

3-1. 電子物性グループ

組頭 広志

物質構造科学研究所放射光科学第一研究系
総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究科物質構造科学専攻

1. 概要

当グループの目的は、固体物性、表面科学、原子・分子等の分野において放射光を用いた電子物性研究を促進するために最先端のビームラインおよび周辺技術を開発し、共同利用を展開するとともに、内部スタッフによる研究を推進することにある。

BL・実験ステーション	担当者	備考（ユーザー運営、大学運営など）
BL-2A/B	組頭 広志, 堀場 弘司	
BL-3B	間瀬 一彦	ユーザー運営
BL-7A	雨宮 健太, 酒巻 真粧子	
BL-11A	北島 義典	
BL-11B	北島 義典	
BL-11D	間瀬 一彦	
BL-13A/B	間瀬 一彦	
BL-16A/B	雨宮 健太, 酒巻 真粧子	
BL-20A	足立 純一	ユーザー運営
BL-28A/B	小野 寛太	

2. 活動内容

(1) グループとしての取り組み

これまで電子物性グループにおいては、2011年度からVUVおよびSXビームラインおよびエンドステーションの整備を進め、今年度でほぼ全てのビームライン更新が終了した。この更新計画の方針は、「挿入光源ビームラインであるBL-28, BL-2, BL-13, BL-16にリソースを集中し、“リソースの特性を生かしたサイエンス”を発展させるためのUV-SXビームラインおよびエンドステーションの整備計画を行う」である。具体的な内容と進捗については、以下の通りである。

BL-28 強相関固体物性 BL：強相関電子系などの固体物性研究を推進するために、2014年度に挿入光源を真空紫外光（VUV）領域（30-300 eV）偏光切り替え（水平・垂直・右円・左円）に更新し、これらの偏光切り替えを用いた高性能角度分解光電子分光ステーションとして整備している。また、エンドステーションとして、最新式のVG-Scienta社製R4000-DA30を購入し、現在装置の設計・チャンバーの設計を進めている。

BL-2 表面・界面物性 BL：PFの最長直線部を有効活用して、2013年度末にVUV領域（30-300 eV）偏光切り替え（水平・垂直・右円・左円）挿入光源を追加し、既存の軟X線（SX）領域（250-2000 eV）とタンデム配置した。これ

により、VUVとSXを高いレベルで融合することで、高分解能・高強度を保ちながら、広いエネルギー領域の光を利用することが可能な表面・界面物性研究用のビームラインとして整備を進めている。2013年度からスクラップ&ビルトを開始したビームラインBL-2 MUSASHI（Multiple Undulator beamline for Spectroscopic Analysis of Surface and Hetero Interface）は調整がほぼ完了し、2015年度の第二期から斜入射回折格子分光器からのVUV・SXを利用した実験に限り、共同利用実験への供用を開始した。

BL-13 表面化学 BL：2014年度末に挿入光源をVUV・SX領域（50-2000 eV）偏光切り替え（水平・垂直・右円・左円・右楕円・左楕円）に更新し、角度分解紫外光電子分光、内殻光電子分光、軟X線吸収分光など用いて表面化学および有機薄膜、物質科学研究等を推進できるように整備を進めた。さらに、ブランチャラインを整備することで、BL-16と併せたエンドステーションの最適化を進めている。

BL-16 先導的偏光利用表面分光 BL：高速偏光スイッチング（右円・左円、水平・垂直）を用いた研究に重点化するためにエンドステーションの最適化を進めている。

(2) グループミーティングの開催回数 11回

(3) グループとして推進している研究

とくにグループとして推進している研究はないが、個人が国家プロジェクト等に参画し、上記のVUV・SXビームラインを用いた研究を進めている。

3. 今後の展望

2016年度は上記のVUV・SX挿入光源ビームラインの更新計画の総決算の年になり、全てのビームラインが計画通りに稼働するべく努力する。

また、グループとして大型資金の獲得を目指していく。

VUV-SXを用いた産業利用や国家プロジェクトなどを通して研究費・人件費を継続的に確保すると共に、大学共同利用研究所として大学院生の受け入れ等を通じた次世代光源のための人材育成を進めていく。

ユーザー実験を円滑に進めるための維持・管理を行いつつ、ニーズに合わせた高度化についての検討を行っている。それに伴って、アクティビティーの高いビームライン・装置に選択と集中を行う。また、将来光源を視野に入れた活動も並行して行い、現状の光源と装置を用いて展開可能な新たなサイエンス、実験手法の開発を行いつつ、次期光源におけるビームライン・ステーション・装置に関しての検討を行う。

