

ま と め

物性研 菅 原 忠

最後にこの研究会のまとめとして，現状での実験事実と対応する理論との比較，また今後の課題として考えられる実験をいくつかあげておこう。前者においては，実験的にほぼ確立されたと考えられる事実と問題点，また今の理論ではこれらの実験事実をどの程度説明できるかについて述べる。後者では，新しい実験の提案，総合報告の討論中に生れた idea，筆者の提案をおりませ順不同に列挙する。

A 実験と理論との比較

1. 電気抵抗

実験事実

1) 温度依存性

定性的には Fig 1 のようになる。

T_K 付近: $R \propto \log T$ (大体)

$T \lesssim \frac{T_K}{10}$: $R \propto 1 - \left(\frac{T}{T_K}\right)^2$

(例 $A_u - V$, $Y - Ce$, $Cu - Fe$)

2) 残留抵抗

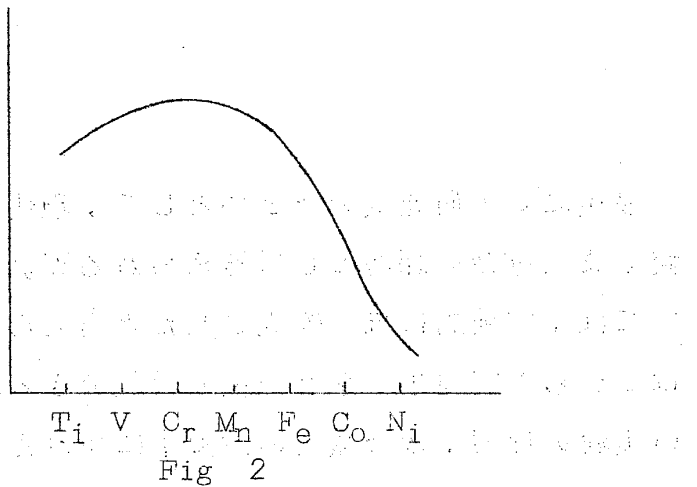
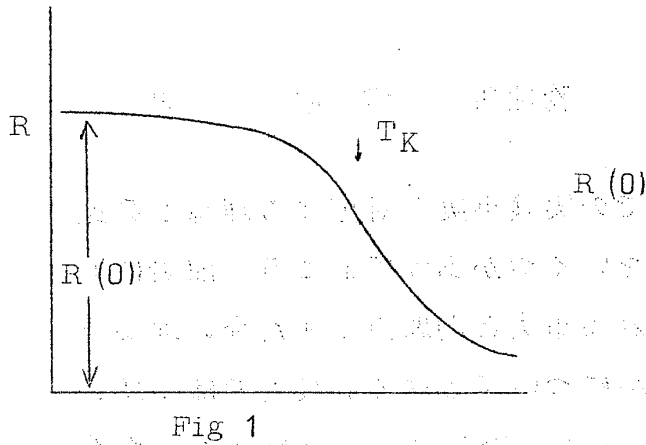
$R(0)$ の impurity による変化

C_r , M_n 付近で極大, Fig 2 (C_u 合金)

3) 濃度依存性

$C_u - C_r$ では 28 ppm C_r 以下ではない。

$C_u - Fe$ では約 500 ppm Fe 以下ではない。



(資料集 page 6)

4) 問題点

実験値から phonon part を差引く方法に疑問がある。(微量 impurity でも phonon part がかなり変化)

以上の事実はほぼ確定したとみてよい。

理 論

1) 温度依存性

さまざまの温度依存性が出されており，実験事実と必ずしも合っていない。

$T \ll T_K$ で $R \propto 1 - \left(\frac{T}{T_K}\right)^2$ は Nagaoka (1966) の他が出ている。

2) 残留抵抗

s-d model では unitary limit を与える。potential を Hamiltonian に入ると phase shift η を含んだ $\cos^2 \eta$ の項が入るが impurity の種類との関係は明白でない。Anderson model では

$$R(0) \propto 5 \sin^2 \left(\frac{\pi N d}{10} \right) \text{ となり (Friedel の式) 実験とほぼ合}$$

