

新博士紹介

1. 氏名 鎌倉 望 (東北大学電気通信研究所)
2. 提出論文大学 東京大学
3. 学位の種類 博士 (理学)
4. 取得年月日 2000年3月
5. 提出題目 スピン分解光電子分光による Fe 薄膜の磁性と電子状態の研究

6. 要旨

3d 遷移金属薄膜は、薄膜と下地との組み合わせや試料作成条件あるいはその膜厚によって多様な物性を示すことが知られている。本研究で取り上げた Fe/Co(001) は Fe-Co 界面付近では両者の 3d 軌道が混成することによって Fe の磁気モーメントが増大することが報告されている¹⁾。また、Fe はバルクでは bcc 構造となるのに対して、fcc Co(001) 上に成長させた Fe 薄膜は膜厚によって fct (face centered tetragonal) 構造を示すことが知られている¹⁾。fcc Fe 自体の物性は理論的に古くから研究が行われており、格子定数によって極めて敏感に磁性が変わることが予想されている。それによると、反強磁性相、非磁性相、high spin 強磁性相、low spin 強磁性相の解が得られており、下地となっている fcc Co の格子定数付近ではそれらの全エネルギーが錯綜している²⁾。Fe/Co(001) についてのこれまでの研究では、Fe 薄膜は 11 ML まで fct 構造を示し、それ以上になるとバルクの構造である bcc 構造に変わることが分かっている。そこで Fe/Co(001) について (1) Fe 薄膜の膜厚に依存した表面磁化を測定し、その膜厚依存性の起源について調べること、(2)(1)で測定された Fe 薄膜のうち特定の膜厚の試料について、その電子状態および磁性をより詳しく調べることを目的として、特に fct 構造を示す 11 ML 以下の Fe 薄膜について研究を行った。

測定はスピン分解光電子分光を KEK, PF のリボルバー式アンジュレータービームライン 19A で行い、Fe 薄膜の表面磁化の測定を BL-18A において内殻光電子スペクトルに現れる磁気線二色性の観測 (Magnetic Linear Dichroism in Angular Distribution (MLDAD))³⁾ によって行った。光電子分光は表面敏感な測定手法であることと、スピン分解光電子分光ではさらに試料から放出した光電子のスピンを分離して検出できるために、磁性体薄膜の電子状態の研究では有力な研究手段である。また、磁気線二色性の観測では内殻光電子スペクトルを用いているので、成分を分離した磁化の評価を行うことができる。Fe/Co(001) は超高真空中で Cu(001) 清浄表面上に Co を約 15 ML エピタキシャルに成長させ (この場合 Co は fcc 構造となる)、その上にさらに Fe を蒸着することによって作成し、作成した試料を in situ で測定している。膜厚は RHEED 振動および Fe と Co のオージェピークの強度比を組み合わせで評価している。

Figure 1 では室温で測定した磁気線二色性スペクトル

の中で、顕著な違いが現れている (a) 4 ML と (b) 6 ML Fe/Co(001) の Fe の 3p スペクトルの磁気線二色性を例として示した。(a) では比較的大きな線二色性が Fe 3p ピーク位置に現れているのに対して、(b) になるとそれが大きく減少している。Fe の膜厚を細かく変えて測定を行うと、5 ML 以下の Fe 薄膜ではほぼ一定の表面磁化を示し、Fe 膜厚 5 ML において磁気線二色性が大きく減少することが明らかになる。磁気線二色性の大きさは表面近傍の磁化に比例しており、したがって以上のことは膜厚が 5 ML 以上になると Fe 薄膜の表面磁化が急激に減少することを示している。そこで膜厚が 5 ML 以上の試料を領域 I、5-11 ML のものを領域 II として区別することにする。領域 II の試料を 130 K に冷却した場合、Fe 3p ピーク位置に大きな磁気線二色性が観測されているため、5 ML 以上での室温における表面磁化の減少はキュリー温度の低下によるものである。また、より検出深度の大きい二次電子のスピン偏極度の考察をすると、領域 II の薄膜のうちより深い層の磁化が表面近傍のものに比べて大きく減少していることが分かる。したがって領域 II の室温での表面磁化の減少は、強磁性を示す層が 5 ML 以下の試料に比べて減少しキュリー温度が低下した結果生じているものと考えられる。