BL-2A：表面・界面光電子分光実験ステーション：MUSASHI BL-2B：広エネルギー帯域機能性材料解析ビームライン

堀場 弘司, 簗原 誠人, 組頭 広志
物質構造科学研究所放射光科学第一研究系,
総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究科物質構造科学専攻

1. 概要

BL-2 MUSASHI (Multiple Undulator beamline for Spectroscopic Analysis of Surface and HeteroInterface) は、真空紫外光用と軟X線用の2台のアンジュレータをタンデム配置して排他的に利用することにより、同一のポートで30-1800 eVの広範囲に渡って高エネルギー分解能かつ高フラックスな放射光ビームを供給できるビームラインである。

BL-2A ブランチにはエンドステーションとして *in situ* 角度分解光電子分光装置が常設されており、レーザー分子線エピタキシー法等で作製した酸化物薄膜表面やヘテロ界面に対して、偏光可変真空紫外光を用いた角度分解光電子分光や、軟X線を用いた内殻光電子分光や共鳴光電子分光等の様々な表面・界面光電子分光測定を同一試料で行うことが可能である。

BL-2B ブランチでは、通常の斜入射回折格子分光器の他に2結晶分光器を用いることで、更に広いエネルギー範囲の30-4000 eVの放射光を同一のポートで利用できる。上流に株式会社日立製作所の専用ステーションが常設され(BL-2BH)、下流側はフリーポート(BL-2BF)として持ち込み装置による共同利用実験が可能である。

2. 整備開発および運用状況

2015年には、前置鏡上流に可動四象限マスク(図1)を新たに設置し、各アンジュレータからの白色光を適切に切り出すことで、強度と分解能の最適化を図った。これにより第一期までに斜入射回折格子分光器と真空紫外光・軟X線用アンジュレータの調整が概ね終了し、A/Bともに30-1800 eVの範囲において設計通りの放射光ビームを利用することが可能となった。これを受けて第二期より、斜入射回折格子分光器からの真空紫外光・軟X線を利用した実験に限り、共同利用実験への供用を開始した。

BL-2A ブランチの角度分解光電子分光装置は共同利用



図1 可動四象限マスク

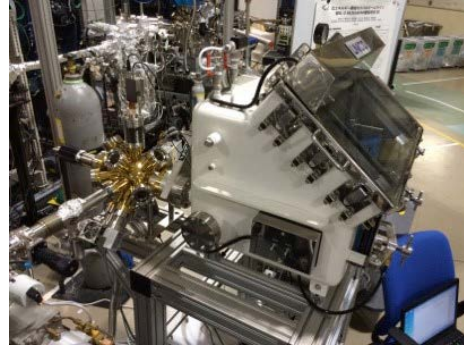


図2 グローブボックス一体型軟X線吸収分光装置

実験装置として順調に稼働中である。

BL-2B ブランチでは、早期の共同利用実験への開放を目指して、2結晶分光器の調整を継続して行っているところである。またフリーポートで使用する実験装置として、大気中で不安定な試料等の測定のためのグローブボックス一体型軟X線吸収分光装置(図2)の立ち上げを行っている。

3. ビームタイム利用状況

BL-2 MUSASHI では、全ビームタイムのうち概ね30%程度を株式会社日立製作所との共同研究で使用し、残りを共同利用実験へと開放している。共同利用実験としては、特に本ビームラインの他にはない特長である、真空紫外光・軟X線の相互利用や広エネルギー範囲を生かした利用課題を推奨して、ビームタイム配分を行っている。具体的には、以下のような利用目的が挙げられる。

- (1) 軟X線内殻光電子分光と真空紫外角度分解光電子分光の同時測定による化学結合状態とバンド構造の相互理解
- (2) 軟X線角度分解光電子分光と真空紫外角度分解光電子分光の同時測定によるバルク電子状態と表面電子状態の相互理解
- (3) Li から Al までの *K* 吸収端, *3d* 遷移金属 *L* 吸収端等の軟X線吸収分光測定による機能性複合材料の全元素選択的電子状態解析

4. 今後の展望

斜入射回折格子分光器および角度分解光電子分光装置を用いた共同利用実験と並行して、2結晶分光器の調整を行い、早期の共同利用実験への開放を目指す。これにより利用エネルギー範囲が拡大し、Ca までの *K* 吸収端、および Ag 等の *4d* 遷移金属 *L* 吸収端といった、更に幅広いX線吸収分光測定が可能となる。

