

北海道大学工学部 ○由川修二 浜田弘一 廣田榮一 岡田亜紀良 石田 巖
 東日本学園大学 渡辺秀樹
 松下電器 樺間 博

要 旨

巨大磁気抵抗(GMR)効果を示す[NiFeCo/Cu/Co]多層膜の磁性層間に、非磁性のCu層を介して働くRKKY的交換相互作用の大きさをMR-曲線および強磁性共鳴(FMR)吸収の共鳴磁界の測定から求め、低飽和磁界(H_s)のGMR-効果の条件について論じる。

1. 序論(人工格子多層膜のGMR-効果)

Fe, Ni, Co等の3d遷移金属の薄膜を数〜数十原子層のCu, Au, Ag, Ru等の非磁性の金属薄膜を介して交互に積層した多層膜は10%〜数十%の大きな磁気抵抗効果を示す事で注目されている。¹⁾最近室温でしかも比較的低い磁界(〜1000e)で20%以上のMR-効果が実現し、磁気センサー等への応用の可能性とともに、多くの研究が行われている。²⁾特に高密度磁気記録の再生ヘッドへの応用から、駆動磁界が数0e以下の低磁界GMRの開発が強く要望されている。

人工格子多層膜が巨大磁気抵抗効果を示す機構の一つとして、強磁性金属薄膜間にCu等の非磁性金属層を介して長距離の交換相互作用いわゆる、RKKY(Ruderman-Kittel-Kasuya-Yoshida)的相互作用が働き、磁性層が強磁性ないしは反強磁性に結合する、反強磁性結合した多層膜の場合十分大きな外部磁界を加えれば反強磁性から強磁性状態の磁化配列に移る。反強磁性状態は強磁性状態に較べて大きな磁気抵抗を持つので、このような外部磁界による磁気状態の転移は大きな電気抵抗の変化を伴う事になる。これがGMR-効果の原因とされている。したがってこの効果は従来NiFe-合金(いわゆるパーマロイ)などの磁気抵抗効果にみられる異方性効果と違って等方的である点が特徴である。また磁気抵抗効果の値($\Delta R/R \times 100\%$)が一桁以上大きい点が第2の特徴である。GMR-効果は飽和磁界 H_s 以上の外部磁界によって磁化を揃えるために、比較的大きな外部磁界を必要とする点が課題である。

本研究は磁性層に働く交換相互作用の大きさをMR及びFMRの実験から求め、この相互作用の強さと H_s の関係を定量的に明らかにすると共に、低磁界駆動のGMR-効果の条件を論じる。

2. [NiFeCo/Cu/Co]多層膜

多元スパッター装置により[Ni_{0.80}Fe_{0.15}Co_{0.05}(3nm)/Cu(t_{Cu} nm)/Co(3nm)]のCu層厚、 t_{Cu} を変えて人工多

層膜を作製した。ターゲットはNi_{0.80}Fe_{0.15}Co_{0.05}合金、Cu及びCo合金で 2×10^{-7} Torrに排気後 8×10^{-3} TorrのArを導入した。成膜速度はCo:26nm/分、Cu:40nm/分、NiFeCo:29nm/分である。基盤は水冷した硝子基盤である。³⁾この多層膜は比較的弱い磁界でGMR-効果を示し、また高速で作製出来るのが特徴である。

3. [NiFeCo/Cu/Co]多層膜のGMR-効果

電磁石を用い3φの円板試料で4端子法により磁気抵抗効果を測定した。測定した電気抵抗の磁界依存性の例を図1に示した。この試料は t_{Cu} 0.96nm、繰り返し積層数25層、全厚198nmの試料で、飽和磁界 $H_s=4230e$ 、MR-値21%のGMR-効果を示す。表1にはこの研究に用いた試料の構成とMR測定及び後述するFMRのデータを示した。

この膜は電気抵抗の測定方向と印加磁界の方向が異なってもMR-効果は変化しない等方的な性質を持つ。なお $t_{Cu}=0 \sim 3.5$ nmで変えた試料について測定したMR効果は表に示すように t_{Cu} に対し振動的な振る舞いを示し $\Lambda=1.1$ nmの周期で極大値と極小値を示す。FMRの実験で明らかのように、外部磁界のない場合には極大値を示す多層膜の各磁性層の磁化は反強磁性的配列をもち、極小値を示す膜では各磁性層は強磁性的である。後者の膜は通常の異方的磁気抵抗効果が観測されそのMR値は1〜2%以下である。

またGMR-効果を示す試料についてMR-磁界曲線から求めた飽和磁界 H_s と $H_s=-(J/t)(M_1+M_2)$ (ただし $t=3$ nm、 M_1 、 M_2 はCo、NiFeCo各薄膜の飽和磁化1424G及び836G)より求めた層間の交換結合係数Jの値を示す。

4. 強磁性共鳴(FMR)吸収の実験

MR-効果の測定に用いた3φの円板状試料でX-帯($f=8.554$ GHz)での強磁性共鳴吸収の測定を通常の方法で行った。共鳴吸収は主としてCo層が共鳴する共鳴磁界 H_1 と主としてNiFeCo層が共鳴する共鳴磁界 H_2 で起こる。この二つの共鳴磁界は磁性層間の交換相互作用の

