

Al合金準結晶の電氣的性質

東大 物性研 東京理科大学^B

木村 薫 山根 浩敬^B 橋本 辰男 竹内 伸

準結晶は1984年秋に、イスラエルのShechtman等による急冷Al合金における10回対称電子線回折パターンの報告¹⁾に伴い生まれた新しい概念である。その大きな特徴は結晶の周期性とは共存できない5回対称軸のような配向秩序を持ち得ることであるが、その他にも準周期性や無理数の比の自己相似性等の高度な秩序を持ち得る²⁾。この様な準結晶や準周期構造において電子状態がどのような特徴を持つかについては、モデル計算等により盛んに研究されている³⁾。その結果の中で電気伝導を考える上で最も重要と思われることは、3次元でもバンドの中のほとんどすべての状態がcritical (波動関数が広がっても局在してもしない) になると示唆されていることである。金属においては一般にフェルミレベルはバンドの中心付近にあるので、結晶においても非晶質においても伝導に寄与する電子状態は広がった状態である。ところが準結晶ではフェルミレベル付近の状態もcritical statesということになり、新しい伝導機構が存在する可能性がある。またフォノン状態も特殊になることが示唆されており、両者に関係する超伝導にも新しい機構が期待できる。

試料は前の講演で報告した様に単ロール法による液体急冷で作製し、その中からできるだけ単相度の高いものを選んだ。磁性を持ったAl-Mn系と持たないAl-V系である。両者ともSi, Ruを加えて多元系にするほど単相度が高くなり、欠陥も少なく、熱的安定性

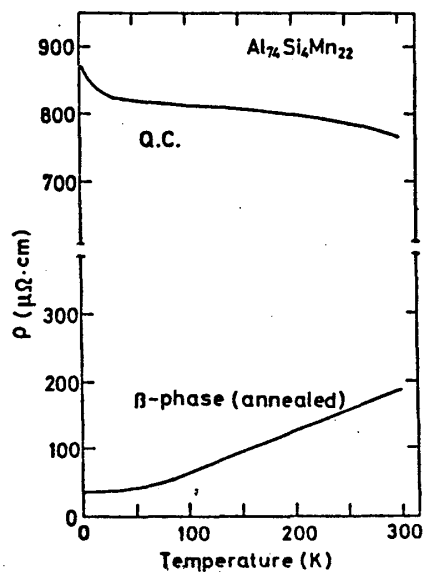


図 1

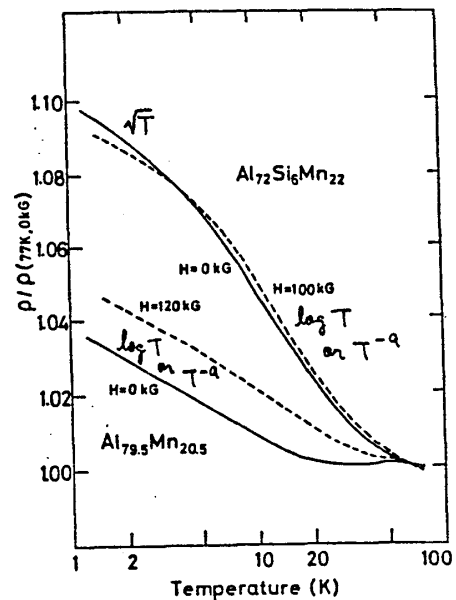


図 2

も増す。また比較のため、これらの準結晶の組成に近い結晶相、 Al_4Mn 、 $\alpha\text{-AlMnSi}$ 、 $\beta\text{-AlMnSi}$ 、 Al_3V 等の結晶相についても測定を行なった。これらの結晶相の磁気モーメントの大きさは、Mn系の準結晶に比べると小さい。図1にAl-Mn系の準結晶とそれをアニールして結晶化させたものの電気抵抗の温度依存性の一例を示す。この系の準結晶の抵抗率は $800\text{--}1000\ \mu\Omega\text{cm}$ と大きく、室温から1 Kまで小さな負の温度係数を持っている。この様子は、2,3,4元系でほぼ同じである。アニールして結晶化させた $\beta\text{-AlMnSi}$ の抵抗率は、準結晶に比べるとずっと小さく温度係数も正である。Al-Mn系の準結晶では低温で抵抗率(ρ)の急激な上昇が見られるが、この領域を拡大して図2に示す。横軸は温度の対数であり、縦軸はゼロ磁場 77 Kの値で規格化してある。2元系では1 Kまで直線に乗っており、 ρ が $-\log T$ に比例していることになる⁴⁾。ただし縦軸の変化率は小さいので、縦軸を対数でプロットしてもこの図で直線の部分は直線になり、 ρ が T^{-1} に比例しているとも見ることが出来る。3元系では数Kから下で直線から外れて寝てきているが、この領域では ρ が $-\sqrt{T}$ に比例しているとも見ることが出来る。磁気抵抗は図からも分かるように、 $-\log T$ または T^{-1} に比例している部分では正であり、 $-\sqrt{T}$ では負である。図3には、図2と同じ温度領域の抵抗率を2元系から4元系までの様々な組成に対して示す。2,3,4元系と多元系になるに従い、 ρ の絶対値はほぼ同じだが低温での上昇率は大きくなる。ただし、2元系と3元系において帯磁率から求めたMn 1原子当りの磁気モーメントの大きさ及びMn濃度はほぼ同じであり、磁気的状况に変化はない。図4には、磁気モーメントを持たないAl-V系の場合を示す。抵抗率は $200\text{--}400\ \mu\Omega\text{cm}$ とMn系に比べると小さく、低温での抵抗上昇は見られず、1 Kから77 Kまで ρ はほぼ一定である。