BL-3B : VUV 24m 球面回折格子分光器 (SGM)

枝元 一之¹, 吉信 淳², 小澤 健一³, 加藤 博雄⁴, 山田 洋一⁵, 櫻井 岳暁⁵, 坂間 弘⁶,
金井 要⁷, 今村 元泰⁸, 間瀬 一彦^{9,10}

¹立教大学理学部化学科, ²東京大学物性研究所, ³東京工業大学理学部, ⁴弘前大学理工学部,

⁵筑波大学数理物質科学研究科, ⁶上智大学理工学部, ⁷東京理科大学理工学研究科, ⁸産業技術総合研究所,

⁹物質構造科学研究所放射光科学第一研究系, ¹⁰総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究科物質構造科学専攻

1. 概要

BL-3B は, PF と弘前大学理工学研究科との協定に基づき, 2009 年 12 月より大学運営ステーションとして運営され, その間一般ユーザーにも開放されて主として表面 ARPES ユーザーグループ (UG) が使用してきた。しかし, 弘前大学の学内事情の変化により, 大学運営ステーションとしての運用は 2014 年度をもって終了し, 2015 年度よりは PF と表面科学 UG (表面 ARPESUG と表面化学 UG が統合) との協定に基づき, UG 運営ステーションとして運営されている。

BL-3B は, 定偏角分光器を主体とする光学系を備え (図 1) [1], 10 – 300 eV の VUV-SX 領域をカバーするビームラインである (図 2)。エンドステーションに常設された角度分解光電子分光装置 (ARPES-II) を用いて, 固体表面・界面の物性の解明を目指した研究が行われている。BL-3B は, 現在の PF では貴重な 100 eV 以下の光を利用できるビームラインであり, 価電子帯, および浅い内殻レベルに対して表面敏感な光電子分光 (PES) 測定を行うことができる。その特性を活かし, 現在有機薄膜・基質界面におけるチャージトランスファー機構の解明 [2], 有機太陽電池における界面準位アラインメントの解明 [3, 4], 新規材料物質としての酸化超薄膜の開発と電子状態 [5, 6], 光触媒の高活性化を目指した表面改質 [7], 半導体の表面酸化の素過程の解明 [8, 9] 等を目指した研究が行われている。ARPES-II には試料準備槽が設置されており, 各ユーザーのビームタイム利用の効率化が図られているとともに, そ

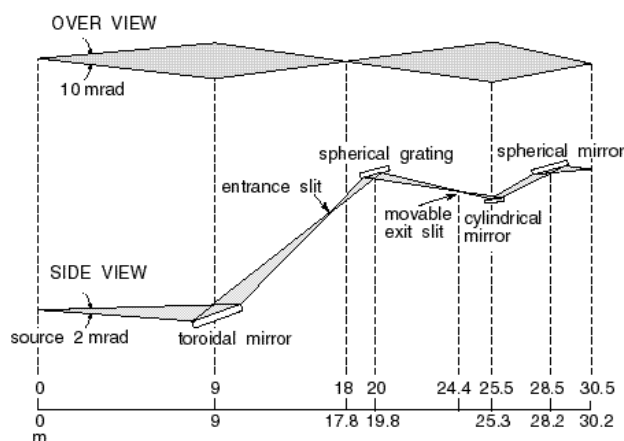


図 1 BL-3B の光学系の概略

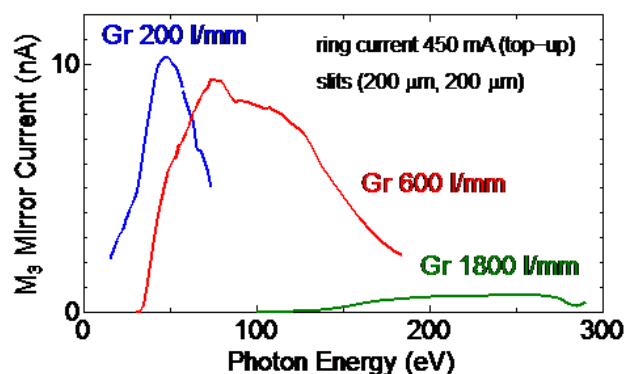


図 2 光強度のエネルギー依存性 (2015 年 5 月現在)

