

キーワード：表面、磁性、走査トンネル顕微鏡 (STM)、X線磁気円二色性偏光 (XMCD)

1. 序論

近年磁気記録媒体の小型化、高密度化が進行している。磁気記録媒体の性能の重要な要素である系のドメイン構造は形状や磁気異方性特に大きく依存している。そのため、磁気記録媒体の発展には金属の低次元構造における磁気異方性等の磁気的特性の理解が不可欠である。金属の低次元構造における物性は、対称性を失い電子が局在しやすくなり、三次元における物性とは異なった性質を示すことが知られている。また、低次元化することで熱揺らぎの影響も大きくなる。ここ数十年の間、金属の低次元構造の磁性に関して数多くの理論研究がなされており、非磁性貴金属上に形成した3d遷移金属の低次元構造についてバルクよりも強い磁気モーメントを示すことが予測されている[1,2]。また、表面技術の発達により、近年では実験研究も多く為されており、例えばPt微傾斜面上に形成した一次元Co鎖において強磁性秩序や強い面直磁気異方性が確認されている[3]。

本研究では、Au(111)微傾斜面上に形成したNiの低次元ナノ構造について、STM(走査トンネル顕微鏡)測定により構造及び成長過程を、XMCD(X線磁気円二色性偏光)測定により磁気的特性やその磁気異方性について調べている。本研究で基板として用いているAu(788)表面は、Au(111)表面に対して[-211]方向に 3.5° の角度をつけて切り出すことで得られる微傾斜表面である。Au(111)表面は大部分が平坦なテラス構造であるのに対し、Au(788)表面はマクロスケールで均一な、直線的なステップが等間隔且つ平行に配列する構造を有する。基板原子と蒸着させる原子の組み合わせにもよるが、多くの場合微傾斜面を持つ基板に金属を蒸着させると、蒸着された金属原子はステップの下端にトラップされる。蒸着量を増していくと、ステップに沿って一次元的に成長し、その後テラス方向に成長していく(図1)。このように蒸着量を制御することで金属低次元構造の次元性を0次元から1次元、2次元へと制御することができる[4]。Au(788)表面を構成する(111)テラスの幅は約39 Åで、Au原子16列分に相当する。また、Auのdバンドはフェルミ準位に比べて十分に低いため、蒸着させる金属とAu基板とのd-d相互作用が系の磁性に及ぼす影響は小さい。

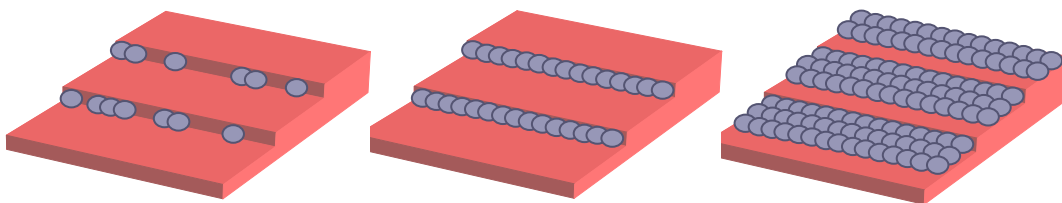


図1. 微傾斜面上の金属低次元構造

2. 実験

Au(788)表面の清浄化は、超高真空の下、 Ar^+ イオンを用いたスパッタリング (500 eV) とアニーリング (700 K) の繰り返しにより行った。蒸着は電子衝撃加熱法を用い、フィラメントで遷移金属のロッドを加熱して溶かすことにより、蒸着速度毎分 0.05 ML程度で行った。STM測定は 10^{-10} Torrの真空度において、定電流モードで、チップ電圧 0.3 V、トンネル電流 0.5 nAの条件の下に行った。XMCD測定は播磨にある放射光施設SPring-8の軟X線ビームライン、BL25SUにおいて、真空度 10^{-9} Torr、最大印加磁場 1.9 Tの条件で行った。

3. 結果及び考察

まず Ni の低次元構造が先述の通り成長するかどうか STM により観察した。図 2 (a), (b), (c) は Au(788) 表面上に吸着した Ni の低次元ナノ構造の STM 像である。蒸着量を増していくと、ステップ下端に吸着した Ni 原子同士が合体し、ステップに沿って一次元鎖を形成されていく。さらに蒸着量を増していくと、テラス方向に成長し擬一次元ワイヤー、二次元薄膜へと構造を変化させていくのが分かる。Ni の 1 層目が Au 基板を完全に覆うまで Ni の 2 層目は吸着していない。また、Ni の低次元構造は Au 基板の原子配列をそのまま引き継ぎ fcc 構造をとる。しかし、Au 基板の原子間隔がバルクの Ni の原子間隔よりも大きいため、Ni 低次元構造の原子間隔はバルクの Ni に比べて引き伸ばされていると考えられる。