う。

3) 濃度依存性

NagaoKa (1967) によると $C_{cr} < (kT_K/E_F)$

Falenban によると $C_{cr} \sim (kT_K/E_F)^2$,

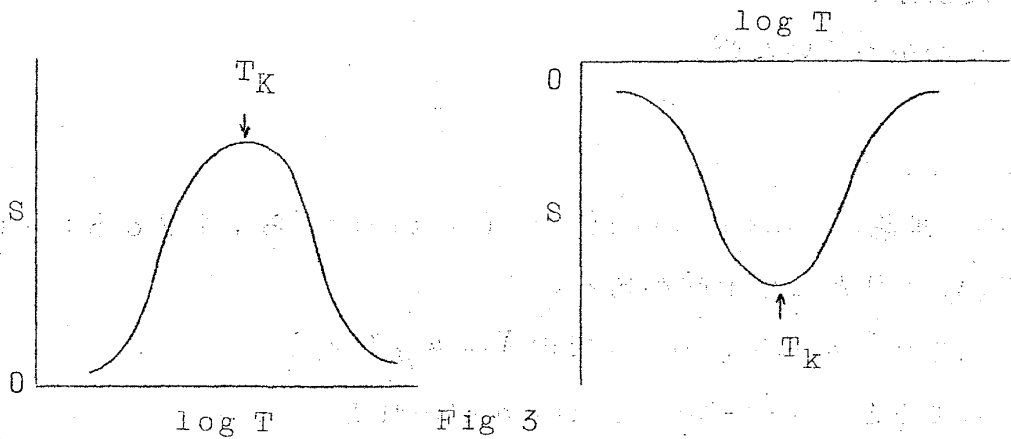
Suhl (Phys Ra Letters 20:656) の C_{cr} は kT_K/E_F より大

2. 熱起電力

実験事実

1) 温度依存性

T_K の付近で極大又は極小 Fig 3



2) 絶対値の impurity 依存性

確定的でない

3) 符号

不確実だが less than half で正, more than half で負らしい。

(A_u - 合金)

4) 濃度依存性

不確実

理論

Suhl-Wong, Fisher (1968), Maki (1968) によると Fig 3 のようになり事実とはほぼ合う。

ポテンシャルが正: $S < 0$

" 負 $S > 0$

Anderson model での計算はない。

菅原 忠

3. 帯磁率

実験事実

1) 温度依存性

$$\chi_m = C / (T + T_K) \quad (T > T_K)$$

$T < T_K$ では deviate する。

例外: $\text{Pd} - (\text{Cr})$ 合金

2) 磁場依存性

よくわかっていない ($\text{Cu} - \text{Fe}$ のは cluster らしい)

磁化は ($T < T_K$) Brillouin 関数よりの deviation がある。

3) 濃度依存性

よくわかっていない。

理論

s - d model

Nagaoka 理論の exact solution (Zittarty ら, 1968) では 0

°K で $\chi_m < 0$ となり矛盾がある。

Yosida - Ishi では 0 °K での $\chi = \mu \beta^2 / E$ 。

田氏によると Curie-Weiss law が導かれる。

$$\chi \propto 1 / (\alpha T + \beta T_K)$$

Anderson model から Suhl は χ_m が Curie - Weiss 的となることを定性的に示した。

4. 比 熱

実験事実

実験は $\text{Cu} - \text{Fe}$ (Daybell-Steyert, 1968) 以外は温度範囲が部分的であるので以下のことはやや不確実

1) 温度依存性

C_m は T_K 付近より増加し T_K より低温で極大を示す。Tail の T dependence は確定的でない。たとえば

$$\propto T \quad (\text{Au} - \text{V} \text{ その他})$$

$$\propto T^{0.4} \quad (\text{Cu} - \text{Fe})$$

2) Entropy

$C_u - F_e$ では $R \ln 2$ 程度である。

3) 注 意

C_m を出すとき格子比熱の差し引きが問題となる。一般に Sample の状態に敏感すぎ bound state の研究には必ずしも適当でない。

理 論

s - d model による計算がいくつかある。比熱極大の温度は確定していない。(Bloemfield Hamannでは $(1/3) T_K$ だが厳密な解ではない)