れを活かして試料作成等に試行錯誤を要する研究も行われている。また, アンジュレーター光を用いた高分解能 PES 測定が可能な BL-13B, SES200 装置とサンプルホルダーが共通の仕様となっており, それを活かして BL-3B, 13B で相補的なデータの取得を目指すユーザーも増えつつある [2, 10]。また, 現在オフラインであるが, 表面科学 UG として予備の PES 装置として ARUPS-10 を管理運営している。本装置は, ARPES-II のバックアップとして重要であるとともに, ARPES-II で新規材料の開発を行う上での予備実験を行う装置として, また ARPES 実験, 表面化学実験の初心者の教育用の装置として重要な役割を果たしている。

2. 整備開発および運用状況

ビームラインおよび ARPES-II 装置の運用については, 所内電子物性グループ担当者と協議の上, 表面科学 UG より代表者および若干名からなる運営ワーキンググループ (以下運営 WG) メンバーを選任し, BL-3B ステーション運営の実務を行っている。運営 WG が行っている主な実務は以下の通りである。

- ・ 施設担当者と協力して分光器, 実験装置 (ARPES-II, ARUPS-10) の維持管理を行う。
- ・ ビームタイム配分原案を作成し, 施設の確認・修正・承認を得る。
- ・ 新規ユーザーの教育を, 可能な限り一般ユーザーの協力も得て行う。

2015 年度およびそれ以前から継続的に行ってきたビームライン・ARPES-II 装置の整備開発は, 以下の通りである。

- (1) トランスファーによる試料搬送機構の設置
 - (2) 試料準備槽の設置
 - (3) ビームライン最下流チャンバーの排気系改良による超高真空化
 - (4) 分光器プログラムの更新 (STARS 利用)
- これらの整備開発作業と、装置故障への対処は全てユーザーグループにより行ってきた。

3. ビームタイム利用状況

2015年度のビームタイムの充足率は100%であり、S型課題1件、G型課題15件、T型課題2件、P型課題2件の利用があった。ビームタイムを希望する全グループが利用できることを配分方針としており、2015年度もその方針に沿ったビームタイム配分を行った。また、新規ユーザーの開拓を目指しており、新規ユーザーに対しては優先的にビームタイムを配分する方針をとっている。2015年度は4グループが新たに利用を開始した。

4. 今後の展望

分光系、光電子分光測定系とも、本質的な改造は現実的には難しいが、今後の改良計画として分光系、光電子分光測定系の連動を目指したい。これは、現在多大な時間を要する共鳴光電子分光測定の自動化、現状では難しいVUV領域における吸収スペクトルの測定を可能とし、さらにcore-hole clock分光を可能とするものであるため、物性系、反応ダイナミクスに興味を持つユーザーの発掘につながるものである。

引用文献

- [1] A. Yagishita, T. Hayaishi, T. Kikuchi and E. Shigemasa, Nucl. Instr. and Meth. **A306**, 578 (1991).
- [2] K. Ozawa, M. Suzuki, R. Tochikubo, H. Kato, Y. Sugizaki, K. Edamoto and K. Mase, J. Phys. Chem. C **120**, 8653 (2016).
- [3] S. Wang, T. Sakurai, X. Hao, W. Fu, S. Masuda and K. Akimoto, J. Appl. Phys. **114**, 183707 (2013).
- [4] X. Hao, S. Wang, W. Hu, T. Sakurai, S. Masuda and K. Akimoto, Organic Electronics **15**, 1773 (2014).
- [5] T. Hasegawa, S. Munakata, S. Imanishi, Y. Kakefuda, K. Edamoto and K. Ozawa, Surf. Sci. **606**, 414 (2012).
- [6] K. Edamoto, T. Hasegawa, S. Munakata, Y. Kakefuda and K. Ozawa, e-J. Surf. Sci. Nanotech. **10**, 286 (2012).
- [7] M. Emori, A. Kakino, K. Ozawa and H. Sakama, Solid State Commun. **188**, 15 (2014).
- [8] Y. Enta, K. Suto, S. Takeda, H. Kato and Y. Sakisaka, Thin Solid Films **500**, 129 (2006).
- [9] Y. Enta, H. Nakazawa, S. Sato, H. Kato and Y. Sakisaka, J. Phys. **235**, 012008 (2010).
- [10] K. Ozawa, Y. Mimori, H. Kato, M. Emori, H. Sakama, S. Imanishi, K. Edamoto and K. Mase, Surf. Sci. **623**, 6 (2014).

