膜面内に一軸磁気異方性をもつ Co-Fe/Cu 人工格子膜の 巨大磁気抵抗効果

猪 俣 浩一郎*

1. はじめに

Fe/Cr 人工格子膜で発見された巨大 MR (磁気抵抗) 効果⁽¹⁾は基礎物性、応用の両面にわたり重要であり、現在、金属人工格子膜における最もホットな話題の一つになっている。これまでに巨大 MR 効果を示す人工格子膜としては、Fe/Cr の他に、Co/Cu⁽²⁾⁽³⁾ や Co/Cu/Ni-Fe/Cu⁽⁴⁾⁽⁵⁾ などが見出されている。この巨大 MR 効果は非磁性層を介した磁性層間の反平行スピン結合と界面でのスピンの依存した電子散乱に由来しており、界面構造の重要性が指摘されている。しかし、最適界面構造や巨大 MR 効果が得られる人工格子の組合せについての十分な指導原理はまだ見出されていない。

筆者らは最近、Co/Cu よりも大きな MR 効果を発現する人工格子膜として Co-Fe/Cu を見出した⁽⁶⁾。また、この人工格子膜を MgO(110) 基板上に作製すると、巨大 MR 効果を維持したまま飽和磁界を著しく低減できることも見出した⁽⁷⁾。本論ではこれらの結果を紹介するとともに、飽和磁界の低下原因について検討した。

2. 実験方法

Co-Fe/Cu 人工格子膜は、Co_{1-x}Fe_x 合金と Cu をそれぞれターゲットとし、IBS (イオンビームスパッタ) 装置を用いて作製した。基板は MgO(110) を使い、スパッタ Ar イオンの加速電圧 (V_B) を変化させて成膜した。構造を X 線、MR を 4 端子法、磁化特性を VSM、磁気異方性をトルク法を用いてそれぞれ測定した。

3. 実験結果

(i) MR 特性

図 1 は (1 nm Co_{1-x}Fe_x/1 nm Cu)₁₆ の MR 変化率の V_B 依存性を示したものである。MR は V_B に非常に敏感であり、それが大きすぎても小さすぎても大きな MR 効果は得られない。また、 V_B の最適値は Co-Fe 組成にも依存し、Fe リッチになるにつれてそれは大きくなる傾向にある。 V_B の違いはスパッタ粒子のエネルギーの違いをもたらすので、MR の大きな V_B 依存性は巨大 MR 効果が界面構造に非常に敏感であることを示唆している。したがって、異なる V_B で作製した Co-Fe/Cu 人工格子膜の界面構造を調べることで巨大 MR 効果のメカニズムを探ることが期待される。

図 1 で注目すべきことは、(1 nm Co₉Fe/1 nm Cu)₁₆ の

図 1 MR 変化率の加速電圧依存性。

* (株)東芝総合研究所研究主幹

Giant Magnetoresistance in Co-Fe/Cu Multilayers with In-plane Uniaxial Anisotropy; Koichiro Inomata (Toshiba Research and Development Center, Kawasaki)

Keywords: multilayers, magnetoresistance, magnetization curve, cobalt-iron alloys, copper, magnetic anisotropy
1992年 5 月 12 日受理

MR が $(1 \text{ nm Co}/1 \text{ nm Cu})_{16}$ のそれよりも大きく、Inoue らの理論予測結果⁽⁸⁾を支持していることである。ちなみに Co/Cu の MR 変化率は Parkin らの結果⁽³⁾と一致している。図 2 は最適 V_B における両者の磁化曲線を、それぞれ MgO[100](a) および MgO[110](b) に平行に磁界を印加した場合について示したものである。両者とも残留磁化はほとんどなく、ほぼ完全な反強磁性結合が実現していることを示している。図 3 は図 2 の試料についての室温における MR 曲線である。MgO(110) 面内で磁界を [100] と [110] に印加した場合で MR 曲線の形が大きく異なっていることがわかる。すなわち、[100] 方向に印加した場合、MR ははじめあまり変化せず、その後小さな磁界変化で大きく低下する。一方、[110] 方向に印加した場合 MR は緩やかに変化し、飽和磁界は 796 kA/m 以上と大きい。これらの挙動は図 2 の磁化曲線と良く対応している。石英基板上に作製した場合には MR 変化率は MgO(110) 基板の場合とほぼ同じであるが、図 3 のような異方性はなく、いずれの面内方位でも MgO[110] 方向のような緩やかな曲線を示す。図 4 には $(1 \text{ nm Co}_9\text{Fe}/1 \text{ nm Cu})_{60}$ の室温および液体窒素温度における MR 変化率を示した。室温で 52%，液体窒素温度で 87% が得られた。

