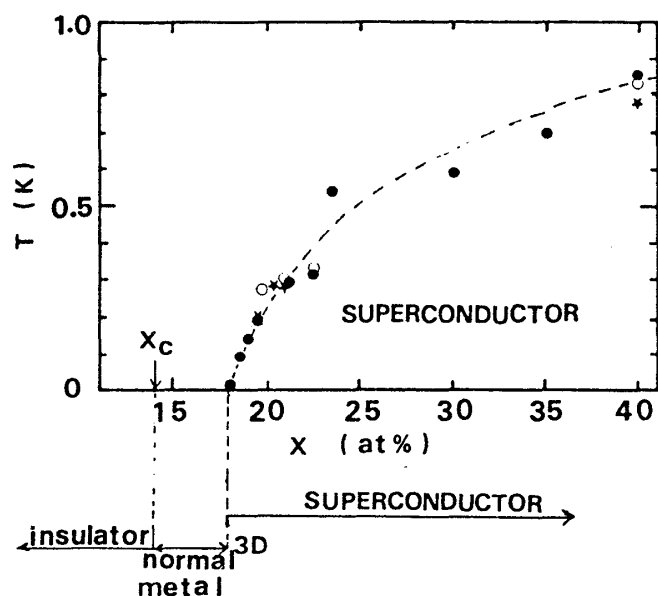
$x \sim 0.18$ 近くでの T_c の減少を考えるため、 $T_c \propto \exp(-1/N(0)g)$ 、自由電子モデルで $1/N(0) \propto n^{-1/2} \propto x^{-1/2}$ と考え、四図に、 $\ln T_c - x^{-1/2}$ をプロットしてみた。このプロットでは

$x \sim 0.18$ で急激な T_c の減少がみられ、この近辺で状態密度 $N(0)$

x は、結合定数 g の急激な変化があると考えられる。これは、局在の現象が超伝導をおこしているのかもしれない。この事情を詳しく調べるため、現在、電子数を求めるための Hall 効果の実験、 σ の磁場依存性データの解析、超伝導の性質 (coherence length ξ , H_{c1} , H_{c2}) の測定、トンネル効果の実験等が進行中である。

(注) 今回測定した一連の試料では式(1)の温度依存性であったが、

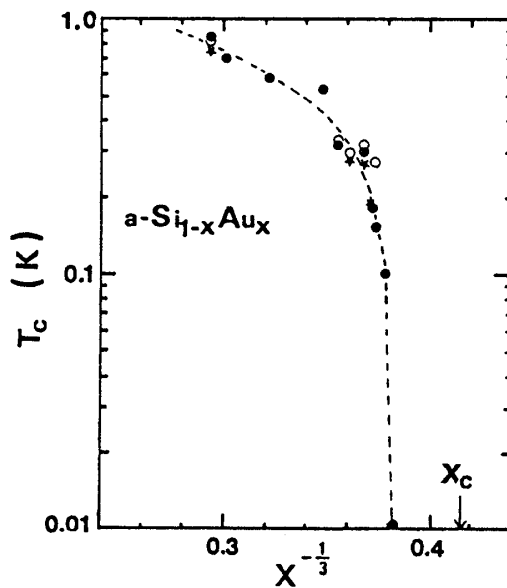
図 2



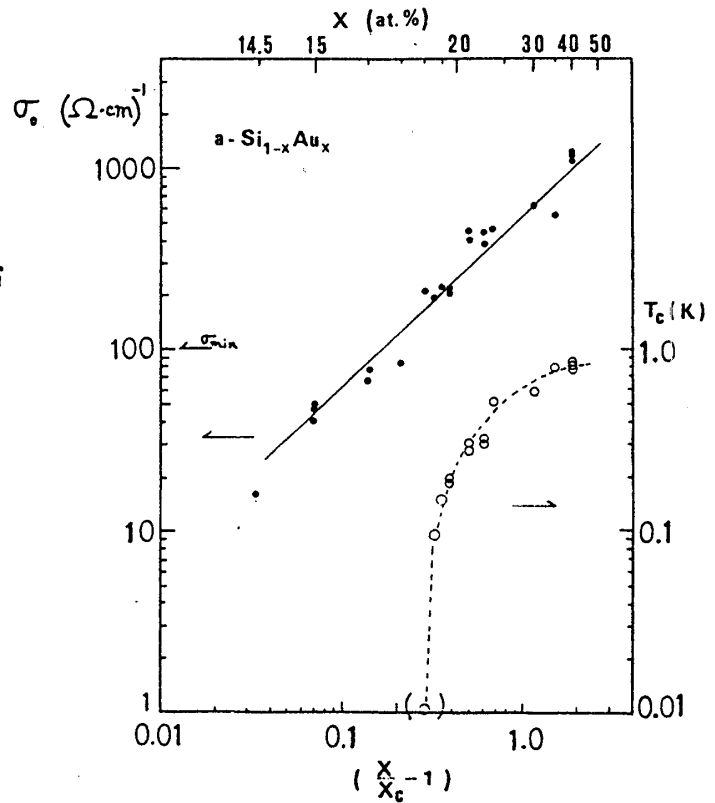
試料によっては、 T_c -依存性が異なる場合もある。この理由は不明である。どちらの温度依存性をとってもおおよそ大きな差はない。

- 1) N. Kishimoto & K. Morigaki:
J. Phys. Soc. Japan 46, 486 (1979)
- 2) N. Nishida, M. Yamaguchi, T. Furubayashi
K. Morigaki, H. Ishimoto and K. Ono:
Solid State Comm. 44, 305 (1982)

(4 図)



3 図



(5 図)

