

## 紫外磁気円二色性光電子顕微鏡の可能性

分子研 横山利彦

磁性薄膜のナノ磁気構造を直接観測する最も適当な手段の一つとして磁気円二色性(MCD)光電子顕微鏡(PEEM)が広く用いられている。しかし、大きな MCD(例えば 10%以上)を得るには放射光円偏光 X 線を用いた X 線磁気円二色性測定が不可欠で、専ら第三世代シンクロトロン放射光施設でのみ実験が行われてきた。これは可視紫外光を用いると MCD 強度は X 線に比べて数桁落ちるため、実際、唯一 UV 磁気線二色性(MLD) PEEM の測定結果では、100nm もの厚い Fe 膜で MLD 強度は 0.19%であった[1]。この理由は、MCD の生じる起源であるスピン軌道相互作用が、概して内殻で大きく価電子では非常に小さいためである。しかし、もし紫外光での実験が可能となれば、MCD PEEM 測定が実験室レベルで行え、かつ、パルスレーザーの利用によりフェムト秒超高速(現状の放射光では 70ps 程度)動的磁化過程がナノスケールの空間分解能で追跡できることになる。本研究では紫外磁気円二色性光電子顕微鏡の可能性を検討した[2,3]。

まず、空間分解能のない条件で検討した。図 1 に UVSOR-II の自由電子レーザー(231nm)を光源とした清浄な Ni/Cu(001)と HeCd レーザー(325nm)を用いた Gd 被覆 Ni/Cu(001)の磁化曲線を示した(いずれも垂直磁化膜)。Gd 被覆は仕事関数を下げることを行っている。また、自由電子レーザーの実験は UVSOR 加速器グループ加藤・保坂氏との共同研究である[3]。図 1 ではいずれの磁化曲線においても強度 4-5%という異常に強い MCD が観測された。図 2 に 1/4 波長板の回転角 $\chi$ 依存性を示した。左円偏光で極大、右円偏光で極小、直線偏光で 0 となる  $\cos 2\chi$ 依存性を示し、確かに MCD であることが確認できた。また、この測定の際の MCD 強度は 9%に達している。この原因を探るため試料の仕

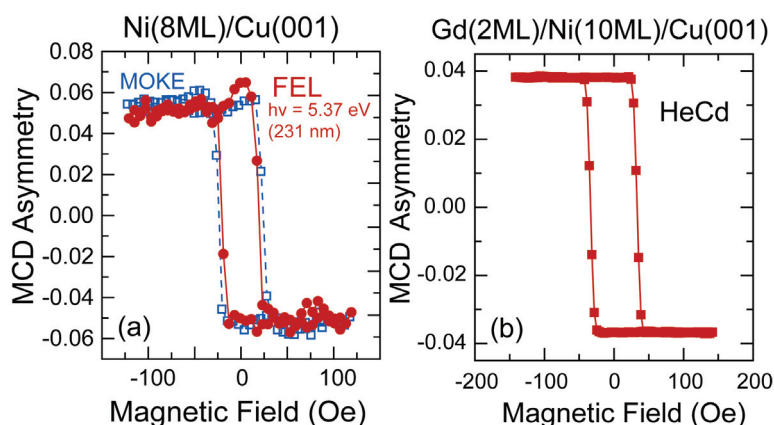


図 1 (a) UVSOR-II FEL (231nm)による清浄 Ni/Cu(001)薄膜の光電子 MCD 磁化曲線(赤)と可視光レーザーによる MOKE 磁化曲線(青)。 (b) HeCd レーザー(325nm)による Gd 被覆 Ni/Cu(001)薄膜の光電子 MCD 磁化曲線。

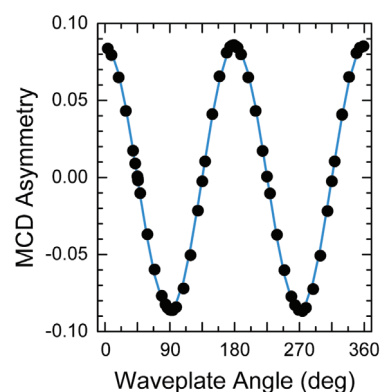


図 2 Cs 被覆 Ni/Cu(001)薄膜の光電子 MCD 強度の 1/4 波長板回転角依存性。半導体レーザー(635nm)利用。0°:左円偏光、45°:直線偏光、90°:右円偏光。