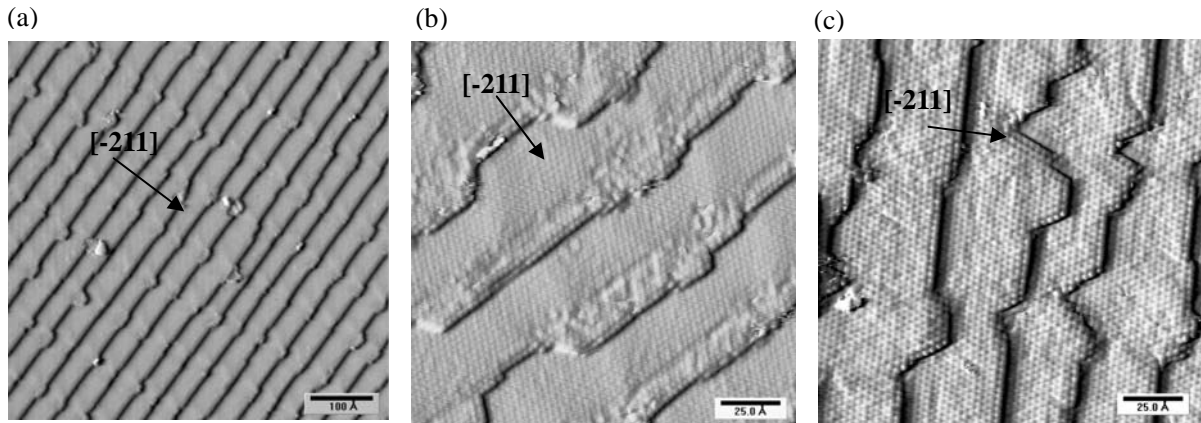


図2.(a),(b),(c) Ni/Au (788)のSTM像 (a)0.1 ML, (b)0.3 ML,(c)1.0 ML

円偏光を磁化された 試料に照射してその吸収スペクトルを測定すると、双極子遷移に従って円偏光の向きが 右回りと左回りの場合で吸収係数に差が生じることから、試料の磁性についての情報が得られる。逆向きの円偏光で測定したX線吸収スペクトル(XAS)の差がXMCDスペクトルで、内殻の 2p軌道から 3dの非占有軌道への遷移に相当する吸収端がスピン-軌道相互作用により二つに分裂したのに対応する L_3 , L_2 ピークが、試料の磁気モーメントの大きさに比例する。図 3 及び図 4 は、1.0 ML Ni/Au(788)のXAS及びXMCDスペクトルである。 θ は表面垂直方向に対する印加磁場方向の角度である。850 eVと 868 eV付近のピークがそれぞれNiの L_3 , L_2 吸収端と一致し、はっきりとしたMCDシグナルからNiの 3d軌道が磁気モーメントを持つことが分かる。またMCDスペクトルの L_3 吸収端のピーク強度が $\theta=0^\circ$ の時に最小となり、 θ の絶対値が大きくなるほどピーク強度が強くなることから、1.0 ML Ni/Au(788)は面内方向の磁気異方性を示すことがわかる。これはバルクのNiが(111)方向に磁気異方性を持つのと異なる結果であるが、Ni薄膜では薄膜の形状磁気異方性、Au基板により引き伸ばされたNi原子間隔に起因する磁歪、Ni/Au界面の結晶磁気異方性等により面内磁気異方性を有すると考えられる。図 5 はNi/Au(788)のMCDスペクトルの L_3 ピーク強度の蒸着量依存性を示している。蒸着量が低くなるほどピーク強度が小さくなっていくのが確認できる。これは蒸着量が小さくなり次元性が低くなるほど熱揺らぎの影響が大きくなり、スピンプロックの大きさを維持できなくなるからだと考えられる。図 6 は 1.0 ML Ni/Au(788)のMCDスペクトルの L_3 ピーク強度の磁場依存性を示している。図中、一つのデータポイントが一つのXMCDスペクトルに対応し、 L_3 吸収端におけるピーク強度が磁化に比例することから、磁化の磁場応答を表すM-H曲線と同じ情報を得られる。 $\theta=55^\circ$ のスペクトルでは低磁場において磁気飽和が発現しており、またステップ平行方向のスペクトルでは強磁性的なヒステリシスが確認できる。1.0 ML Ni/Au(788)はステップ端近傍の結晶磁気異方性や磁歪等によりステップ平行方向の磁気異方性を持つと考えられる。