図 2 MgO[100](a), MgO[110](b) 方向に磁界を印加したときの磁化曲線。

図 3 MgO[100](a) および MgO[110](b) 方向に磁界を印加したときの MR 曲線。

図 4 室温および液体窒素温度における MR 曲線。

(2) 磁気異方性と飽和磁界

上記のような、方位によって異なる磁化曲線や MR 曲線が得られる原因について検討する。図 5 は $V_B = 700 \text{ V}$

図 5 X 線回折パターン

で MgO(110) 基板上に作製した図 1 の試料の X 線回折パターンである。いずれも fcc Co の (220) に対応する位置にのみピークが現れ、これらの膜は Co-Fe が (110) 配向した単結晶膜であることを示している。トルク曲線⁽⁷⁾は、膜面内に一軸磁気異方性 Ku の発生を示している。これはエピタキシャル成長に伴い (110) Co-Fe 膜に異方的な格子歪が生じたためと思われる。磁化容易軸方向に磁界を印加した場合、磁氣的相図は図 6 のようになり、 $Ku > J/d$ のとき反強磁性状態から強磁性状態へのメタ磁性転移が生じる結果、図 3 に示したような MR 曲線となり、飽和磁界 H_s が大きく低下することになる⁽⁹⁾。このときの H_s は $H_s = 2J/d \cdot Ms$ で与えられ、磁性層の膜厚 d が厚くなると H_s はかなり低下する。たとえば、(2.5 nm Co₉Fe/

2.1 nm Cu)₃₀ では 6.4 kA/m の磁界変化で 24% の MR 変化率が得られる⁽⁹⁾。

(3) まとめ

Co-Fe/Cu 人工格子膜は Co/Cu よりも大きな MR 効果を示すこと、および膜面内に一軸異方性を付与すると飽和磁界を大きく低減できることを示した。また、IBS における加速エネルギーは MR 効果に大きく影響し、積層界面構造を制御できる。以上の結果は巨大 MR 効果のメカニズム解明に重要な示唆を提供していると思われる。

文 献

- (1) M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Etinne, G. Creuzet, A. Friederich and J. Chazelas: Phys. Rev. Lett., **61** (1989), 2472.
- (2) D. H. Mosca, F. Petroff, A. Fert, P. A. Schroeder, W. P. Pratt, Jr and R. Laloe: J. Mag. Mag. Mater., **94** (1991), L1.
- (3) S. S. P. Parkin, R. Bhadra and K. P. Roche: Phys. Rev. Lett., **66** (1991), 2152.
- (4) T. Shinjo and H. Yamamoto: J. Phys. Soc. Jpn., **59** (1990), 3061.
- (5) B. Dieny, V. S. Speriosu, S. S. P. Parkin, B. A. Gurney, D. R. Wilhoit and D. Mauri: Phys. Rev., **B43** (1991), 1297.
- (6) Y. Saito and K. Inomata: Jpn. J. Appl. Phys., **30** (1991), L1733.
- (7) 齊藤好昭, 橋本 進, 奥野志保, 柚須圭一郎, 猪俣浩一郎: 日本応用磁気学会誌, **16** (1992), 313.
- (8) J. Inoue and S. Maekawa: Prog. Theor. Phys., Suppl., **106** (1991), 187.
- (9) K. Inomata and Y. Saito: Appl. Phys. Lett., **61** (1992) to be published

略 号

MR : magnetoresistance, 磁気抵抗.

図 6 膜面内の一軸異方性の方向に磁界 (H) を印加した場合の磁氣的相図。 J_{12} , d , Ku はそれぞれ磁性相間の交換相互作用 (負), 磁性層の膜厚, 一軸磁気異方性定数。