

表面磁性と表面化学

太田 俊明 東京大学大学院理学系研究科

我々はフォトン・ファクトリーのスペクトル化学研究センター所属の軟X線ビームラインを平成11年度に更新し、専らこのビームラインにおいて、固体表面分子吸着系を対象にしてその原子構造、電子状態、磁性の研究を表面 XAFS、X線光電子分光、X線磁気円二色性を用いた研究を行なっている。

ここでは、表面磁性に関係した最近の新しい成果を二件紹介する。

(1) 容易磁化軸の分子吸着による変化

CuやPdのような非磁性金属の上に蒸着して作成した強磁性薄膜の容易磁化軸の方向は膜厚によって変化することが知られている。例えば、Ni/Cu(111)の場合、約10 MLまでは面内磁化し、10-50 MLまでは面直磁化、50 ML以上で再び面内磁化に帰る。

この容易磁化軸の変化に対して、水素、酸素、CO分子などを吸着させると、面直磁化の領域が7-50 MLに広がる。我々はこのような吸着分子による磁化の変化の振舞いに対してXMCDによる実験とsum ruleによる解析から、軌道磁気モーメントとスピン磁気モーメントを分けて求め、分子の吸着の仕方によってそれぞれの磁気モーメントの変化の様子が異なることを明かにした¹⁾。

最近、同様の実験をCo/Pd(111)系について行なった。すると、興味深いことに、4.6 ML Co薄膜に室温でCOを吸着させても、容易磁化軸は面内磁化のままで変化が無かったが、100 Kの低温でCOを吸着させると、面直磁化に転移する事を発見した。このような違いが何によって起こるかを光電子分光法によって調べた。その結果、室温吸着COのC 1sピークは $E_B=288.0$ eVに単一のピークを与え、COがon-topサイトに吸着しているという過去の研究結果と一致している。これに対して、低温で吸着させたCOのC 1sスペクトルでは、287.4 eVに肩構造が現われる。そして、昇温によって肩構造が消失すると同時に容易磁化軸の方向は面内が変わる。また、これをさらに低温に下げても磁化方向は変わらず、C 1sにおける287.4 eVのピークと磁化を面直に向ける傾向とは密接に関係している事を見出した。この肩構造の起源はCOのhollow siteまたはbridge siteへの吸着による化学シフトによるものと考えられ、わずかに0.2 MLのhollow (bridge) siteの吸着が面直への磁化容易軸への変化を引き起こすことが明らかになった²⁾。本研究は、分子の吸着サイトと容易軸の相関を解明した初めてのものといえよう。

(2) 深さ分解XMCD法の開発

磁性薄膜はその振舞いが温度、膜厚、分子吸着などによって変化することが知られているが、膜厚を変えていった時深さ方向で磁性が変わる系も幾つか報告されている。その代表的なものがFe/Cu(111)系である。Fe 4 MLまでは面直に磁化した強磁性を示し、11 ML以上

では面内に磁化する。この中間領域の磁化の振舞いに関しては現在でも論争になっており、表面 2ML が面直磁化し、その内部は反強磁性になっているとするグループ³⁾と SDW ができているとするグループ⁴⁾が対立している。しかし、これらはいずれも膜厚を増やして行きながら全磁化を XMCD や Kerr 効果で測定しているものであり、できあがった膜に対してその内部の磁性を調べたものではない。われわれは、電子の脱出深度が出射角度によって変化することを利用して、部分電子収量 XMCD 法の深さ分解を試みた。具体的には、電子検出のための MCP(micro channel plate)の上にスリットを設けて、試料の位置を X 線の進行方向に前後させることによって、電子の取り込み角度を変化させる。こうして得られた部分電子収量スペクトルは表面感度の違いが出てくる。まず、膜厚を変化させて電子収量スペクトルを測定して、電子の脱出深度を見積もる。実際の測定は Fe 4ML, 7ML, 8ML で行なった。その結果、4 ML では、深さに関わらず同じ面直の強磁性を示すが、7ML, 8ML の試料では 2ML だけが面直の磁性を示し、それより深い層では磁性が大きく減少していることが明らかになった。これを SDW の波長と振幅をパラメーターにして実験結果と比較したところ、2.4 ML の波長を持った SDW のモデルがもっとも良く一致するという結果を得た⁵⁾。このような簡便な方法で深さ情報が得られることの意義は大きいといえるが、これらの結果は、残念ながら、一義的に磁性の深さ分解をしたとは言えない。(たまたまモデルと実験とがあっただけかもしれない。)そこで、最近、より実験精度を高めて詳細な磁性の深さ分解が可能ないように、MCP の後に CCD カメラを設置して、位置分解電子収量法を用いることにした。この方法によれば、検出する位置によってプローブする深さが異なるので、ある膜厚の状態、ある X 線エネルギーに対する吸収スペクトル深さ分解が同時に測定できることになる。これによって、検出精度の向上と同時に測定速度を大幅に短縮することに成功した。この方法を用いれば、一般に磁性薄膜について、温度による磁性の変化、分子吸着による磁性の変化の深さ情報を容易に測定する事が可能になり、今後の磁性研究の有用な方法になることが期待される。

以上の研究は、S2 型課題の研究課題として行われたものであり、雨宮健太、松村大樹、北川聡一郎(東大大理)横山利彦(分子研)との共同研究である。

文献

- 1) D.Matsumura et al, Phys.Rev. B66 (2002) 24402
- 2) 松村, 雨宮, 北川, 横山, 太田: 物理学会 春の年会 (2003)
- 3) D.Schmitz et al, Phys.Rev. B59 (1999) 4327
- 4) D.Qian et al; Phys.Rev.Lett. 87 (2001) 227204
- 5) K.Amemiya et al; J.Physics Condensed Maters, 2003 in press