

# ナノスケール磁性薄膜の磁気特性とその分子科学的制御



## 横山 利彦 (教授)

1983年東京大学理学部卒業、1987年同大学大学院理学系研究科博士課程中退、理学博士 1987年広島大学理学部助手、1993年東京大学大学院理学系研究科助手、1994年同講師、1996年同助教授を経て、2002年1月より現職  
TEL: 0564-55-7345 FAX: 0564-55-4639  
電子メール: yokoyama@ims.ac.jp  
ホームページ: [http://msmd.ims.ac.jp/yokoyama\\_g/](http://msmd.ims.ac.jp/yokoyama_g/)

専  
門  
領  
域

構造分子科学専攻

ナノスケールの膜厚の磁性薄膜は単純な古典電磁気学からは説明できない興味深い物性を示すことがしばしばあります。例えば、磁性体は薄膜になると、古典論的には薄膜表面に平行に磁化される方が安定ですが、膜厚がナノスケールまで小さくなると、薄膜表面に垂直に磁化されやすい性質(垂直磁気異方性)が発現することがあります。あるいは、磁性薄膜層間に非磁性薄膜をサンドイッチしたものでは、磁化の方向によって電気抵抗が非常に大きくなる現象(巨大磁気抵抗)が観測されます。このような物性を理解することは、基礎科学的に重要であるばかりではなく、応用的にもコンピュータの高密度記録・記憶媒体として注目されています。さらに、このような磁性薄膜の性質は表面を異種元素で修飾すると、大きく変化することが知られています。通常、金属磁性薄膜は、研究レベルでは貴金属薄膜、市販では有機高分子薄膜などで表面を保護して使用されています。当グループでは、磁性薄膜の磁気特性が表面の修飾によってどのように変化するかに興味をもって、特に、分子の吸着などの表面分子科学的な観点から、超高真空 ( $10^{-10}$  Torr 以下) 中での磁性薄膜の磁気特性の制御を検討しています。

例えば、図には Ag(001) 表面上の Fe、Cu(001) 上の Ni、Pd(111) 上の Co 薄膜における NO 吸着効果の実験データを示しました。(a)、(b) は、磁気光学 Kerr 効果によるデータで、横軸は磁性薄膜の膜厚、縦軸は垂直方向の残留磁化、挿入図は示された膜厚での磁化曲線です。また(c) は、Co-L 吸収端の X 線磁気円二色性のデータで、Co 5 ML での吸着後のスペクトルが挿入図にあります。それぞれが違う磁気挙動を示します。(a) の Fe/Ag(001) では、もともとの清浄表面では 3.3 ML より薄い膜厚で垂直磁化が発現していますが、NO を吸着させると垂直磁化発現の転移膜厚が 2.5 ML 程度に減少します。つまり、例えば 3 ML の Fe では垂直磁化が面内磁化に転移し、NO 吸着により垂直磁化が不安定化したことを示します。(b) の Ni/Cu(001) では、もともとの清浄表面では 9.5 ML より厚い膜厚で垂直磁化が発現していますが、NO を吸着させると垂直磁化発現の転移膜厚が 7.5 ML 程度に減少します。つまり、例えば 8.5 ML の Ni では面内磁化が垂直磁化に転移し、Ni/Cu(001) では NO 吸着により垂直磁化が安定化したことを示します。(c) の Co(5 ML)/Pd(111) では、もともとの清浄表面では 3.5 ML より薄い膜厚で垂直磁化が発現しています。NO 吸着の膜厚依存性を測定していませんが、5 ML では面内磁化が垂直磁化に転移し、Co/Pd(111) でも NO 吸着により垂直磁化が安定化したことを示します。

