

PFにおけるVUV・軟X線を用いた磁性薄膜・多層膜研究

雨宮健太*

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所

*kenta.amemiya@kek.jp

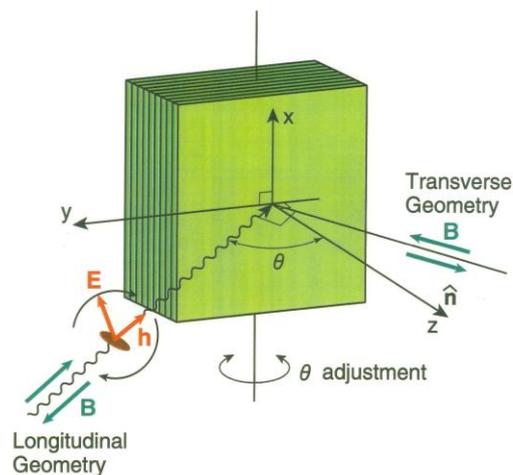
1. 概要

PFの特長の一つとして、軟X線およびVUV領域に適したパラメータのリングであることが挙げられる。この波長領域の放射光を用いた実験手法は比較的表面に敏感であるため、磁性薄膜・多層膜の研究に威力を発揮する。PFではこの特長をいかして、以下に示すように磁性研究に有効な多くの実験手法を用いた研究が進められている。本講演では、現在および近い将来のPFにおける、磁性薄膜・多層膜研究のための実験手法、およびそれを用いたいくつかの研究例を紹介する。

2. 実験装置

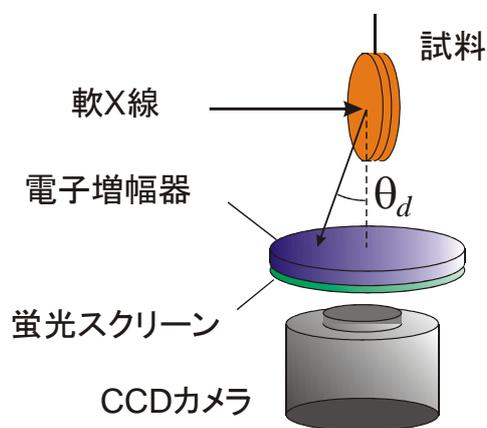
2-1. 超伝導電磁石を用いた角度依存X線磁気円二色性(XMCD)

軟X線領域のXMCDは、元素選択性およびスピ
ン・軌道磁気モーメントの定量性から、近年の磁性研究で広く用いられている手法であり、特に3d遷移金属や希土類元素に対して威力を発揮する[1,2]。さらに、薄膜・多層膜のように異方性が重要な試料に対しては、右図のように試料を回転させてXMCDの角度依存を測定することによって、スピン磁気モーメントに加えて軌道磁気モーメントの面内・面直成分を分離して決定することができる[1]。なお、測定方法としてはX線の吸収に伴って放出される電子もしくは蛍光X線を検出するのが一般的で、それぞれ数nm、数100nm程度の検出深度を有する。PFでは5Tまでの磁場が利用できる。



2-2. 深さ分解XMCD

通常のXMCD測定が、上述の検出深度程度の領域からの信号の(加重)平均値を観測しているのに対し、深さ分解XMCD法においては右図のように、放出される電子の出射角(図の θ_d)によって実効的な検出深度が異なることを利用して、原子層レベルで深さ方向に分解した情報を得ることができ、特に表面付近の磁性を内部層と分離する際に威力を発揮する[3,4]。ただしこの手法は、その原理から明らかなように残留磁化中での測定しか行えない。なお、PFにおける深さ分解XMCD装置は、表面清浄化のためのイオンスパッタリングおよびアニール処理、低速電子線回折(LEED),



Auger 電子分光(AES)および反射高速電子線回折(RHEED)による表面の評価, 電子衝撃加熱法による薄膜の蒸着, そして深さ分解 XMCD 測定までの全てを, 一つの超高真空チェンバー内で試料の移送なしで行うことができるのが大きな特色である。

2-3. 常伝導電磁石を用いた XMCD

2010 年 12 月より運用を開始した装置で, 1.2 T までの磁場中で XMCD 測定を行うことができる。電磁石が水冷で, 装置の構造も単純なため, 実験に熟練を要しないことが大きな特長である。また, さらに簡便なものとして 0.2 T までの磁場が印加できる装置も利用可能である。

2-4. スピン分解光電子分光

スピン検出器を有する光電子分光装置を用いて, 価電子帯のスピン偏極を直接観察するものである。ただしこれも, 原理的に残留磁化での測定しか行えない。PF におけるスピン分解光電子分光装置(東大物性研所有)は, 小型モット散乱型スピン検出器と角度分解光電子分光装置を組み合わせたものであり[5], 試料準備槽において基板の清浄化, 薄膜試料の作製, およびその評価(LEED, AES および Kerr 効果測定)を行うことができる。

2-5. 共鳴磁気散乱

比較的最近, 開発の進んでいる手法で, XMCD ほど直感的ではないものの, 薄膜・多層膜において元素選択的に, かつ深さ分解した磁気モーメントを決定できる[6]。電子ではなく軟 X 線を検出するため, 上述の深さ分解 XMCD とは異なり磁場中でも測定可能なのも大きな特長である。

2-6. 光電子顕微鏡(PEEM)

X 線吸収に伴って放出される電子を電子顕微鏡でイメージングすることによって, 比較的手軽に 100 nm レベルの空間分解能をもった XMCD 測定が行える手法である[7]。

3. ビームライン

上述の手法が利用できる PF のビームラインのリストは, ホームページから確認することができる[8]。特に BL-16A は 2008 年より運用を開始した磁性研究に特化したビームラインであり, スピン分解光電子分光(東大物性研のビームラインである BL-19A に常備)以外の全ての手法が利用可能である。また, 0.2 T までの XMCD および深さ分解 XMCD の測定は BL-7A, 11A でも行える。さらに BL-16A では, 同じく 2008 年より文部科学省の量子ビーム基盤技術開発プロジェクトとして「軟 X 線の高速偏光制御による機能性材料の探求と創製」を推進しており, 左右円偏光および垂直水平直線偏光が 10 Hz 程度でスイッチングできるようになる(すでにテスト測定は実施)。これによって XMCD シグナルの検出感度が大幅に向上することが期待される。

[1] T. Koide et al., Phys. Rev. Lett. **87** (2001) 246404.

[2] D. Asakura et al., Phys. Rev. B **82** (2010) 184419.

[3] K. Amemiya et al., Appl. Phys. Lett. **84** (2004) 936.

[4] K. Amemiya and M. Sakamaki, Appl. Phys. Lett. **98** (2011) 012501.

[5] T. Okuda et al., Rev. Sci. Instrum. **79** (2008) 123117.

[6] H. L. Meyerheim et al., Phys. Rev. Lett. **103** (2009) 26702.

[7] T. Taniuchi et al., J. Appl. Phys. **97** (2005) 10J904.

[8] http://pfwww.kek.jp/users_info/station_spec/v_station.html