

Al-Cr準結晶および結晶相の磁性と電気抵抗

東京大学 物性研究所

東北大学 金属材料研究所

東京工業大学 理学部

後藤恒昭 柳原俊郎 東堂栄

深道和明 木村久道 増本健

若林英彦

§1 はじめに

これまで我々のグループはAl-Mn系準結晶の磁気的、電気的測定を行い、その性質を非晶質相および結晶相と比較し検討を行ってきた。^{1),2)} 今回はAl-Cr系の準結晶の磁気的電気的測定の他に、結晶相の磁気的測定を行つたので報告する。

§2 結晶相の磁性

Al-Cr合金系では、 Al_7Cr 、 $Al_{11}Cr_2$ 、 Al_4Cr 、 Al_3Cr 、 Al_9Cr_4 、 Al_8Cr_5 等の金属間化合物が存在する。これらの合金中のCrの有効Bohr磁子数とPauling Valence (bonding orbitalに入る外殻電子数)³⁾の関係を求めるために、これら結晶相の帯磁率を測定した。

これら合金の4.2 Kにおける磁化は、それぞれ60 kOeの磁場まで、直線的に増加する。図1に20 kOeの磁場中で測定した帯磁率の温度依存性を示す。 Al_3Cr の帯磁率はほぼCurie Weissの法則に従って温度変化し、Crは局在モーメントを持つと考えられる。他の組成の合金の帯磁率は、ほとんど温度変化せず、Pauli常磁性的な変化を示し、Crは局在モーメントを持たない。 Al_7Cr 、 $Al_{11}Cr_2$ では帯磁率がさらに小さく、温度変化がない。帯磁率の測定から得られた結晶相の磁性をまとめて表1に示す。ここで Al_3Cr の帯磁率は $\chi = \chi_0 + C/(T - \theta_p)$ と整理し、Cから有効Bohr磁子数 P_{eff} を求めた。残念ながら、Al-Cr系の結晶相の構造は Al_7Cr 、 Al_8Cr_5 を除いてほとんど明らかではない。 Al_7Cr 、 Al_8Cr_5 ではCr-Siteと最近接原子間の距離および配位数から計算したPauling Valence

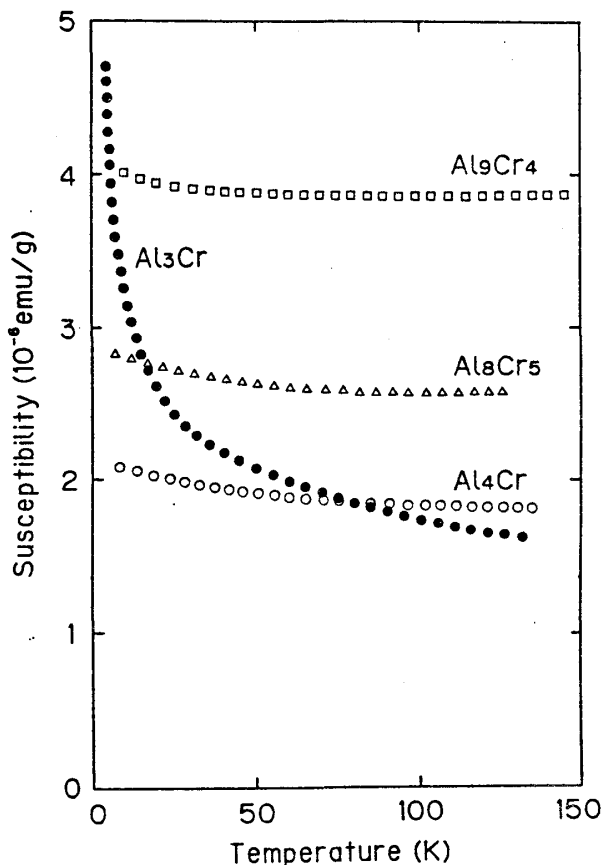


図1 Al-Cr系結晶相の帯磁率の温度変化

表1 Al-Cr系結晶相の磁性

	P. V.	χ_0 (emu)	C(emu)	θ_p (K)	$P_{eff}(\mu_B)$
Al_8Cr_5	4.7	2.5×10^{-6}	0	—	0
Al_9Cr_4	—	4.0×10^{-6}	0	—	0
Al_3Cr	—	1.3×10^{-6}	2.1×10^{-5}	-2.8	0.15
Al_4Cr	—	1.8×10^{-6}	0	—	0
$Al_{11}Cr_2$	—	—	0	—	0
Al_7Cr	5.1	—	0	—	0

(P.V.)を表1に示した。

Mnを含む合金では、P.V.=6 近傍でMnは局在モーメントを消失するが、Crの場合Mnに比べて外殻電子数が1つ少ないため、P.V.=5前後で局在モーメントを失うものと思われる。

