

# 強磁性微粒子を内包するグラニューラー構造の磁気伝導特性

## Study on magneto-transport properties of granular thin films including ferromagnetic nano-particles using high magnetic fields

東北大・金研

水口 将輝, 姜 竣求, 神田 哲典, 高梨 弘毅, 高橋 弘紀  
M. Mizuguchi, J-G. Kang, T. Koda, K. Takanashi, and K. Takahashi  
IMR, Tohoku Univ.

### 1. はじめに

電子の持つ二つの自由度である「スピンと電荷」を組み合わせることを目的とした“スピントロニクス”の分野が近年非常に注目を集め、目覚ましい発展を遂げている。しかしながら、現実的なスピンドバイスへの応用のためには解明すべき点がいまだ多いのが現状である。例えば、強磁性金属と絶縁体を組み合わせたグラニューラー構造のスピン依存伝導特性については明らかになっていない点が多い。そこで、本研究では強磁性金属ナノクラスターをCマトリックス中に分散したグラニューラー構造の強磁場磁気輸送特性の測定を行い、電荷自由度とスピン自由度に関するスピン挙動の解明を目指す。特に、強磁場を用いることにより、その飽和磁界が非常に高いことが予想される個々の微小ナノクラスター中のスピンの挙動を精密に測定することが可能となる。これらより、グラニューラー構造におけるスピン挙動の形態が明らかになるはずであり、ナノ磁性体に特有の物理現象を導き出すことが可能となると考えられる。

昨年度までに、C-Co グラニューラー薄膜の強磁場における磁気輸送特性を調べる予備的実験を行った。本年度は、Cマトリックスに対するCoナノ微粒子の濃度を変えた場合の磁気輸送特性や、Cマトリックスの成膜条件に依存した磁気抵抗効果を明らかにすることを旨とした。

### 2. 実験方法

#### 2-1. C-Co グラニューラー薄膜の作製

スパッタ法を用いて熱酸化膜付きSi基板上にCoおよびCを同時蒸着することにより作製した<sup>[1]</sup>。グラニューラー薄膜の膜厚は数十nm程度であり、Coの濃度を4.4 at.%および6.4 at.%としてCo濃度依存性を調べた。また、Cのスパッタパワーを50 Wおよび200 Wに設定してスパッタパワー依存性を調べた。

#### 2-2. C薄膜のラマン分光

ラマン分光装置を用いて1000 cm<sup>-1</sup>から4000 cm<sup>-1</sup>の範囲で試料のラマンシフトを調べた。測定は、室温、大気中で行った。50 Wおよび200 Wのスパッタパワーで作製したC薄膜のラマン分光を行い、スパッタパワーに依存したCの構造変化を調べた。

#### 2-2. C-Co グラニューラー薄膜の強磁場磁気輸送特性

強磁場超伝導材料研究センターの18T-SMにおいて0~180 kOeの磁場範囲および1.5~10 Kの温度範囲で測定した。試料にInで端子付けをし、直流4端子法により、一定磁場下で磁気抵抗効果の測定を行った。測定は、Co濃度6.4 at.% (スパッタパワー50 W)、Co濃度6.4 at.% (スパッタパワー200 W)、Co濃度4.4 at.% (スパッタパワー100 W)の三種類の試料について行った。

### 3. 実験結果

#### 3-1. C薄膜のラマン分光測定結果

図1にCo濃度6.4 at.% (スパッタパワー50 W)およびCo濃度6.4 at.% (スパッタパワー200 W)の二つの試料のラマンスペクトルを示す。1300 cm<sup>-1</sup>付近に炭素の結合状態を反映したピークを確認した。このピークはDピークおよびGピークと呼ばれるピークの重ね合わせであり、両者の強度比が二つの試料について異なっていることから、スパッタパワーを変化することによりCマトリックスの構造特性を大きく変化させることができることが分かった。また、3000 cm<sup>-1</sup>付近にも炭素由来のピークが確認され、その振動数が二つの試料で異なることが分かった。これらの結果から、50 Wで作製した試料はアモルファスの炭素で構成されているのに対し、200 Wで作製した試料はグラファイト化が進んでいることが明らかになった。

#### 3-2. C-Co グラニューラー薄膜の強磁場磁気輸送特性測定結果

図2に、18T-SMを用いて10 Kで測定したグラニューラー薄膜の磁気抵抗(MR)曲線を示す。Co濃度6.4 at.% (スパッタパワー50 W)およびCo濃度6.4 at.% (スパッタパワー200 W)の二つの試料について測定を行った。いずれの試料でも正の磁気抵抗効果が確認された。50 Wの試料では磁場の増加に伴い単調な抵抗増加が見られた。一方、200 Wの試料では3種類の成分により構成されるMR曲線が確認された。0~40 kOeの低磁場領域では、正の磁気抵抗効果が観測された。この磁気抵抗の原因は明らかになっていないが、Cマトリックス特有の磁気抵抗であると考えられる。一方、40~100 kOeの磁場範囲では、