磁気線二色性の観測を行った試料の中で、領域 I の試料として 3.9 ML Fe、領域 II の試料として 6.6 ML Fe についてスピン分解 3s 光電子分光を行った⁴⁾。ただし、6.6 ML Fe は室温で十分な磁化を示さないことが分かっているため、130 K に冷却して測定を行っている。得られたスペクトルを 4 原子クラスターモデルによってフィッティングした結果が Figure 2 に示されている。(Figure 2 では 3.9 ML Fe/Co(001) についての結果を示した。) 解析からは、Fe 3d 電子の hopping integral, 3d 電子間のクーロン相互作用

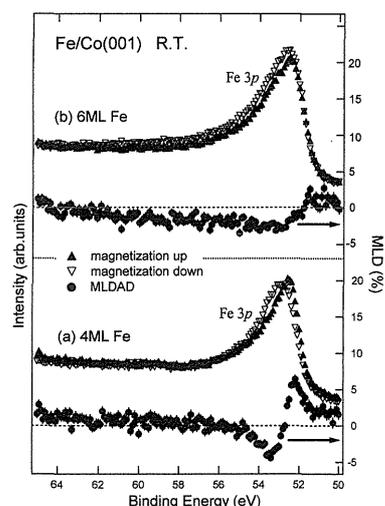


Figure 1. The thickness dependence of MLDAD in Fe and Co 3p spectra.
(a) 4 ML Fe/Co(001) (b) 6 ML Fe/Co(001).

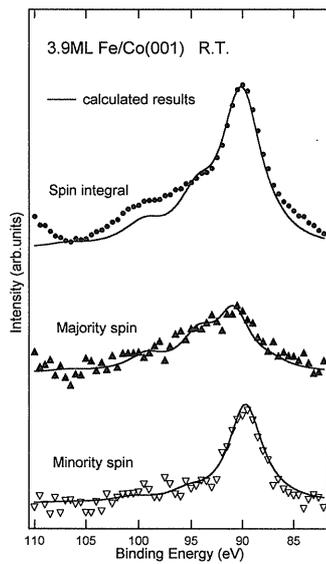


Figure 2. Spin-resolved photoemission spectra of Fe 3s and spectral profiles obtained by cluster model calculation for 3.9 ML Fe/Co(001).

用, 一原子あたりのスピン磁気モーメントなどを評価することができる。その中で, 一原子あたりのスピン磁気モー

メントに注目すると, 3.9 ML Fe, 6.6 ML Fe 共に $2.0 \mu_B$ と見積もられている。これは fcc Fe についてのバンド計算と比較すると, high spin 強磁性相に相当するものである。価電子帯スピン・角度分解光電子分光による結果でも, 低温における領域 I と II のバンド構造は類似しており, 共に high spin 強磁性相のバンド計算による結果と近い分散を示している⁵⁾。つまり, 領域 II では薄膜のうち深い層の磁化が大きく減少しており, それがキュリー温度の低下を導いているが, 低温における表面近傍の電子状態および磁気モーメントは領域 I のものと極めて類似している (共に high spin 強磁性相) ことが明らかになった。

参考文献

- 1) W. L. O'Brien and B. P. Tonner: Surf. Sci. **334**, 10 (1995).
- 2) V. L. Moruzzi and P. M. Marcus: Handbook of magnetic materials **7**, 97 (1993).
- 3) G. van der Laan: Phys. Rev. B **51**, 240 (1994).
- 4) A. Kakizaki, N. Kamakura, M. Sawada and K. Hayashi: Surf. Rev. Lett. to be published.
- 5) N. Kamakura, A. Kimura, K. Hayashi, A. Harasawa and A. Kakizaki: Jpn. J. Appl. Phys. **38**, 415 (1999).

(受付番号00054)