

分光物性 グループ

1. はじめに

分光物性 グループでは、共用ビームラインBL25SU（円偏光軟X線）、BL27SU（直線偏光軟X線）、BL43IR（赤外）でのユーザー支援を行うとともに、より高性能な実験方法の提供を目的として、各ビームラインおよびエンドステーションの立ち上げ、改良を行っている。予算が逼迫している中、文科省ナノテクノロジー総合支援プロジェクトの支援を得て、MCD（磁気円二色性）や2基のPEEM（光電子顕微鏡）などの装置の整備を進める一方、数名の協力研究員（ポスドク）を採用し、軟X線チーム、赤外チームの2つのチームを構成し、活動している。

PEEMに関しては順調に稼働を始め、BL25SU、27SUやそのほかのビームラインでの結果が得られ始めた。利用者情報^[1]に紹介記事を載せているのでそちらを参照していただきたい。

外部ユーザーの支援も仰ぎながら整備を進めてきた、硬X線領域の光電子分光実験も軌道に乗ってきた。正式には2005年度より、当該分野の共用ビームラインとしてBL47XUが公開されることとなり、分光物性 グループで維持管理をしていくこととなった。実際には2004年度にもそのアクティビティがあるので、その紹介もここで行う。

2004年度の特筆すべき変化として、蓄積リングのトップアップ運転がスタートした。光の強度が常に最高値に保たれる運転は、特に光強度が測定時間の短縮に直結する光電子分光の実験において、大きなメリットとなっている。

2. BL25SU（軟X線固体分光ビームライン）

BL25SUでは、文科省ナノテクノロジー総合支援プロジェクトによって導入された2台の装置の本格的な共同利用がスタートした。一つは電磁石を用いたMCD装置である。内殻吸収のMCDを利用することで、化合物磁性体の元素を選択した磁化ヒステリシスの観測が可能である。もう一つのはPEEM装置である。ピルトインタイプのPEEMを装着し、非常に操作性の良い装置に仕上がっている。MCD効果を利用し、強磁性体表面の磁区を観測することが可能である。電磁石MCD、PEEMともに磁性材料研究の強力な手段として期待される。

電磁石MCD装置の導入に伴い、新たに光の水平方向を集光する後置鏡が増設された。試料位置で、光の水平方向は0.2mm程度に集光されている。鉛直方向のサイズは、上流側に位置する二次元表示型光電子アナライザーと後置鏡を流用しているため、0.3mm程度である。実質的なMCD

の測定には問題のないサイズに集光されている。PEEM装置は、現在のところ、光が集光されていないビームラインの最後尾に置かれている。これは、BL39XUにおける硬X線PEEM実験のために装置を頻繁に移動させるため、作業スペースを確保するためである。2005年度には、第2ステーションの位置に移動し、集光された条件でPEEM測定が可能となる予定である。

前回報告した円偏光の切り替えスイッチング^[2]に関しては、1Hz、あるいは10Hzでの切り替え速度での利用が行われている。高精度MCDのみならず、自然円二色性などの研究への応用が期待されるが、2つのアンジュレータからの光軸やエネルギー値が、サンプル位置で一致するように、さらに精度を上げた調整が必要だと考えている。

3. BL27SU（軟X線光化学ビームライン）

軟X線光化学ビームライン（BL27SU）は、分光素子を介さず高強度軟X線を利用できる照射実験ステーションと、不等間隔刻線平面回折格子型分光器（VLS-PGM）により単色化された超高分解能軟X線を利用できる分光実験ステーションを備えている。現在は、原子・分子分光研究ならびに固体物性研究を中心に、活発なユーザー利用が行われている。2004年度には、以下の改良を行った。

(1) 分光器制御スキャンプログラムのアップグレード

BL27SUの光学系の特徴の一つは、180～2800eVの広い軟X線領域を一台の分光器でカバーしている点である。この特徴を最大限活用するべく、分光器の制御系の改造を行った。新しいスキャンプログラムでは、アンジュレータギャップと回折格子の回転と同期して駆動している。さらに、回折格子の切り替えと、分光器の入射ならびに出射スリットの開口値も同期して駆動できることから、入射光のエネルギー分解能を一定に固定した状態で、分光器がカバーするすべてのエネルギー領域をスキャンすることが可能である。さらに、複数の測定領域をソフトウェア上で設定できるようになっており、広いエネルギー領域に離散したさまざまな吸収端を、自動的に移動しながら吸収スペクトルの測定を簡便に行えるようになった。新しい制御プログラムの導入は、吸収分光測定を行う既存ユーザーの利便性を向上するだけでなく、さらには軟X線領域でのNEXAFS実験など、新しいユーザー層の開拓にも繋がることと期待される。