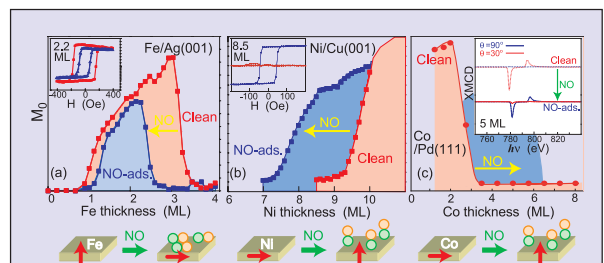
と垂直磁化発現の転移膜厚が 7.5 ML 程度に減少します。つまり、例えば 8.5 ML の Ni では面内磁化が垂直磁化に転移し、Ni/Cu(001) では NO 吸着により垂直磁化が安定化したことを示します。(c) の Co(5 ML)/Pd(111) では、もともとの清浄表面では 3.5 ML より薄い膜厚で垂直磁化が発現しています。NO 吸着の膜厚依存性を測定していませんが、5 ML では面内磁化が垂直磁化に転移し、Co/Pd(111) でも NO 吸着により垂直磁化が安定化したことを示します。

詳細な説明は省略しますが、X線磁気円二色性測定から、すべての試料で統一的に、吸着により表面でのスピン軌道相互作用が異方的に変化することが転移の原因であることがわかりました。Ni/Cu(001)、Co/Pd(111) の場合、NO は分子軸を表面垂直に立って吸着し、表面平行方向の軌道磁気モーメントが減少し、スピン軌道相互作用を介して垂直磁化が安定化します。これに対して、Fe/Ag(001) では、NO は分子軸を表面ほぼ平行に寝て吸着し、表面垂直方向の軌道磁気モーメントが減少し、垂直磁化が不安定化します。このように吸着構造の違いにより磁化の安定な向きが変わることを示しています。

グループ内の実験室では、超高真空中で、分子線エピタキシャル法によって磁性薄膜を作成し、その磁化特性を、上述の実験室での表面磁気光学 Kerr 効果や分子研放射光施設 UVSOR-II を用いた X 線磁気円二色性法を用いて検討しています。より表面感度の高い手法である、フェムト秒パルスレーザーを用いた磁気第二高調波発生法測定システムも導入しました。また、磁性薄膜の表面構造を調べる目的で、超高真空極低温操作トンネル顕微鏡を利用しています。さらに、極低温・強磁場下での実験を行うため、超高真空仕様の超伝導磁石・He クライオスタットを立上げ中です。今後、ナノレベルの磁気構造を直接観測するため、時空間分解能を備えた光電子顕微鏡も導入する予定にしています。

## 参考文献

- 1) D. Matsumura, T. Yokoyama, K. Amemiya, S. Kitagawa and T. Ohta, "X-ray magnetic circular dichroism study on spin reorientation transition of magnetic thin films induced by surface chemisorption," *Phys. Rev. B* **66**, 024402 (2002).
- 2) T. Nakagawa, H. Watanabe and T. Yokoyama, "Opposite spin reorientation transitions driven by a magnetic orbital moment: Ultrathin Ni films on Cu surfaces," *Phys. Rev. B* **71**, 235403 (2005).
- 3) T. Nakagawa, H. Watanabe and T. Yokoyama, "Effect of Adsorbate Carbon on Spin Reorientation Transitions in Cu-Capped Ultrathin Ni Films on Cu(001)," *Surf. Sci.* **599**, 262 (2005).



(a) Fe/Ag(001) の垂直方向残留磁化の Fe 膜厚依存性。挿入図は Fe 2.2 ML での磁化曲線。NO は寝て吸着し、垂直磁化を不安定化します。(b) Ni/Cu(001) の垂直方向残留磁化の Ni 膜厚依存性。挿入図は Ni 8.5 ML での磁化曲線。NO は立って吸着し、垂直磁化を安定化します。(c) Co/Pd(111) の垂直方向残留磁化の Co 膜厚依存性(清浄面のみ)。挿入図は Co 5 ML での Co-L 吸収端 X 線磁気円二色性スペクトルで、元の面内磁化が NO 吸着後に垂直磁化に転移しています。NO は立って吸着し、やはり、垂直磁化を安定化します。