

## BL39XU 磁性材料

### 1. 概要

BL39XUは主に、X線磁気円二色性分光法 (XMCD)、共鳴・非共鳴磁気散乱法、及びX線発光分光法を用いた利用研究に供されている。近年は、マイクロビームを用いたXMCD磁気イメージング法や、高圧など極端条件に対するXMCD計測技術が開発され、共用利用に展開されている。2010年度には、低エネルギー (< 7 keV) XMCD計測用の厚さ0.1 mmのダイヤモンド移相子の導入とその評価が行われた。また、100 nm集光実験のための硬X線顕微磁気分光実験ステーション (実験ハッチ2) の建設が行われた。安定で明るい集光ビームを得るために、液体窒素冷却二結晶分光器の導入が行われた。本稿では、上記項目の内容を簡潔に記述するとともに、BL39XUの2011年3月時点での状況を示す。

### 2. 低エネルギー用ダイヤモンド移相子の導入とその評価

BL39XUでは、X線の偏光状態の制御のために透過型ダイヤモンド移相子が整備されている。X線エネルギー (5~16 keV) に応じて、厚さ0.34、0.45、0.73、1.4、2.7、4.7 mmの6種類のダイヤモンド単結晶を使い分けている。低エネルギーでは薄い結晶を、高エネルギーでは厚い結晶を用いることで、移相子を透過したX線の偏光度と強度を最適化している。しかし、最も薄い0.34 mmの結晶を用いた場合でも、7 keV以下では移相子結晶によるX線吸収が急激に大きくなるため<sup>[1]</sup>、X線磁気円二色性 (XMCD) などの偏光を用いる実験では、より薄いダイヤモンド移相子が求められていた。そこで、現時点で入手可能な最も薄い、厚さ0.1 mmの結晶を導入し、低エネルギー領域での偏光X線の大幅な強度増大を目指した。結晶面として110面を選択

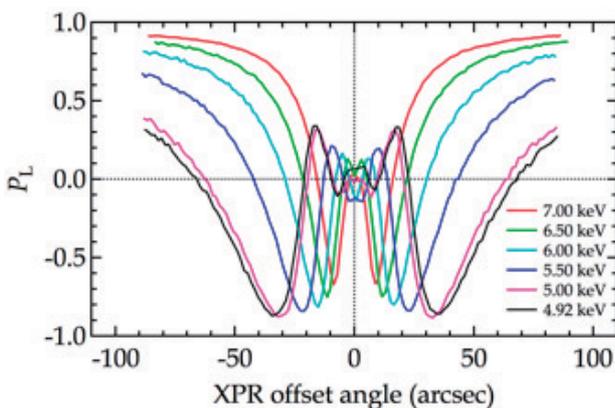


図1 厚さ0.1 mmの移相子を111 Laue配置で用いた場合の、移相子オフセット角の変化に対する水平偏光度の変化の様子。

することで、低エネルギー領域で結晶の有効厚さ及びX線吸収をより減らせる111 Laue配置を使用可能とした。この薄い結晶を用いることで、従来の厚さ0.34 mm、方位(111)の移相子結晶を111 Bragg配置で用いた場合と比べて、6 keVにおけるX線透過率は7.7 %から64.5 %へと8.4倍の増大が見込まれる。

図1に厚さ0.1 mmの移相子を111 Laue配置で用いた場合の、移相子オフセット角に対する水平偏光度 $P_L$ の変化を示す。X線エネルギーが高くなるにつれて、円偏光 ( $P_L = 0$ ) や垂直偏光条件 ( $P_L$ 最小値) を満たすオフセット角が小さくなっていく様子がわかる。図2 (a) には、移相子のオフセット角を垂直偏光条件に維持した状態でX線エネルギーを掃引した結果を示す。5~7 keVのエネルギー範囲で $P_L = 65\%$ 以上の直線偏光度が得られている。図2 (b) には、期待される円偏光度 $P_C$ のエネルギー依存性を示す。これらは、図1の直線偏光度の測定結果を元に、単色X線のエネルギー広がりや角度発散を考慮した計算により求めた。5~7 keVにおいては、96%以上の円偏光度が得られることを期待される。この結果から、厚さ0.1 mmの移相子を用いることで、低エネルギー領域で高い円偏光度のX線を供給できることが示された。また、直線偏光度についても実用上十分に高い値が得られることがわかった。

図3には、 $\text{CrFe}_2\text{O}_4$ におけるCr  $K$ 吸収端でのXMCDスペクトルの測定例を示す。比較のために、0.34 mmで測定された結果も併せて示す。同じエネルギー範囲、測定点数で比較した場合、X線透過率向上に伴い測定時間が1/3以下と短縮されるにも関わらず、スペクトルの質・精度は同程