(2) 高分解能光電子分析装置を用いた、電子・イオン同時係数測定装置の整備

高分解能光電子分析装置を利用した電子・イオン同時係

数測定の実現を目指して、C2ステーションに設置された気相高分解能光電子分析装置 (SES-2002) の検出器を、ディレイラインアノードタイプ (以下、DLD) に改良したことは一昨年の本誌上でも報告した^[3]。内殻励起後に放出される光電子やオージェ電子は、同時に生成するイオンの電子状態や電子緩和などに関する情報を持っているため、同時係数法を用いてこれら電子とイオンの相関を観測することにより、分子の内殻励起過程とその緩和ダイナミクスに関してより深い知見を得ることができる。本年度は、2003年から東北大と共同で進めてきた電子・イオン同時計数装置が本格的に稼働を始めた。すでにいくつかの成果は論文発表されており、詳細はそちらを参照していただきたい^[4]。

なお、BL27SUの最下流の持ち込み装置として稼働していたハイエンド光電子顕微鏡 (SPELEEM) 装置に関しては^[1]、2005年度中に、SPELEEM専用の実験ステーションをBL17SUで立ち上げ、利用が開始される予定である。SPELEEMに整合した集光鏡も整備される予定であり、高度な実験に対応できるようになることが期待される。

4. BL43IR (赤外分光ビームライン)

いまやグローバーなどの熱輻射光源を備えた赤外分光器は、全世界に普及して、赤外スペクトルを測定するうえで、最も一般的で利用簡便な装置である。一方赤外放射光は熱輻射光と比較して輝度が高く、赤外顕微鏡の利用に大きな威力を発揮する。しかし同時に赤外放射光は、空間及び強度の不規則振動が大きく、そのことがスペクトルS/N比の低下をまねいている。従来の赤外分光に携わる人々を放射光コミュニティーに勧誘するためには、克服しなければならない問題である。

2004年度は赤外放射光の不規則振動とスペクトルS/N比の現状把握のための各種測定を行った。図1は連続に測定した二つのスペクトルを割り算したものであり、縦軸方向の幅がS/N比の目安となる。放射光によるスペクトルが、

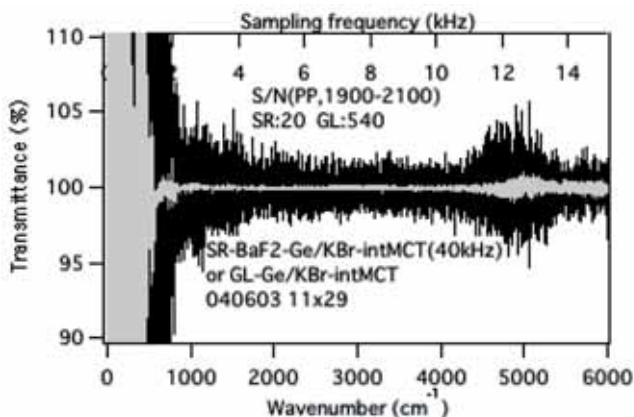


図1 S/N比の目安スペクトル
黒：放射光 グレー：熱輻射光

熱輻射光によるものに比してS/N比の低いことがわかる。このことは、吸収度の低い試料の濃度変化をみるような場合にとくに不利である。

対応策として、ビームライン光学系にアクティブフィードバックシステムを導入することを検討している。このシステムは、二次元光位置検出器、ピエゾ素子に保持されたミラー、PIDによるフィードバック回路で構成し、空間的な不規則振動を相殺するようにピエゾミラーを駆動する。ピエゾ素子を高速駆動させるためにアンプの出力電流を大きくした試作器を製作中である。

5. BL47XU (硬X線ビームライン)

2004年度までは、BL47XUはR&Dビームラインとして稼働しており、2005年度から共用ビームラインとして公開される。2004年度はナノテク支援課題および兵庫県地域結集型共同研究課題の他に、硬X線光電子分光の専用実験ステーション実現を見据えて実施したR&Dテスト実験課題を含め計78シフト624時間 (内33シフト264時間が企業、45シフト360時間が大学) を消化し、2005年度からの本格的な一般共同利用ビームライン化 (硬X線光電子分光およびX線CT) に向けての準備を行った。これにともなって光電子分光のスループットをあげるために光学ハッチに縦集光ミラーを増設する計画が進行中であり、同時に実験ハッチの改造も行う予定である。2005A期は過渡的運用期間であるが2005B期からはビームラインの運用の効率化を図るためにXPSとCTの課題に特化する方向である。それゆえ、その他の課題は支援できなくなり、他のビームラインへの振り分けを検討している。

2004年度に阪大産業科学研究所の田中秀和助教授のグループがBL47XUで行った硬X線内殻光電子分光による (La,Ba)MnO₃ 薄膜の電子状態評価実験例を図2、3に示す。極薄膜でも室温強磁性を示す (La,Ba)MnO₃ 薄膜に対して、硬X線 (5.95 ~ 10keV) を用いた内殻光電子分光法により電子状態評価を行った。低温で金属的伝導 (フェルミ面状態密度) に起因する鋭いサテライトピークが観測され、強磁性温度付近で消失する事を見出した (図2)。電子状態計算などからサテライト強度は薄膜のバルク磁化の二乗に対応すると推測され (図3)、6keV (プローブ深さ6nm) ~ 10keV (>10nm) の広いエネルギー範囲でこの関係を実験的に確認出来た。すなわち6keVでも十分なバルク特性が得られている。測定された薄膜は作成後、酸素アニール処理、磁化測定などを経た試料であるが定量的な評価が可能であり、デバイス界面の磁化情報を得るにも非常に有用であると期待される。