仕事関数を変化させて MCD 強度を観測した。仕事関数を連続的に変えるため、Cs を吸着させ、その吸着量で仕事関数を制御した。レーザー光源は 3 種類用いた。図 3 がその結果であり、仕事関数しきい値近傍で MCD 強度が極端に負に増大(12ML Ni で最大 30%)し、エネルギーが外れると急激に 0 に漸近することを見出した。また、スピン軌道相互作用を含めた簡単なバルク Ni のバンド計算を行い、確かにしきい値付近で MCD が強調されることも確認できた。

Cs 被覆の Fe/Cu(001), Co/Cu(001)などの系でも同様の実験を行った。詳細は省略するが、垂直磁化膜では大きな MCD (1%/ML 程度)、面内磁化膜では小さい MCD (0.1%/ML 以下)を示すことがわかった。これは、反射光が垂直磁化膜では MCD を強調し、面内磁化膜では相殺するという磁気光学 Kerr 効果(MOKE)の場合と同様の状況であると解釈できる。

図 4 に Ni/Cu(001)垂直磁化膜の PEEM 像を示した[3]。PEEM 光学系は Elmitec 社製 PEEM Spector を使い、光源は HeCd レーザーとして、仕事関数を下げるため試料を若干の Cs で被覆した。PEEM 測定系はまだ立上げ段階であり、空間分解能は十分ではないが、図 4 でははっきりと 2 種の磁区と 180°磁壁が観測されている。図で上側 2/3 程度の暗い部分が上向きの磁化、下側 1/3 程度の明るい部分が下向きの磁化に対応している。極端に明るい部分は表面に付着したごみであり、ごみを避けるような形で辞壁が走っている様子が伺える。

既に厚い膜の UV MLD PEEM の測定は報告があるものの、UV MCD PEEM の実測はこのデータが初めてであり、超薄膜にもかかわらず十分な感度で観測できたことは、今後、紫外超短パルスレーザーを用いることで、超高速 MCD PEEM 観測が可能であることを示唆する結果である。

なお、講演時には、Co ナノワイヤの磁気異方性など表面磁性研究の成果についても紹介したい。

[1] G. K. L. Marx *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **84** (2000) 5888.

[2] T. Nakagawa and T. Yokoyama, *Phys. Rev. Lett.* **96** (2006) 237402.

[3] T. Nakagawa, T. Yokoyama, M. Hosaka and M. Katoh, to be published.

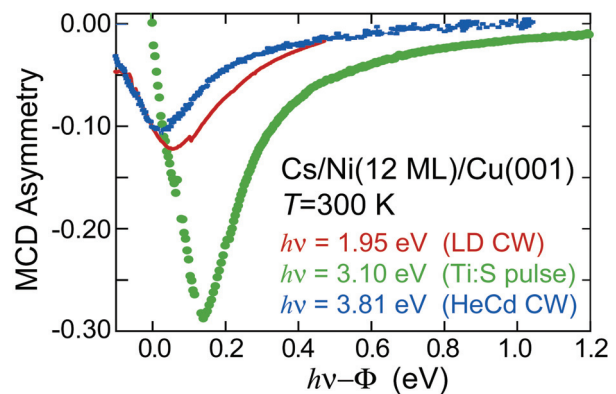


図 3 Cs 被覆 Ni/Cu(001)薄膜の光電子 MCD の仕事関数Φ依存性。

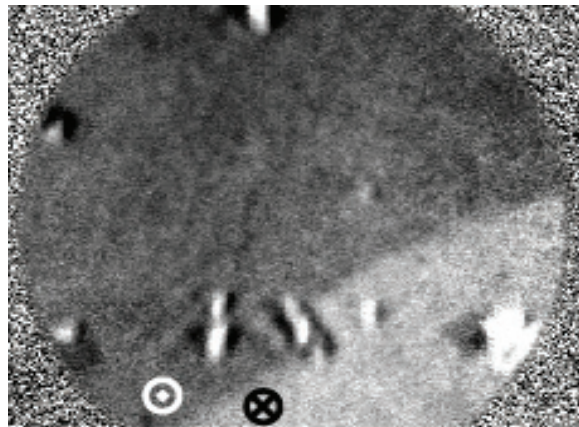


図 4 HeCd レーザーを用いた Cs 被覆 Ni(8 ML)/Cu(001)薄膜の PEEM 像(視野 25μmφ)。