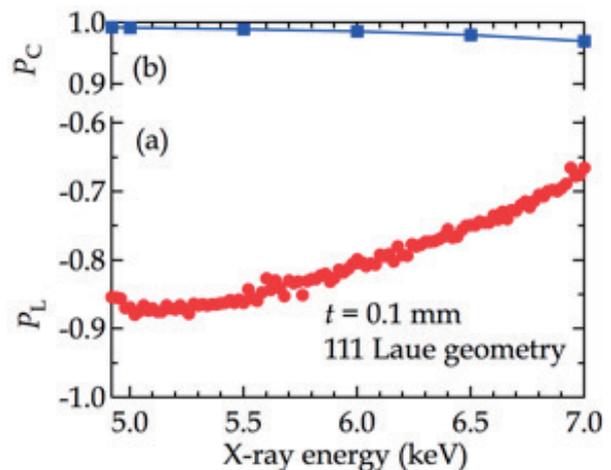


図2 (a) 厚さ0.1 mmの移相子を111 Laue配置で用いた場合の、垂直偏光度のX線エネルギー依存性。(b) 同移相子によって得られる円偏光度のシミュレーションによる見積り。

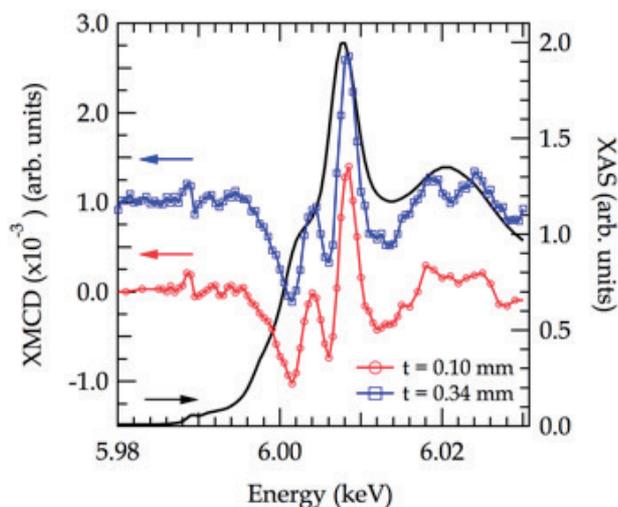


図3 CrFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>におけるCr K吸収端でのXMCDスペクトルの移相子の厚さの相違による比較。測定時間：155分(0.34 mm厚移相子)、52分(0.1 mm厚移相子)。

度であることがわかる。この移相子は、X線強度を必要とする5～7 keVの低エネルギー領域での高圧下XMCD実験でとくに威力を発揮するものと考えられる。本移相子結晶は、2010A期より共同利用に供されている。

### 3. 硬X線顕微磁気分光実験ステーション（実験ハッチ2）

文部科学省指定の「低炭素研究ネットワークプログラム」による「グリーン・ナノテクノロジー」研究支援の一環として、理化学研究所によるグリーン・ナノ放射光分析評価拠点の整備が行われた。本プログラムにおいて、ナノ計測ステーションを新設することで、ナノサイズの試料を対象とした放射光分析手法の提供を目指している。BL39XUでは、2010年11月から2011年3月にかけて、光源から約80 m地点に実験ハッチ2を新設し、ナノビームX線吸収スペクトル計測装置を設置するとともに、高安定化した液体窒素冷却シリコン二結晶分光器の設置が行われた。

液体窒素冷却シリコン二結晶分光器は、高フラックスモード (Si 111)、または高エネルギー分解能モード (Si 220) を選択して利用できる。分光器の角度は3～45° の範囲で制御可能であるため、Si 111では4.9～38 keV、Si 220では4.9～61 keVのエネルギー範囲のX線が利用可能となっている。集光光学系は、Kirkpatrick-Baez配置のミラーと大阪大学とSPring-8で考案された調整機構<sup>[2]</sup>を採用した。100 nmの集光ビームを安定供給できるようにハッチ内壁面の断熱材及び精密空調装置の整備が行われ、実験ハッチ内の温度変動0.05℃/日の実現を目指している。ミラー本体は2009年度に整備されたもの<sup>[3]</sup>を設置し、5～15 keVでの利用が可能である。液体窒素冷却二結晶分光器及びミラー集光光学系の調整・評価は2011年4月に行われ、その後、2011A期の早い段階から共同利用に供する予定である。

### 参考文献

- [1] SPring-8年報, 2000年度版, pp. 76-81.
- [2] S. Matsuyama *et al.*: Rev. Sci. Instrum. **77** (2006) 093107.
- [3] SPring-8年報, 2009年度版, pp. 83-84.

利用研究促進部門

分光物性 I グループ・MCDチーム

河村 直己、鈴木 基寛

水牧 仁一朗