Al-Mn系準結晶の抵抗率は $800\text{--}1000\ \mu\Omega\text{cm}$ だが、これは合金系の抵抗率としては非常

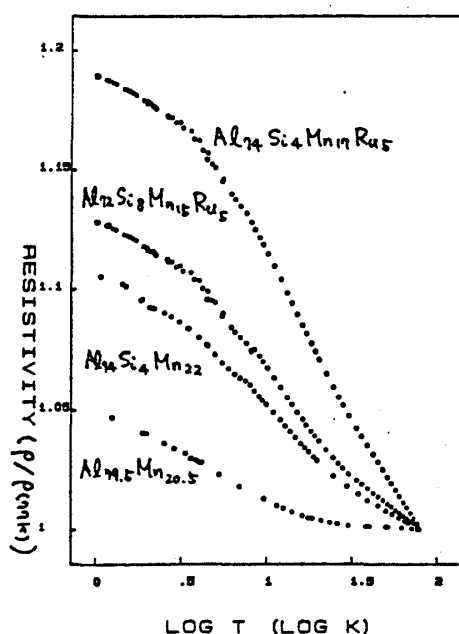


図 3

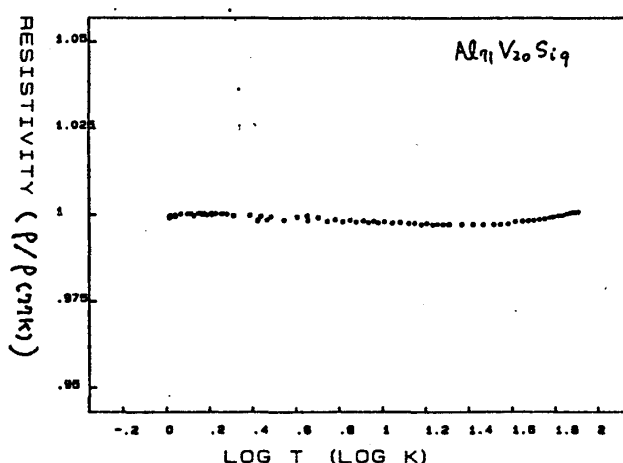


図 4

に大きく、いわゆるminimum metallic conductivity (σ_{min}) の逆数、約 $300 \mu\Omega\text{cm}$, より大きな値である。 σ_{min} とは自由電子系で、キャリアー濃度を一原子当り1個、平均自由行程を最近接原子間距離としたときの伝導度である。この高抵抗率の原因はキャリアー数が少ない、フェルミレベルでの状態密度が小さい等特殊な状況のためだとすれば別だが、もし平均自由行程が短いためだとしたら波動関数が局在しかかっているわけであり、まさにcritical statesでの伝導が起きている可能性がある。次に低温での抵抗上昇は、磁気モーメントを持つMn系では観測されるが磁気モーメントのないV系では観測されないことから、その原因は単純には近藤効果的なものと考えられる。しかし上記のように電子系が局在しかかっているのだとしたら、nearly free electron系において起こる現象である近藤効果だと考えるのは疑問である。さらに、近藤効果では抵抗の温度依存性は $-\log T$ 、磁気抵抗は負になるが、図2では ρ が $-\log T$ に比例している部分では正である。磁気的状況は変わらないのに、多元系になるほど低温での抵抗上昇率は大きくなる。このような状況も単純な近藤効果では説明しにくい。その他の抵抗上昇の原因としては次の様なものが考えられる。two level systemによる散乱に関しては、準結晶では単位胞が存在するため非晶質のような局所構造の自由度は考えにくい。電子相関を取入れた局在理論では ρ は $-\sqrt{T}$ に比例するが、図2でその様な温度領域は狭い範囲にすぎない。この抵抗上昇の振舞は以下に述べるようにcritical states間のtunnellingとhopping伝導と考えても定性的には説明できる。critical statesの特徴は、波動関数の振幅が局在状態では局在中心からの距離の増大と共に指数関数的に減少するのに対して、距離の巾に比例して減少することである。この関数形の違いにより、局在状態ではtunnelling伝導が不可能で $T=0$ で ρ が ∞ に発散するのに対し、critical statesではこれが可能で $T=0$ でも ρ が有限に留まることになる。 T が有限でtunnelling伝導による ρ が大きい場合には、局在状態のときと同様にvariable range hoppingによる伝導が起こると考えられる。 ρ の温度依存性は、やはり波動関数の関数形の違いにより局在状態と異なり T^{-1} となる。結局 ρ は T^{-1} に比例し、低温でそれから外れて一定値に近づくことになる。hopping伝導では単純には正の磁気抵抗がある。これがAl-Mn系の状況である。また、tunnelling伝導による ρ が小さい場合には、有限の温度でもhopping伝導が起こる必要はなく ρ の温度依存性は小さくなると考えられる。これがAl-V系の状況である。今後、このcritical statesにおける伝導の可能性はさらに検討しなければならないが、まず高抵抗率の原因を実験的にはっきりさせる必要がある。

- 1) D. Shechtman et al.: Phys. Rev. Lett. 53(1984)1951.
- 2) P. J. Steinhardt et al.: Phys. Rev. B34(1986)596, 617.
- 3) H. Tsunetsugu et al.: J. Phys. Soc. Jpn. (1986)1420.
M. Fujita et al.: Solid State Commun. 59(1986)61.
- 4) K. Kimura et al.: J. Phys. Soc. Jpn. (1986)1810.