強さ及び符号(強磁性か反強磁性)によって変化する。表1に H_1 , H_2 の測定値を示した。共鳴磁界はMRの値と対応して周期的に変化する。

磁性層間の交換相互作用を、 $E_J = -JM_1 \cdot M_2$ と表して共鳴磁界の理論と実験が合うようにJの値を求め、結果を表1に示した。

5. 考察

[NiFeCo/Cu/Co]多層膜のMR-及びFMR-測定の結果から非磁性Cu層を介しての磁性層間に働く交換相互作用Jを実験的に求めた。Coehoorn⁴⁾によれば多層膜のRKKY的交換相互作用は次式で表される。 $J(L) = (C/L^2) \sin(2\pi L/\Lambda)$ (ただしL:非磁性層の厚み, Λ :繰り返し周期)MR-磁界の測定結果から $\Lambda = 1.1(\text{nm})$ としたJ- t_{Cu} の理論曲線及びMR-, FMR-測定結果から求めたJの値を図2に示した。理論及び実験の一致は $t_{Cu} \leq 1$ の極めて薄い場合を除いて良く、 t_{Cu} の厚みが増すにつれてJは周期的にその符号が変わり大きさは $1/t_{Cu}^2$ に比例して減衰し、層間の結合がRKKY的であることを示している。 $t_{Cu} \leq 1$ の場合は H_S が大きくなるためFMRの共鳴磁界で磁性層が飽和しない。GMRは本質的に膜層界面の効果であるが、このような超薄膜では界面の制御が、 t_{Cu} が原子層間隔を単位とする不連続量であるため難しい。しかし低 H_S のGMR-薄膜を製作するには、この領域での正確な多層膜形成が必要である。(文献)

- 1) 1st Int. Sym. on Metallic Multilayers, March 1-5, 1993 Kyoto, Japan.
- 2) H.Sakakima et al. : Jpn. J. Appl. Phys. 31 (1992) L484.
- 3) 里見三男他 : 電通学会, 磁録委資料, MR91-9 (1991) 7.
- 4) R.Coehoorn : Phys. Rev. B, 44 (1991) 9331.

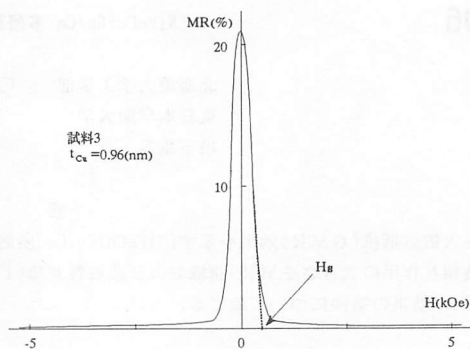


図1 MR-H曲線と飽和磁界 H_S

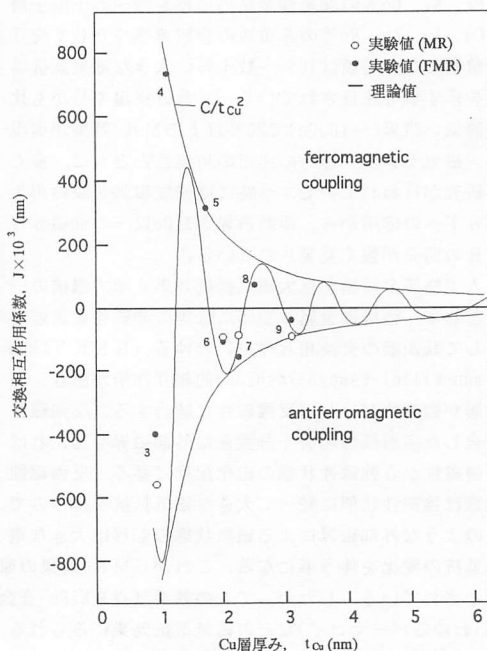


図2 交換相互作用係数JとCu-厚み t_{Cu} の関係

表1 GMRを示す[NiFeCo/Cu/Co]多層膜の構成とMR-及びFMR-測定の結果

試料番号	膜の構成				MR-効果			FMR		
	Cu-層厚み t_{Cu} (nm)	繰り返し数 N	全膜厚 L(nm)	全磁性膜厚 Lm(nm)	MR(%)	飽和磁界 H_S (Oe)	交換結合係数 $J \times 10^3$ (nm)	共鳴磁界		$J \times 10^3$ (nm)
H_1 (kOe)	H_2 (kOe)									
1	0	34	204	204	1.1	—	—	—	—	—
2	0.87	25	171.75	150	15.2	1197.5	-1590	0.192 *	0.618 *	—
3	0.96	25	198	150	21.0	422.5	-562	0.587	1.273	-400
4	1.13	25	206.5	150	0.8	—	—	0.270	0.731	664
5	1.75	24	228	144	0.5	—	—	0.440	0.783	305
6	2.00	22	220	132	7.6	75.0	-100	0.571	0.930	-106
7	2.25	21	220.5	126	7.7	70.0	-93	0.603	0.913	-162
8	2.50	20	220	120	2.1	—	—	0.530	0.864	68
9	3.10	18	219.6	108	4.6	72.5	-96	0.556	0.905	-45