§3 準結晶の磁性

Al-Cr系の準結晶 $Al_{90}Cr_{10}$ およびCrの他にMnのはいつた準結晶 $Al_{90}Cr_5Mn_{15}$ の磁気測定を行った。4.2Kにおける磁化曲線を図2に示す。比較のために $Al_{90}Mn_{20}$, $Al_{85}Mn_{15}$ の磁化曲線を示す。 $Al_{90}Cr_{10}$ 準結晶の磁化は非常に小さく、60kOeまで直線的に増加する。一方 $Al_{90}Cr_5Mn_{15}$ では、スピングラスの性質をもつ。 $Al_{90}Mn_{20}$ に類似の上の凸の磁化曲線を示す。

図3に20kOeの磁場中で測定した帯磁率の温度依存性を示す。 $Al_{90}Cr_{10}$ 準結晶の帯磁率はほとんど温度変化がなく、Crが準結晶中でも局在モーメントを持たないことがわかる。15%Mnと5%Crを含む試料では、Crが局在モーメントを持たないにもかかわらず、帯磁率は $Al_{85}Mn_{15}$ に比べてかなり大きく、 $Al_{90}Mn_{20}$ に近い値をとる。帯磁率の測定から得られた準結晶の磁気的性質を表2に示す。ここで $Al_{90}Cr_5Mn_{15}$ のデータ解析に際して、Crのモーメントをゼロとした。この試料の μ_{eff} の値は、Crのモーメントがゼロにもかかわらず、 $Al_{85}Mn_{15}$ に比べて約2倍も大きく、 $Al_{90}Mn_{20}$ に近い値をとる。この結果は、Al-Mn準結晶ではCrの添加がMnの磁性をenhanceすることを示しており興味深い。Crの金属半径はMnよりも少し大きく、準結晶 $Al_{90}Cr_5Mn_{15}$ の格子間隔は $Al_{90}Mn_{20}$ に比べて明らかに大きい。従ってCrの添加による格子間隔の膨張に伴い、Mnの局在モーメントのenhanceされることが考えられる。またAl-Mn準結晶では、局在モーメントを持つ

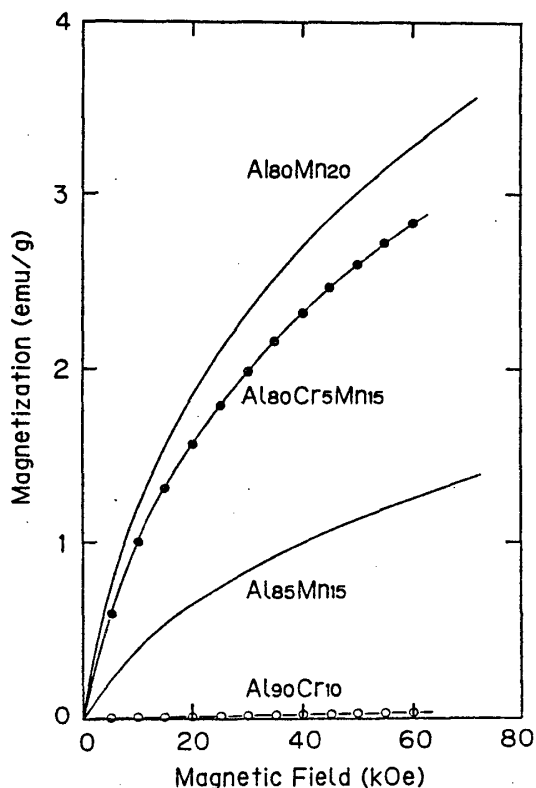


図2 Al-(Cr, Mn)準結晶の磁化曲線(4.2K)

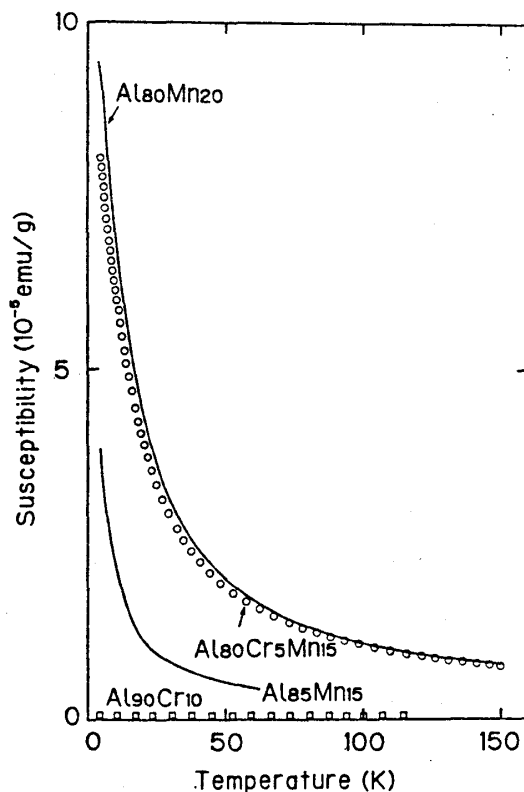


図3 Al-(Cr, Mn)準結晶の帯磁率(4.2-150K)