BL-7A：軟X線分光（XAFS, XPS）ステーション

雨宮 健太, 酒巻 真粧子

物質構造科学研究所放射光科学第一研究系,

総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究科物質構造科学専攻

1. 概要

本ビームラインは東京大学大学院理学系研究科 附属スペクトル化学研究センター所属であるが、運営はPFの通常のビームラインと同様に行っており、雨宮と酒巻が担当している。偏向電磁石を光源とし、不等刻線間隔平面回折格子を用いた斜入射分光器により、50-1300 eVの単色軟X線を利用することができる [1]。C, N, O など軽元素のK吸収端, Fe, Co, Ni などの3d遷移金属のL吸収端におけるX線吸収分光法 (XAFS), X線磁気円二色性 (XMCD), および各種元素の光電子分光 (XPS) を行うことを主な目的としており、特にC K吸収端においても光強度が極端には減少しないことが特長である。偏光としては水平直線偏光の他に、電子軌道面から0.4 mrad程度上または下の光を取り込むことで楕円偏光を利用することもできる。

2. 整備開発および運用状況

基本的には完成したビームラインであるため、光学系については現状を維持するための整備のみを行っている。焦点位置は一つだけであるが、その0.7 m程度上流に常伝導電磁石を用いたXMCD測定装置を常設し、下流の装置を必要に応じて入れ替えて実験を行っている。施設として管理している実験装置は、XMCD測定装置の他に、小型深さ分解XAFS装置と光電子分光装置である。ユーザー持込み装置は下流のポートで受け入れている。従来、上流と下流、それぞれの装置に対して光強度 (I0) モニターを設置し、下流のモニターのみAu蒸着が可能な仕様となっていたが、今年度、上流のI0モニターにAu蒸着源を設置するとともに、下流のモニターの使用を停止した。また、Windows XPのサポート終了に伴い、制御用PCをWindows 7を搭載したものに更新した。

3. ビームタイム利用状況

例年、利用可能なビームタイムに対して、1.2～1.5倍程度の希望が寄せられている。評点が高い課題を優先しながら、原則として利用を希望するユーザー全員にビームタイムを配分している。また、上流にXMCD測定装置が常設されていて、そのまま下流にビームを抜くことができるため、上流で測定をしている間に下流で準備作業ができるように、配分を工夫している。

4. 今後の展望

BL-7Aと同程度のエネルギー領域をカバーするアンジュレータビームラインとして、BL-2, 13, 16があるので、

それらとうまく使い分けていくことが有効であると考えている。特に最近、BL-7Aで予備的（開発的）な実験を行い、目的が立ったところでBL-2やBL-16で実験をして結果を出すというケースがあり、今後もこのような使い方は推奨されるべきであろう。光電子分光については、アンジュレータビームラインの方が圧倒的に質の良いデータが短時間で得られるので、マニピュレータを直接改造して特殊な実験を行うなどの理由がない限り、BL-7Aを利用するメリットはあまりないと考えられる。一方、吸収分光については、特にC, N, Oのような比較的低いエネルギーに吸収端をもつ元素に対しては、アンジュレータビームラインと遜色ないデータが得られるので、むやみにアンジュレータビームラインを利用せずに、BL-7Aでできる実験はBL-7Aで行うようにビームタイムをアレンジしていく予定である。

引用文献

- [1] K. Amemiya, H. Kondoh, T. Yokoyama and T. Ohta, J. Electron Spectrosc. Relat. Phenom. **124**, 151 (2002).

BL-11A：軟 X 線斜入射回折格子分光ステーション

北島 義典

物質構造科学研究所放射光科学第一研究系

1. 概要

BL-11A は、偏向電磁石を光源とし、集光鏡と不等間隔平面回折格子を用いた可変偏角斜入射分光器により、70-2000 eV の単色軟 X 線を利用することができるように設計されている。光源がアンジュレータではなく偏向電磁石であることから、特に幅広いエネルギー領域にわたって利用できることを特徴に光学系が設計されており、C（炭素）、N（窒素）、O（酸素）、F（フッ素）、Na（ナトリウム）、Mg（マグネシウム）、Al（アルミニウム）など軽元素の XAFS スペクトル測定が可能である [1]。これらの軽元素は、材料科学、環境科学、生命科学など、広範な分野で重要であり、ビームラインの管轄は「電子物性」グループであるものの、利用実験としても「化学・材料」「構造物性」「生命科学」を含む様々な分野の測定が行われている。

BL-11A としては、PF 創設当初の 1982 年から市販の回折格子分光器を設置した固体分光ビームラインとして整備されたが、1996 年に光学系を全面更新したところ、それまで回折格子分光と結晶分光の狭間とされてきた 1000 - 1800 eV の軟 X 線領域の利用が可能となった。このエネルギー領域を利用できる実験ステーションは少なく、汎用ステーションとして実験装置を持ち込むことが可能となっているため、近年では、分光測定のみならず、軟 X 線領域の回折実験も開始され、検出器開発や光学素子評価等も含め、多種多様な実験が行われている。