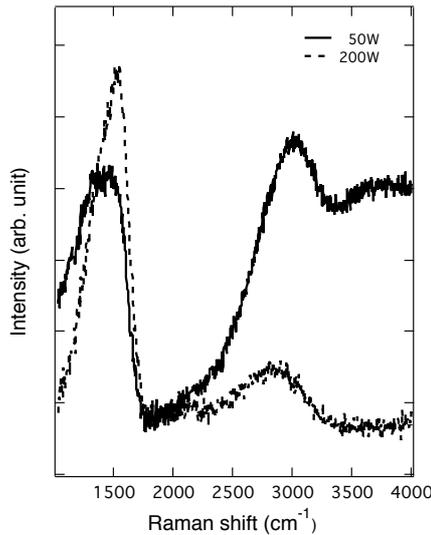


Fig. 1 Raman spectra of Co-C granular thin films measured at room temperature.

負の磁気抵抗効果が観測された。これは、トンネル型の磁気抵抗効果である。さらに、100 kOe 以上の高磁場で、正の磁気抵抗効果が観測された。この成分は、上記の 50 W の試料でも見られた MR 成分であり、電子のローレンツ力に起因する正常磁気抵抗効果で良く説明できる。

図 3 に、18T-SM を用いて 1.5 K で測定したグラニューラー薄膜の磁気抵抗曲線を示す。Co 濃度 6.4 at.% (スパッタパワー200 W)、Co 濃度 4.4 at.% (スパッタパワー100 W) の二つの試料について測定を行った。いずれの試料でも負の MR 効果が確認された。Co 濃度 6.4% の試料においては、180 kOe で MR 比が-22%程度であったのに対し、Co 濃度 4.4% の試料では MR 比が-58%にまで増加しており、MR 比は Co 濃度に強く依存することが分かった。これらの負の磁気抵抗効果は、グラニューラー構造で頻繁に見られるトンネル型の磁気抵抗効果と考えられる。これらの結果から、強磁場マグネットを使用することにより、グラニューラー構造における複雑な磁気伝導機構の解明の手がかりをつかむことができた。

#### 4. まとめ

強磁場を用いて C-Co グラニューラー薄膜の磁気輸送特性を測定した。C マトリックスのスパッタパワーに強く依存して 10 K における正の磁気抵抗効果に変化することが分かった。また、Co 濃度が小さい試料で 1.5 K における負の磁気抵抗効果が増大することが分かった。これらの結果から、強磁場マグネットを使用することにより、グラニューラー構造における複雑な磁気伝導機構の解明の手がかりをつかむことができた。

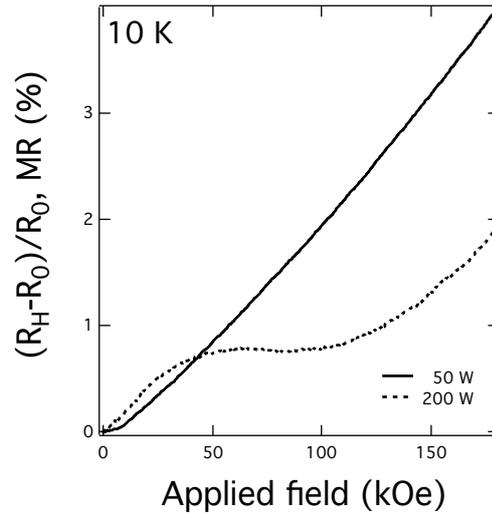


Fig. 2 MR curves measured under high magnetic fields up to 180 kOe for Co-C granular thin films measured at 10 K.

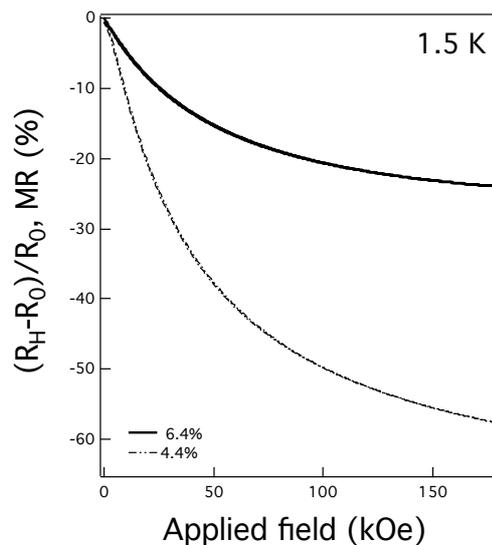


Fig. 3 MR curves measured under high magnetic fields up to 180 kOe for Co-C granular thin films measured at 1.5K.

謝辞 ラマン分光測定にあたり、折茂慎一教授、大口裕之助教にご協力頂いた。

#### 参考文献

- [1] R. Tang, M. Mizuguchi, H. Wang, R. Yu, and K. Takanashi, "Strong Temperature Dependence of Magnetoresistance in Co-C Granular Thin Films", IEEE Trans. Magn, **46** (2010) 2144.