イトと存在しないサイトが共存すると考えられている⁵⁾。Al₈₀Cr₅Mn₁₅準結晶中でモーメントを持つ存在 Mn サイトが選択的に Cr で置換されると仮定すれば、この実験結果を説明することも可能である。以上の実験結果を明らかにすべく、現在 Cr の濃度を変えた種々の試料を作成し、その磁気的および電気的測定を準備中である。

§4 準結晶の電気抵抗

Al-Cr 系準結晶の電気抵抗の温度変化を図4に示す。10% Cr の試料は準結晶の他に電気抵抗の小さいα相を含むために、抵抗値が小さい。

一方 15.4% の試料はほぼ準結晶単相から成る。電気抵抗は小さい正の温度変化を示し、その値は $\sim 250 \Omega \cdot \text{cm}$ である。

Cr は準結晶中で局在モーメントを持つ存在のため、電気抵抗への磁気的散乱の寄与はない。事実 Al-Cr 準結晶の電気抵抗は、局在モーメントを持つ Al-Mn 系に比べて抵抗の値がかなり小さい。

しかし Cr の不純物レベルは Mn と同様に Fermi 準位近傍にあると考えらるもので、resonance 散乱の寄与を考慮する必要がある。Friedel によると、Cr の resonance 散乱による Al の残留抵抗は $\sim 8 \mu\Omega/\text{at}\% \text{Cr}$ である。大ざっぱに見積って、Al₈₀Cr₅Mn₁₅準結晶では、resonance 散乱の寄与は $\sim 120 \Omega \cdot \text{cm}$ となる。従って準結晶の構造に由来する抵抗への寄与は、 $\sim 130 \Omega \cdot \text{cm}$ と評価することができよう。一方磁気的散乱および resonance 散乱体となる元素を含まない典型的な非晶質合金 YAl₂ の抵抗値は $\sim 140 \Omega \cdot \text{cm}$ で、上記の準結晶の構造に由来する抵抗の値に近く、Al-Cr 合金が非晶質構造をとった場合でも、ほぼ上記の値をもつものと思われる。準結晶特有の現象を見いだすには、さらに低温度での測定が必要と思われる。

参考文献

- 1) K. Fukamichi, T. Masumoto, M. Oguchi, A. Inoue, T. Goto, T. Sakakibara and S. Todo : J. Phys. F 16 (1986) 1059
- 2) K. Fukamichi, T. Goto, T. Masumoto, T. Sakakibara, M. Oguchi and S. Todo : J. Phys. F in press
- 3) L. Pauling : The Nature of the Chemical Bond (New York, Cornell Univ. Press)
- 4) N. Mōri and T. Mitsui : J. Phys. Soc. Japan 25 (1968) 82
- 5) W. W. Warren, H. S. Chen and G. P. Espinosa : Phys. Rev. B 34 (1986) 4902
- 6) J. Friedel : Can. J. Phys. 34 (1956) 1190.

表2 Al-(Cr, Mn) 準結晶の磁性

	$P_{\text{eff}} (\mu_B)$	$\theta_p (\text{K})$
Al ₉₀ Cr ₁₀	0	—
Al ₈₀ Cr ₅ Mn ₁₅	1.29	-5.5
Al ₈₀ Mn ₂₀	1.19	-5.0
Al ₈₅ Mn ₁₅	0.60	-2.0

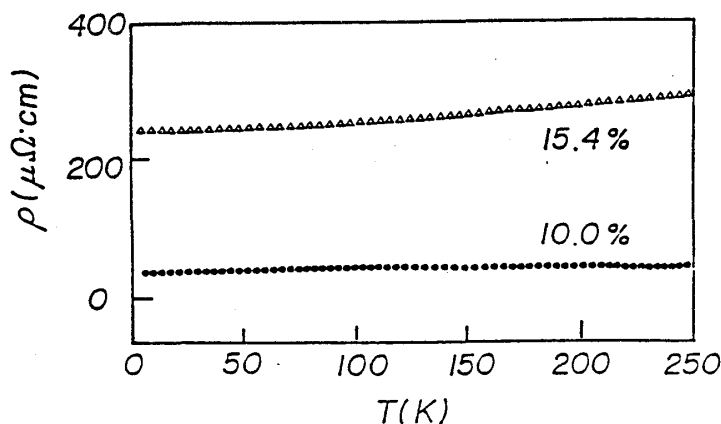


図4 Al-Cr 準結晶の電気抵抗の温度依存性