2. 整備開発および運用状況

2013 年度末に光学系の大幅更新を行って安定性の向上が図られた。2014 年度初めからは光学系の調整に時間を割かなければならなかったが、加速器の運転時間が短いなか、全く利用実験が行えないという状況を避けるため、2014 年 11 月から理想的とは言えない状況でも利用実験を一部再開し、2015 年度も引き続き光学系の調整と利用実験を並行して実施した。

3. ビームタイム利用状況

近年は同じエネルギー領域をカバーするアンジュレータ光源の高性能ビームラインが立ち上がってきているが、検出器の開発や新しい実験装置の立ち上げなど、少し時間をかけなければならない利用には適している。産業利用、元素戦略プロジェクトによる優先利用を含め、新規の利用希望にも迅速に対応して測定が行えるようにしている。

4. 今後の展望

偏向電磁石光源の汎用実験ステーションであることから、大きな投資を行うことなく、現状の汎用性を維持して利用研究を促進していきたいと考えている。

引用文献

[1] <http://pfwww.kek.jp/sxspec/sx/bl11a.html>

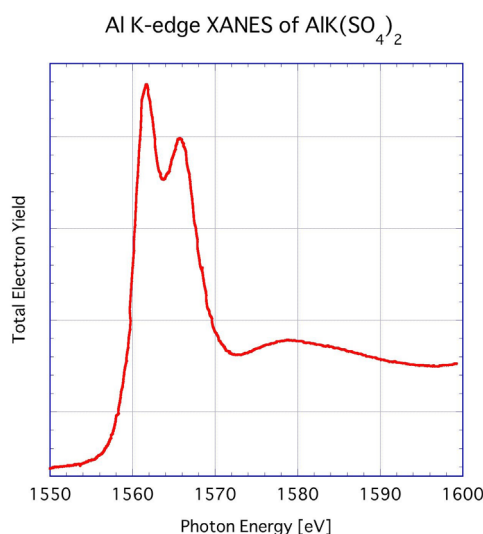


図1 カリミヨウバンの Al K 吸収端 XANES スペクトル

BL-11B：軟X線2結晶分光ステーション

北島 義典

物質構造科学研究所放射光科学第一研究系

1. 概要

BL-11Bは、偏向電磁石を光源とし、集光鏡と高真空2結晶分光器を用いて軟X線領域(1.72 - 5.0 keV)の単色光を供給するステーションである。このエネルギー領域は、放射光の登場によって利用できるようになってきたところであり、PF創設当初の1982年から汎用ビームラインとして整備されたが、2009年に他のビームラインで使用しなくなった2結晶分光器を移設したことにより、分光結晶冷却系が改善され、ビームの安定性が向上した。当初より、光源リングとの間にBe窓が存在せず、通常のX線ステーションでは利用困難な低エネルギー領域の分光研究に用いられることを想定して設計されているため、Si(ケイ素)、P(リン)、S(イオウ)、Cl(塩素)など軽元素のEXAFS測定が可能となっている[1]。これらの軽元素は、材料科学、環境科学、生命科学など、広範な分野で重要であり、ビームラインの管轄は「電子物性」グループであるものの、利用実験としても「化学・材料」「構造物性」「生命科学」を含む様々な分野の測定が行われている。

特にSi(111)結晶では分光することができない2.1 keV以下の軟X線領域を利用できる実験ステーションは少なく、汎用ステーションとして実験装置を持ち込むことが可能となっているため、近年では、分光測定のみならず、軟X線領域の回折実験も開始され、検出器開発や光学素子評価等も含め、多種多様な実験が行われている。

2. 整備開発および運用状況

基本的には「完成した」ビームラインであり、2013年度にビームライン制御系を更新した後は、特に新規の整備等を行っていない。

3. ビームタイム利用状況

数年前には軟X線領域の共鳴散乱実験装置の立ち上げを含むS型課題等に多くの時間が割かれたが、近年は需給バランスがちょうどよいくらいとなっている。産業利用、元素戦略プロジェクトによる優先利用を含め、新規の利用希望にも迅速に対応して測定が行えるようにしている。

