

Rashba 型スピン軌道結合が誘起する Fe/Au(111) 界面の垂直磁気異方性

岡林潤¹、李松田²、境誠司²、三井隆也²、小林康浩³、田中清尚⁴、三谷誠司⁵

¹東大理、²量研機構、³京大複合研、⁴分子研、⁵NIMS

Perpendicular magnetic anisotropy induced by Rashba-type spin-orbit coupling in Fe/Au

J. Okabayashi¹, S. Li², S. Sakai², T. Mitsui², Y. Kobayashi³, K. Tanaka⁴, and S. Mitani⁵

¹UTokyo, ²QST, ³Kyoto Univ., ⁴IMS, ⁵NIMS

Au (111) 表面上の Fe 超薄膜は、界面における軌道混成の変調により Fe 層が垂直磁気異方性を示すことが報告されている[1]。第一原理計算やモデル計算、及び磁気円二色性(XMCD)による研究が 20 年来行われてきた[2, 3]。しかし、界面の Fe の 3d 軌道状態と軌道角運動量の異方性は明確ではなく、スピン軌道相互作用が絡んだ特異なバンド構造の元素別な軌道分解解析が重要になる。特に、Rashba 型スピン軌道相互作用が誘起する垂直磁気異方性について理論的に提唱されており[4]、空間・時間反転対称性の破れたトポロジカルスピン軌道物性の舞台ともなりうる。本研究では、極薄 Fe 堆積に伴う界面電子状態を調べるために、 γ 線領域のメスバウアー分光、軟 X 線領域の X 線磁気円二色性(XMCD)、真空紫外領域の角度分解光電子分光 (ARPES) を用いて Fe/Au(111) 界面の軌道状態を議論することを目的とする。

試料作製について、超高真空中にて Au(111) 表面に 3 分子層 (ML) の Fe を 150°C にて電子線蒸着により堆積した。メスバウアー分光測定用に界面 1 層には ⁵⁷Fe 同位体を用い、他は安定核種 ⁵⁶Fe を用いた。最表面には Au 1nm の被覆層を用いた。単結晶成長を高速電子線回折により確かめた。放射光メスバウアー分光について、SPring-8 B11XU にて 14.4 keV の偏光入射光を用い、20 K にて垂直磁場印加中に測定を行った。XMCD 測定について、高エネルギー研 PF BL-7A(東大理)にて行った。また、分子科学研究所 UVSOR にて、直線偏光を用いた ARPES を行った。

磁化測定では、Fe 3 ML/Au(111) の構造において垂直磁気異方性を観測した。面内面直の磁化曲線の異方性が 0.01 μ_B であり、軌道異方性エネルギーに換算すると 10^5 J/m³ となった。さらに、放射光メスバウアー分光では、微細構造の解析により、原子核内部磁場が界面にて増大した。この理由は、界面の軌道磁気モーメントの増大を反映していることとして説明できることが判った。角度依存 XMCD にて、軌道磁気モーメントの異方性は $\Delta m_{orb} = 0.01 \mu_B$ となり、磁化測定と同等の軌道異方性を説明できる。さらに、試料作製後に超高真空中を搬送し、その場(in-situ)ARPES を行った。Au(111) の表面状態は、Rashba 分裂していることを確認し、その上に Fe を堆積し、*s*, *p* 直線偏光を用いた ARPES を行った。面内・面直軌道を分解したバンド分散を観測し、3 ML の Fe 堆積の電子状態は、バルク Fe と異なる Au(111) 表面との pd 混成軌道を示した。

これらの結果により、Fe/Au(111) の界面の軌道状態と垂直磁気異方性を議論できる[5]。

(1) メスバウアー分光にて軌道磁気モーメントを検出できるか メスバウアースペクトルにおける内部磁場は $H_{hf} = H_{fermi} + H_{dipole} + H_{orb}$ と表され、原子核周囲の *s* 軌道が軌道モーメント(H_{orb})を有し、*sd* 結合を通して *d* 軌道の磁気モーメントが判る。Au との界面の成分にて H_{hf} の増大があり、これが軌道モーメントの増大に起因し、XMCD による軌道成分の見積もりと一致することが判った。

(2) Fe/Au(111) の垂直磁気異方性の起源は何か Au 原子のスピン軌道相互作用により Rashba 分裂した Au(111) 6p 表面準位が界面にて Fe と結合することで、Fe の軌道異方性は Au のスピン軌道相互作用を通して獲得できるものと考えられる。このように、異種界面のそれぞれの特性を活かした結果として界面垂直磁気異方性が生じる可能性があり、界面新機能性の開拓に繋がる。

参考文献

- [1] K. Shintaku et al., Phys. Rev. B **47**, 14584 (1993). [2] O. Toulemonde et al., J. Appl. Phys. **95**, 6565 (2004)
 [3] P. Ohresser et al., Phys. Rev. B **64**, 104429 (2001). [4] S.E. Barnes et al., Sci. Rep. **4**, 4105 (2013).
 [5] J. Okabayashi et al., submitted.