

上下を Pt で挟まれた Fe 単原子層の強磁性 Ferromagnetism of single monolayer Fe sandwiched by Pt

今田 真^a, 渡辺智健^a, 山崎 篤志^a, 税田 哲朗^a, 菅 滋正^a, 嶋 敏之^b, 高梨 弘毅^b
S. Imada^a, T. Watanabe^a, A. Yamasaki^a, T. Saita^a, S. Suga^a, T. Shima^b, K. Takanashi^b

^a 大阪大学大学院基礎工学研究科, ^b 東北大学金属材料研究所

^a Graduate School of Engineering Science Osaka University

^b Institute for Materials Research, Tohoku University

上下を Pt で挟まれた Fe 単原子層は、大気中でも安定であるとともに Fe 単原子層の上下がほぼ対称な理想的な 2 次元磁性体である。Fe が微量であるため一般の磁化測定の手法を適用することは困難だが、内殻磁気円二色性(XMCD)は十分な感度を持っているのでこれを用いることで、Fe の磁気モーメントの磁場・温度変化を測定した。

Single monolayer Fe sandwiched by Pt is not only stable in the air but also an ideal two-dimensional magnetic system because of the symmetry with respect to the Fe layer. Although it is difficult to measure the magnetization by means of ordinary methods due to the small amount of Fe, core-level X-ray magnetic circular dichroism (XMCD) can be used to measure the magnetic moment. We have measured the dependence of the magnetic moment on the magnetic field and temperature.

はじめに

層状規則合金 FePt の薄膜ならびに微粒子は、高密度記録媒体に応用可能な磁性ナノ材料として有望視されている。FePt は Fe と Pt が 1 原子層ずつ積層した規則合金であり、結晶構造は L10 構造、即ち体心正方格子の頂点に Pt が、体心に Fe がおかれた構造をとる。強磁性体で、磁化容易方向が積層面に垂直であること(垂直磁気異方性)が高密度記録媒体の有力な候補と考えられている理由である。

分子線エピタキシー(MBE)法を用いて Fe と Pt を 1 原子層ずつ交互に蒸着することで、

積層面が基板に平行な単結晶 FePt 薄膜を作製できるようになっている。単結晶 FePt を Pt 基板に成長させ、さらに酸化防止のため保護層として Pt を蒸着する。ここで、FePt 層を究極に薄くすることを考えると、上下を Pt に挟まれた Fe 単原子層を作製することができる。

従来研究されてきた Fe 単原子層は、単結晶基板の上に蒸着されただけで上に保護層はなかった。これに対して上下を Pt に挟まれた Fe 単原子層は、大気中でも安定であるので様々な実験を同一の試料で行うことができる。

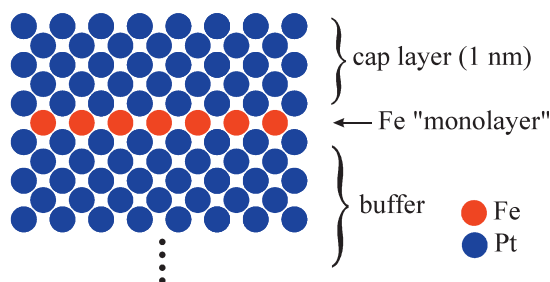


図 1 上下を Pt 層で挟まれた単原子 Fe 層

さらに Fe 層の上下が対称であるので比較的理想的な 2 次元磁性体と見ることができる。

実験

試料は、図 1 のような単結晶薄膜であり、MBE 法を用いて次のように作製した。へき開した MgO 単結晶基板上にまず seed 層として Fe を、続いて buffer 層として Pt を蒸着した。これを基板として、Fe を 1 原子層蒸着し、最後に保護層として Pt を 1.0 nm 蒸着した。1 層ごとのエピタキシャル成長は、反射高速電子線回折でモニターした。

実験は BL25SU の永久磁石駆動型 XMCD 測定装置(図 2)と電磁石式 XMCD 測定装置を用い、偏光変調測定を用いた。試料に単色円偏光軟 X 線を当て、試料からの光電子全収量を測定することで、光吸収スペクトル(XAS)を得る。偏光変調測定では、光源である 2 台のヘリカルアンジュレータを互いに逆の円偏光に設定し、アンジュレータ前後に装備された電子軌道キッカーを制御することで試料に正負の極性の円偏光を交互に照射する。偏光変調測定の利点は、試料に磁場をかけた状態で測定すること(磁場中測定)も、試料にいったん磁場をかけた後、試料を永久磁石の磁気回路から上に引き抜く(図 3 参照)ことで、残留磁化状態での測定(残留磁化測定)もできることである。一方、電磁石式の XMCD 測定で

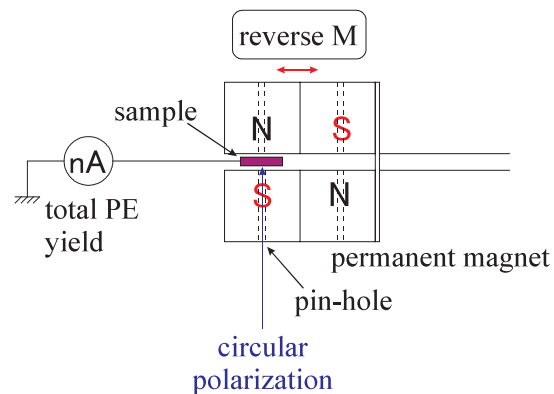


図 2 永久磁石型 XMCD 測定装置の概要(上面図)

は、試料にかかる磁場を +1.9 T と -1.9 T の間で変化させ、各磁場強度において偏光変調測定を行う。これによって試料の磁化曲線を得ることができる。上部 Pt 層の下にある一原子層の磁気モーメントを測定する必要があるので、表面から測った深度方向の感度が 10 nm 程度あつてかつ微量分析が可能な XMCD は最適な測定手法のひとつと言ってよい。

結果

まず、残留磁化測定を、温度を変えながら行った。残留磁化下での XMCD 強度の温度依存性は、 $T \sim 160$ K で昇温とともに急激な減少を示し、 $T \geq 170$ K ではほぼゼロとなる。

次に、電磁石を用いた XMCD 測定を行って磁化曲線を得、アロットプロットを行い、かつこれを温度を変えながら行うことで、自発磁化の温度依存性を見積もった。その結果、自発磁化がゼロになる温度すなわちキュリー温度(T_C)は、上記の残留磁化がゼロになる温度よりもはるかに高く、240 K 程度だと見積もられることがわかった。

まとめ

本研究を通して明らかになったことは、上

下を Pt ではさまれた単原子 Fe 層は、キュリー温度が 240 K 前後の強磁性体であることである。

今後の課題は次の通りである。(1)上下を挟む貴金属の種類に対するキュリー温度の依存性を明らかにすること。(2)磁区構造の温度変化を詳細に観察することで、上記のキュリー温度の見積もりを検証するとともにこの系の磁性についてのより詳細な理解を得ること。(3)この系の電子状態と磁性発現のメカニズムを解明するためにバンド計算などの理論的アプローチを行うこと。