

修士論文要旨

TM-Al-O (TM=Fe,Co,Cu) 金属グラニューラー膜の伝導と磁性

東北大学大学院理学研究科物理学専攻低温物質科学グループ

岩下貴保

背景および目的

TM-Al-O (TM=Fe,Co) グラニューラー膜は、 Al_2O_3 の絶縁体マトリックスに直径 20-30 Å の TM 強磁性金属粒子（グラニュール）が乱雑に分散した物質である。膜内の金属粒子の濃度により、膜は大きく誘電膜と金属膜にわけられる。このうち、誘電膜は超常磁性を示し、その伝導は絶縁体に囲まれた個々のグラニュールの帯電効果とグラニュール間のスピン依存トンネルによって支配される。このため超常磁性膜は巨大磁気抵抗を示し、低温では絶縁体となる。その伝導や磁性の機構は応用上の重要性もあって理論的、実験的によく研究されてきた[1-3]。一方、金属膜は、グラニュール間のトンネルコンダクタンスが大きいため、個々のグラニュールの帯電効果が遮蔽によって弱められ、温度による電気伝導度の変化の小さい金属的な伝導を示す。また、グラニューラー金属が強磁性体の金属膜は、微視的機構は明らかではないが、グラニューラー間の相互作用のため、膜全体として強磁性を示す。近年、ブリルアン散乱により強磁性膜のスピン波励起が観測され、伝導と磁性に密接な関連があることが報告された[4]。このことはトンネル伝導を介した両者の結び付きを示唆している。

金属グラニューラー膜はトンネル接続を介して三次元的に乱雑に結びついた金属球のネットワークとみなすことができる。様々な経路を経て伝播する電子は互いに干渉する場合もあるだろうし、グラニュール内に過剰な電子が集まったときには電子同士の反発力によってポテンシャルエネルギーが上昇し、隣接するグラニュールへの電子のトンネル確率に影響を与える。この意味で金属グラニューラー膜は特殊な構造を持つ強相関電子系であるといえる。金属グラニューラー膜では低温の電気抵抗の温度依存性に対数異常 ($-\log T$ 的增加) が現れることは古くから知られているが、その機構については確立されていない。また、誘電膜のような磁性と伝導の関連も明らかでない。

本研究では、長年の技術蓄積により、膜の化学組成、グラニュールの直径等が良く制御でき、グラニューラー膜の空間構造等が確立されており、かつ磁性金属と非磁性金属膜を制作可能な金属的 TM-Al-O (TM = Co, Fe, Cu) グラニューラー膜を研究対象とする。特にその低温・高磁場の伝導、磁性および基底状態を明らかにし、その異常物性の原因を検討する。

実験方法

測定にもちいた試料は、TM-Al-O (TM = Fe, Co, Cu) 金属グラニューラー膜である（試料

は電気磁気材料研究所の大沼博士から提供していただいた)。磁化の温度依存と磁場依存は、SQUID 磁化測定器で測定した。電気抵抗と磁気抵抗は、 ^4He クライオスタット (9 T マグネット付)、および無冷媒ハイブリッド磁石と組み合わせた希釈冷凍機を用いて測定した。

実験結果と考察

図 1 は強磁性 $\text{Co}_{66}\text{Al}_{11}\text{O}_{23}$ グラニューラー膜の磁気抵抗である。図 1 の挿入図のようにこの膜は零磁場では対数的な電気抵抗の温度変化を示し、43 K から 5 K まで降温とともに 1.4 % 増加する。図 1 のメインパネルは $\text{Co}_{66}\text{Al}_{11}\text{O}_{23}$ 膜の磁気抵抗である。強磁性金属膜は特徴的な負の線型な磁気抵抗を示し、誘電膜のスピン依存トンネルとは異なる機構によって磁気抵抗が支配されていると考えられる。0 T から 27 T まで、磁気抵抗の減少はわずか 0.2 % で、このことは零磁場の電気抵抗の対数項が少なくとも通常の近藤効果によるものではないことを示している。

図 2 は強磁性 $\text{Co}_{66}\text{Al}_{13}\text{O}_{21}$ グラニューラー膜の零磁場・極低温での電気抵抗の温度変化 ($\log T$ プロット) である。電気抵抗は 0.4 K 以下では対数的な温度変化を示さなくなり、温度に対して緩やかな、金属的な振る舞いにかわる。このことは強磁性 $\text{Co}_{66}\text{Al}_{13}\text{O}_{21}$ グラニューラー膜の電子の基底状態が金属であることを強く示唆している。

参考文献

- [1] H. Fujimori *et al.*, Mater. Sci. Eng. A, 897, 181-182 (1994)
- [2] J. Inoue and S. Maekawa, Phys. Rev. B, 53, R11927 (1996)
- [3] S. Mitani *et al.*, Phys. Rev. Lett. 81, 2799 (1998)
- [4] A. Yoshihara *et al.*, J. phys. Soc. Jpn. 77, 094704 (2008).

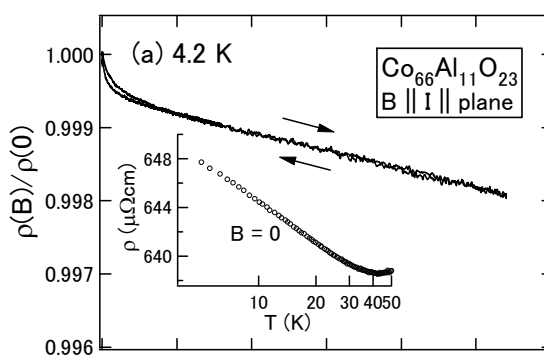


図 1. 強磁性 $\text{Co}_{66}\text{Al}_{11}\text{O}_{23}$ グラニューラー膜の縦磁気抵抗。挿入図は零磁場の電気抵抗の温度変化。

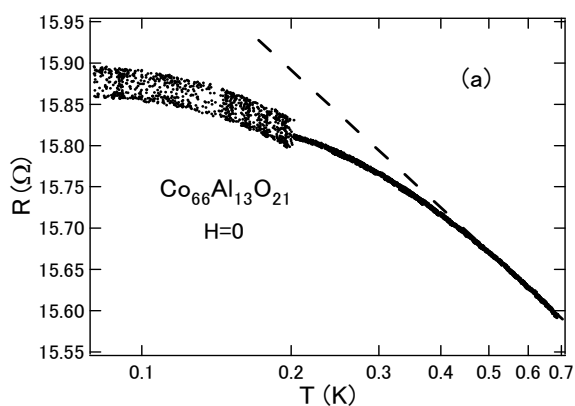


図 2. 強磁性 $\text{Co}_{66}\text{Al}_{13}\text{O}_{21}$ グラニューラー膜の零磁場での電気抵抗の温度変化。Log T プロット。