比熱の tail の温度依存性は Zitterty らの Nagaoka model の exact solution では $(\ln T)^{-4}$, entropy は Zitterty らの式でも $C_u F_e$ ($S = 3/2$) の実験と合はずまだ問題がある。(但し Zitterty らの式を $S = 1/2$ 以外に適用するのはおかしい。)

5. NMR

実験事実

Impurity 自身の NMR ($A_u - V$, $C_u - C_o$, $A_l - M_n$)

とまわりの原子の NMR ($C_u - C_r$, $C_u - F_e$ etc) の研究がある。

1) Knight shift (impurity の核)

$T < T_K$ で大きな正の shift を示す。($A_u - V$, $C_u - C_o$)

$A_l - M_n$ (non magnetic) ではこのような shift がなく多分 bound state はないらしい。

2) T_1 (impurity の核)

dilution によって短くなるが限度がある。($A_u - V$ では 0.3 % 位)

Korringa relation は成立しているかどうか不確実 ($C_u - C_o$ では明らかに $T_1 T = \text{const}$)

3) 幅

impurity の核, まわりの核の NMR の幅の双方とも RKKY 理論より大きい。

磁化と同じような T dependence を示す。

4) 内部磁場 (Mossbauer 効果)

菅原 忠

Brillouin 関数に従わぬ

$$H_{\text{int}}(T) \propto 1/T + T_K$$

不絶物スピンの低温で縮むことにより説明できる。

理 論

よく研究されていない。(Heeger-Jensenらのshiftの理論(1968)は誤りである)

ESR

実験事実

多くのdilute alloyでの実験はあるがbound stateのESRは観測されていない。

Cu-Cr で1 °Kにすれば観測されるであろう。また Cu-Mn に Fe , Co を入れたときの Mn のESRも知見を与えるであろう。

一般論としてbound stateの研究にESRを用いるのはむずかしいであろう。

理 論

bound stateのESRに関する理論はない。電子と不絶物のcoupled systemのdynamicalな問題を解決する必要がある。

B どんな実験をやるべきか

研究会の席上で出た提案・総合報告の討議の中で生れた問題，筆者自身の提案などを含めて列挙してみる。詳細の説明は紙面の都合上省略する。

1. Cu-Mn など Mn (S-state) 合金のbound state (極超低温，極微少濃度のサンプルを用いて)

2. 異常比熱の温度依存性の精密測定，特に極大，Tailの温度依存性を
($1/1000$) T_K くらいの低温まで測定すること。
3. $C_u - C_r$ の T_K 以下の ESR と NMR
4. impurity のまわりで伝導電子の分極の空間分布
5. N_a , K などアルカリ金属での $s-d$ 相互作用 (但し遷移金属の溶解度はかなり小さいようであり，果して可能かどうかわからない)
(提案者，伊達，田沼)
6. R_h , P_d を host metal とする dilute alloy での bound state のふるまい。
7. 光学的方法による研究
8. impurity の核を斉列させ磁気共鳴の方法などを用いる研究 (特に微少濃度にも適用できる) (提案者，伊藤)
9. 帯磁率の磁場依存性 ($C_u - C_r$ など)
10. surface impedance の異常 (提案者，長沢)
11. $A_u - V$ の中性子散乱による電子分極の空間分布 (提案者，久米)
12. 単結晶を用いて $s-d$ 散乱の異方性の研究
13. レーザー光によるラマン散乱 (提案者，守谷)
14. 特殊な不純物として C_e を含む稀薄合金の異常
15. 高圧をかけ状態密度を変化させる。
16. $J > 0$ の不純物を含む稀薄合金の異常を調べること

これらの提案のいくつかはすでに提案者によって検討がなされており，近い将来おもしろい結果が現れることを期待したい。

(終)