先に述べたように、2005年度より、本ビームラインは共用ビームラインとなり、学術研究利用のみならず、産業利用などへの応用も期待されている。

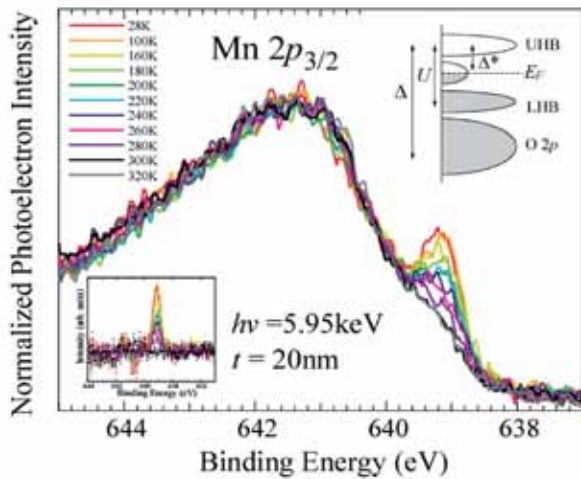


図2 Mn:2p硬X線光電子スペクトル温度変化

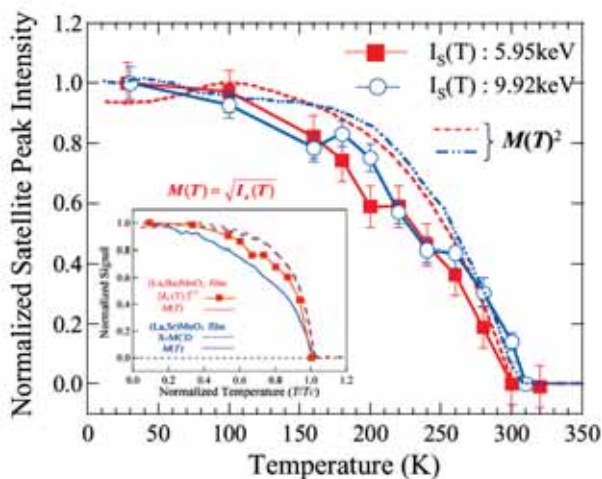


図3 サテライト強度($I_s(T)$)および自乗磁化(M^2)の温度依存性。
挿入図はMCD ((La,Sr)MnO₃文献値、Phys. Rev. Lett. 81, 1953 (1998)) とのバルク敏感性の比較

6. 終わりに

SPring-8を取り巻く環境も大きく変わりつつある中、分光物性グループでも組織変更、人員の入れ替えなどがあった。これまでの、BL25SU、27SU、43IRに加え、47XUにおけるユーザー支援や、ナノテク支援としてのPEEM装置の維持管理もその業務に加わった。予算が限られている中、一昨年の外部評価で指摘された、25および27SUに関する問題点の改善も少しずつ進めていきたい。既存の装置からも、日々の地道な整備の結果、目覚ましいデータが出てきたり、データの質の改善が見られるようになってきたりしている。2005年度には赤外ビームラインBL43IRの外部評価が行われる。引き続き、ユーザーの皆様のご支援をお願いしたい。

参考文献

- [1] SPring-8利用者情報 Vol.10, No. 2, 2005年3月、p.112.
- [2] SPring-8年報2003年度 p.86: T. Muro, et al.: “Circular dichroism measurement of soft X-ray absorption using helicity modulation of helical undulator radiation”, Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena, **1101** (2005) 144-147.
- [3] SPring-8年報 2002年度 p.81.
- [4] G. Prumper et al.: “Ultrafast dissociation of F 1s excited SF₆ probed by electron-ion momentum coincidence spectroscopy” J. Phys. B: Atomic, Molecular & Optical Physics. **38** (2005) 1-10, G. Prumper et al.: “Intramolecular Auger-electron Scattering as a probe of controlled ultra-fast dissociation” Phys. Rev. A **71** (2005) 052704.

利用研究促進部門

分光物性 グループ

木下 豊彦 (2004年5月着任、グループリーダー)

軟X線チーム

室隆 桂之、中村 哲也、為則 雄祐、松下 智裕
横谷 尚睦 (2005年4月より岡山大学へ転出)
淡路 晃弘 (2005年4月軟X線チームへ編入)

赤外チーム

森脇 太郎、池本 夕佳、木村 洋昭

ナノテクノロジー総合支援プロジェクト推進室

小林 啓介 (室長) 郭 方准、脇田 高德

池永 英司 (2005年4月より兵庫県立センター科学技術センター所属、

JASRI外来研究員)

Alberto De Fanis (2005年1月より島津製作所へ転出)

金 正鎮 (2005年4月着任)

James Harries (2005年4月着任)