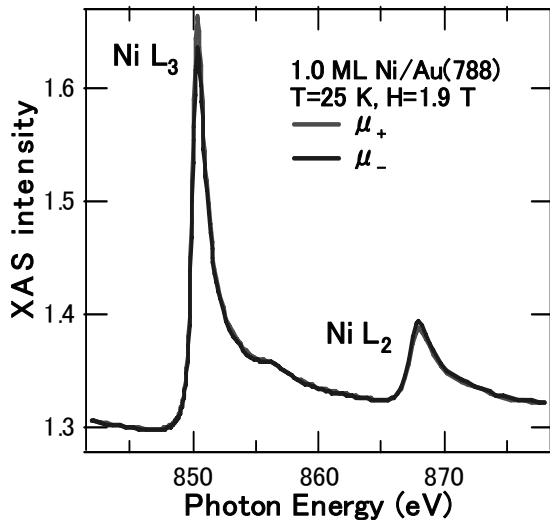


図3. 1.0 ML Ni/Au(788)におけるXASスペクトル

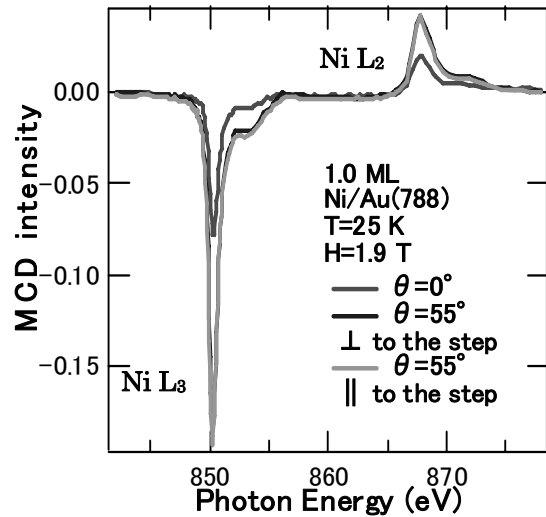


図4. 1.0 ML Ni/Au(788)におけるMCDスペクトル

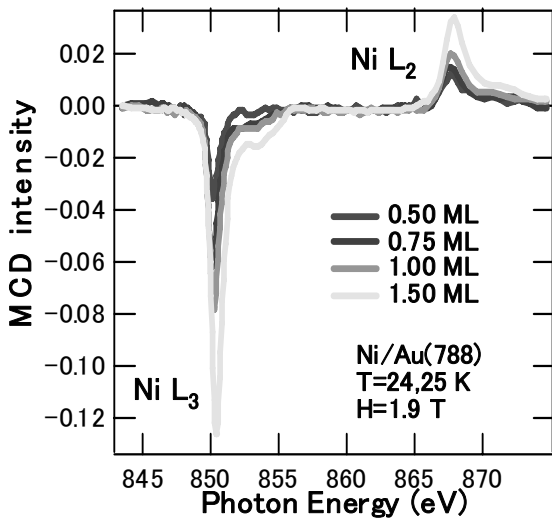


図5. Ni/Au(788)のMCDスペクトルの蒸着量

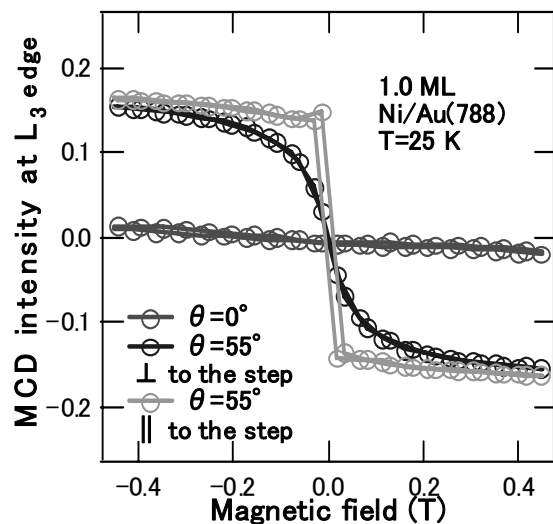


図6. 1.00 ML Ni/Au(788)における磁化

4. 結論

本研究ではSTM、XMCD測定により、Au微傾斜面上に形成したNiの低次元構造の構造や磁性について、特に磁気異方性についての情報を得ることができた。Niは低次元化することでバルクの状態の(111)面垂直方向の磁気異方性から、(111)面内平行方向の磁気異方性に変化することが分かった。Ni薄膜は薄膜の形状磁気異方性、Au基板により引き伸ばされたNi原子間隔に起因する磁歪、Ni/Au界面の結晶磁気異方性等により面内磁気異方性を示し、ステップ端近傍の結晶磁気異方性や磁歪等によりステップ平行の磁気異方性を示すと考えられる。

5. 参考文献

- [1]C.L. Fu, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **54** (1985) 2700.
- [2]R. Richter, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **54** (1985)2704.
- [3]P. Gambardella. *et al.*, Science. **300** (2003) 1130.
- [4]S. Rohart *et al.*, Surf. Sci. **559** (2004) 47.

6. 学会発表

- [1]第68回応用物理学会学術講演会 (北海道工業大学、2007年9月)
- [2]第48回真空に関する連合講演会 (学習院大学、2007年11月)
- [3]第3回放射光表面科学部会 (東京大学、2007年12月)