

FeNi 交互積層薄膜の Fe 層に及ぼす歪みの効果

Effect of the structural strain on the magnetism of Fe layer in alternately layered FeNi thin films

酒巻 真粧子*, 雨宮 健太

放射光科学研究施設, 〒305-0801 つくば市大穂 1-1

Masako Sakamaki* and Kenta Amemiya

Photon Factory, 1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

1 はじめに

$L1_0$ 型 FeNi 規則合金は垂直磁化膜の候補として期待されている。本研究では Fe や Ni と整合性の高い Cu(001)単結晶基板を用い、磁気異方性と構造の in situ 観察を行った。これまでに、Fe と Ni を交互に積層しながら X 線磁気円二色性(XMCD)スペクトルを得ることで、Fe と Ni 各層の磁気異方性エネルギーを見積もった。深さ分解 XMCD 法[1]を適用した結果、表面の Fe は Ni に覆われることで垂直磁気異方性が弱まることがわかってきた[2]。しかしながら、この解析は積層に伴う構造変化は考慮されておらず、応用上重要な繰返し数の多い多層膜に対して信頼性に欠ける。そこで RHEED 解析もあわせて磁気異方性と構造の関係について調べた。

2 実験

実験は BL-7A および 16A において試料作製と測定を同じ超高真空チェンバー内で行った。Fe、Cu および Ni は電子衝撃加熱法によって蒸着した。Cu(001)上の Ni は膜厚に応じて格子定数が変化することが知られている。また 9-11 ML で面内から面直へスピン再配列転移することも知られている。そこで wedge 状の Ni($x=3-21$ ML)を下地層として用い、その上に Fe と Ni を交互に n ML 積層することで薄膜の構造と磁気異方性を同時に制御した。XMCD は 500 G で着磁後、残留磁場下で測定を行った。全ての測定は室温下で行い、面直磁化を示す試料に対しては直入射配置(Normal incidence configuration; NI)、面内磁化を示すものに対しては斜入射配置(Grazing incidence; GI)で測定を行った。

3 結果および考察

図 1 は FeNi 薄膜と Ni 下地層の全体の厚さ($n+x$)を変えた時の面内格子定数 a を表す。全体の厚さが 13 ML までは Cu 基板の格子定数に沿った緩やかな変化を示すが、それより厚くなると急速に a が減少する傾向が見られた。図 2 に n ML FeNi 薄膜の Fe L-edge XMCD スペクトルを示す。 $n=4$ を選んだのは Ni に挟まれた Fe 層からのシグナルを得るためである。Ni 下地層の厚さ $x=21$ の時は面直磁化、 $x=8$ の時は面内磁化を示す。軌道磁気モーメントは XMCD

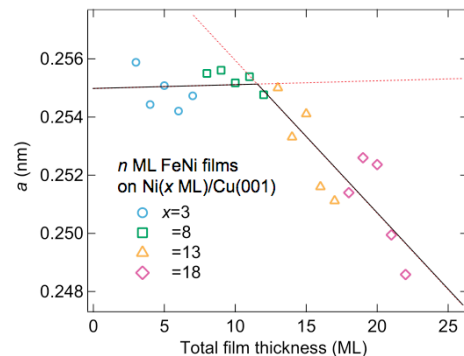


図 1: n ML FeNi/Ni(x ML)/Cu(001)の面内格子定数 a の厚さ依存性。

sum rule 解析[3]から見積もった。それぞれの面内格子定数 a の値も示した。一方 Ni 層に関しては、Ni 下地層の影響を取り除く必要があるため、深さ分解 XMCD 法を適用した。図 3 に Ni 層の成分を抽出した Ni L-edge XMCD スペクトルを示す。 $n=3$ および 5 を採用したのは Fe に挟まれた Ni 層からのシグナルを得るためである。 $(n=3, x=20)$ では面直磁化、 $(n=5, x=8.3)$ では面内磁化を示す。Fe と同じ手順で見積もられた軌道磁気モーメントと a の値を示した。同様に、Fe と Ni いずれも様々な(n, x)の組み合わせ