4. 今後の展望

偏向電磁石光源の汎用実験ステーションであることから、大きな投資を行うことなく、現状の汎用性を維持して利用研究を促進していきたいと考えている。

引用文献

[1] <http://pfwww.kek.jp/sxspec/sx/bl11b.html>

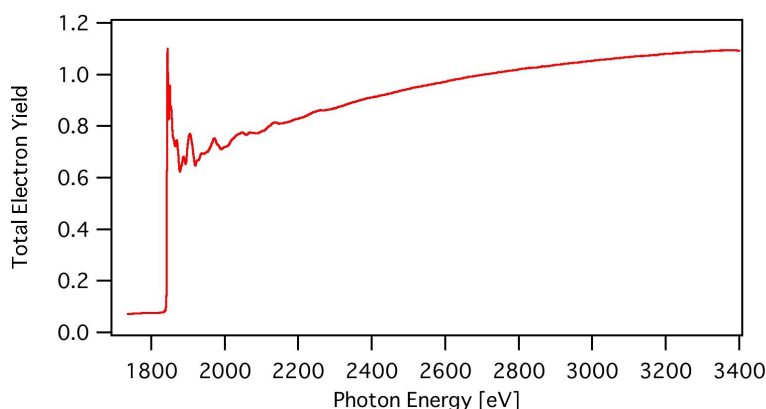


図1 シリコンウェハのEXAFSスペクトル

BL-11D：軟 X 線光学素子評価装置用ステーション

問瀬 一彦^{1,2}, 菊地 貴司¹

¹ 物質構造科学研究所放射光科学第一研究系,

² 総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究科物質構造科学専攻

1. 概要

BL-11D は 2010 年から光学素子評価用ステーションとして利用されている。本ステーションは等間隔直線刻線の球面回折格子を用いた可変偏角型分光器を備えており(図 1), 60 ~ 900 eV の水平直線偏光を利用できる [1]。焦点位置には回折格子や多層膜の反射率などを測定できる光学素子評価装置(図 2)が常設されており, 入射角 5° から 89° までの反射率測定が可能である。検出器の回転アームは 200 mm と比較的長いので, 入射ビームを絞ること, 細い検出器スリットを用いることにより, 0.1° 以下の角度分解能での測定が可能である。試料台には最大直径 200 mm の試料あるいは小さな試料を複数個載せることができ, パソコン制御により一度の試料設置で一連の測定を行うことができる。本装置には 2 台の 800 L/s のターボ分子ポンプが設置されており, 到達圧力は 1×10^{-5} Pa 以下, 排気開始から測定開始までは数時間である。光学素子評価用装置の下流には持ち込み装置用スペースが用意されている。このスペースに表面コインシデンス分光装置(図 3) [2] を設置してオージェ電子-光電子コインシデンス分光,