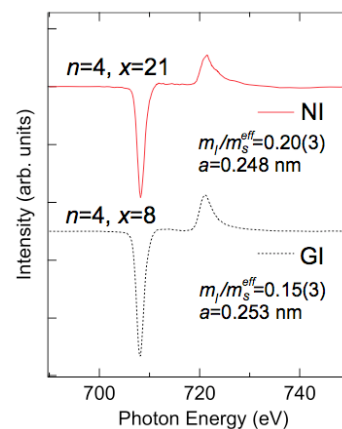


図 2: n ML FeNi/Ni(x ML)/Cu(001)の Fe L-edge XMCD スペクトル。

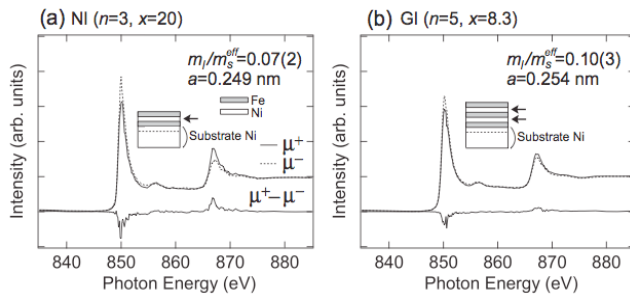


図 3: n ML FeNi/Ni(x ML)/Cu(001)における Fe に挟まれた Ni 層の Ni L-edge XMCD スペクトル。

において軌道磁気モーメントと a の見積りを行った。

全てをまとめた結果を図 4 に示す。グラフ上部には軌道磁気モーメントの面直成分と面内成分を示した。グラフ下部には磁気異方性エネルギー K を導出する近似式: $K = F \cdot (m_l^+ - m_l^-)$ [4] に従って見積もった K の値を示し、いずれも a に対する変化を観察した。 F は比例係数で、Fe は 2.0 meV/ u_B 、Ni は 3.0 meV/ u_B と仮定した。図 4(a)にあるように、Fe は a が小さくなると軌道磁気モーメントの面直と面内成分の差が広がり、 K の値が正に大きくなる傾向が見られた。これは圧縮歪みによって Fe の垂直磁気異方性が増すことを表している。一方図 4(b)にあるように、Ni は磁気異方性の a に対する変化は小さい [5]。L1₀ 型 FeNi の Fe 層に圧縮歪みを加えると、Fe の $d(xy)$ と $d(x^2-y^2)$ 軌道が変調されて垂直磁気異方性が増強されるとの理論的予測も報告されており [6]、Fermi 準位付近の軌道の異方性が Fe の方が大きいためこのような Fe と Ni の違いが生じるものと考えられる。

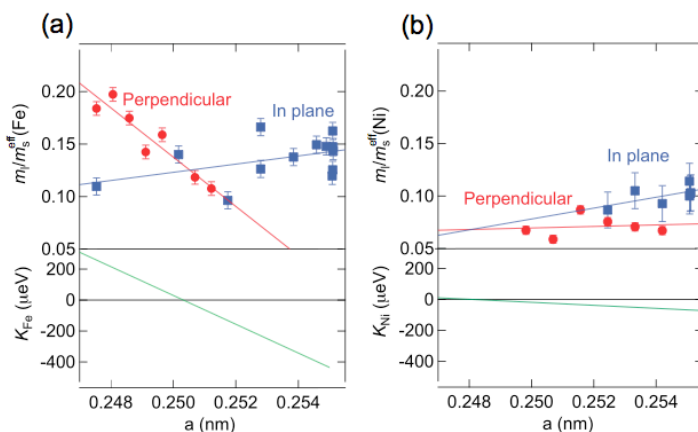


図 4: (a)Fe と (b)Ni の軌道磁気モーメント m_l と磁気異方性エネルギー K の面内格子定数 a 依存性。

4 まとめ

n ML FeNi/Ni(x ML)/Cu(001) 薄膜の各層の構造と磁気異方性を調べた結果、全体の膜厚が 13 ML までは Cu 基板の面内格子定数 a とほぼ同じ値を示すが、それより厚くなると急速に a は小さくなることがわかった。一方 XMCD による軌道磁気モーメント解析から、Ni に挟まれた Fe は圧縮歪みによって垂直磁気異方性が増す傾向にあることがわかった。今後は NiCu 非磁性下地層を用い、歪みと FeNi 層の磁気異方性の関係を定量的に観察し、合理的な予測に基づく磁気異方性制御を目指したい。

参考文献

- [1] K. Amemiya *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **84**, 936 (2004).
- [2] M. Sakamaki and K. Amemiya, *Appl. Phys. Express* **4**, 073002 (2011).
- [3] B. T. Thole, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **68**, 1943 (1992), P. Carra, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **70**, 694 (1993).
- [4] P. Bruno, *Phys. Rev. B* **39**, R865 (1989).
- [5] M. Sakamaki and K. Amemiya, *Phys. Rev. B* **87**, 014428 (2013).
- [6] Y. Miura, *et al.*, *J. Phys.: Condens. Matter* **25** 106005 (2013).

* masako.sakamaki@kek.jp