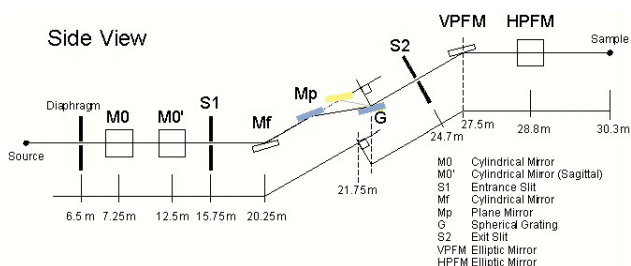


図 1 BL-11D の光学系の概略図。数値は光源からの距離。

反射率計の仕様

検出器: SXUV100
 検出器スリット: 0.1-2 mm
 検出器一回転中心: 200mm
 角度分解能: 0.03°

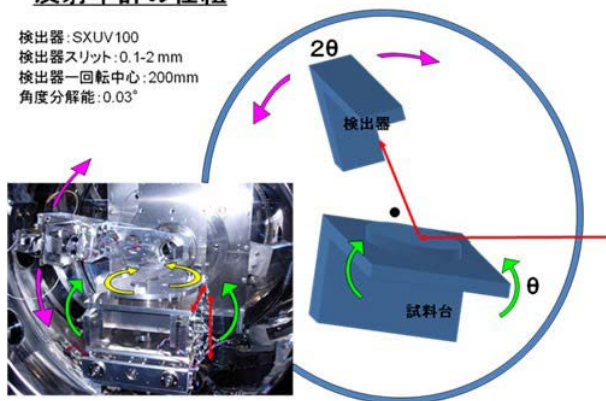


図 2 光学素子評価装置の概念図

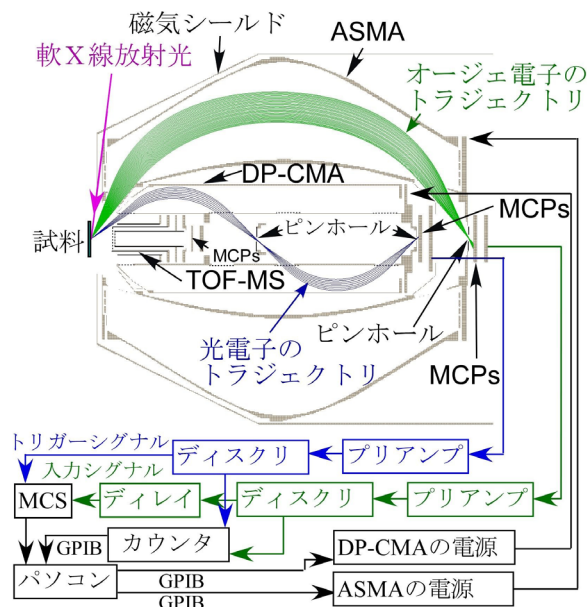


図 3 表面コインシデンス分光装置の模式図

電子-イオンコインシデンス分光を用いた表面局所電子状態, 内殻正孔緩和ダイナミクス等の研究が行われている。

2. 整備開発および運用状況

ビームラインの調整および光学素子評価装置の整備はユーザーである羽多野忠氏(東北大学多元物質科学研究所)と協力して行っている。また, 表面コインシデンス分光装置もユーザーと協力して整備している。その結果, 1 年間にわたり安定して使用できる状況を維持できた。

3. ビームタイム利用状況

2015 年度の装置別, 期別ビームタイム配分結果を表 1 に示す。ビームタイムを希望する全グループが利用できることを配分方針としており, 2015 年度もその方針に沿って

表 1 2015 年度の装置別, 期別ビームタイム配分結果。単位は日。

	調整	反射率測定	表面コインシデンス分光	持ち込み装置	合計	要求	配分率
第 1 期	4	12	31	0	47	50	94.0%
第 2 期	3	9	42	3	57	59	96.6%
第 3 期	1	7	15	0	23	23	100.0%
合計	8	28	88	3	127	132	96.2%
割合	6.3%	22.0%	69.3%	2.4%	100%		

たビームタイム配分を行った。2015年度の新規ユーザーは1グループであった。

4. 今後の展望

ビームラインと光学素子評価装置，表面コインシデンス分光装置は，ユーザーの意見を聞きながら改良を進める。また，科研費等に申請することによる外部資金の獲得，学会等での宣伝による新規ユーザーの発掘，学生ユーザーのサポートを通じた人材育成，民間研究者に対する宣伝による産業利用の促進に努める。

引用文献

- [1] Photon Factory activity Report 1997 **15A**, 101 (1997).
- [2] K. Mase, K. Hiraga, S. Arae, R. Kanemura, Y. Takano, K. Yanase, Y. Ogashiwa, N. Shohata, N. Kanayama, T. Kakiuchi, S. Ohno, D. Sekiba, K. K. Okudaira, M. Okusawa and M. Tanaka, J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 094704 (2014).

BL-13A/B：表面化学研究用真空紫外軟 X 線分光ステーション

間瀬 一彦^{1,2}, 豊島 章雄¹, 菊地 貴司¹, 田中 宏和¹

¹ 物質構造科学研究所放射光科学第一研究系,

² 総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究科物質構造科学専攻

1. 概要

可変偏光真空紫外・軟 X 線分光ステーション BL-13A/B の目的は角度分解紫外光電子分光, 内殻光電子分光, 軟 X 線吸収分光などを用いて表面化学および有機薄膜, 物質科学研究等を推進することである。本ステーションは Apple II 型可変偏光アンジュレータと不等刻線間隔平面回折格子を用いた斜入射分光器 [1-3] を備えており, 48~2,000 eV の水平直線偏光, 102~2,000 eV の垂直直線偏光, 74~2,000 eV の左右円偏光, 59~2,000 eV の左右楕円偏光を利用できる。本ステーションの配置図を図 1 に示す。振り分け鏡を入れると 13B が使用でき, 振り分け鏡を抜くと 13A が使用できる。振り分け鏡の Ni コート面, Cr コート面 を利用すると効率よく高次光を除去できる [4]。現在, 13A の第一焦点位置にはユーザー持込みのコンパクト走査型透過 X 線顕微鏡 (cSTXM) [5, 6] が設置されており, 有機材料, 金属材料, 磁性材料, 生体物質, 環境物質など幅広い分野の研究に利用されている。また, BL-13A の第二焦点位置にはユーザー持込み装置用のスペースが用意されている。一方, 13B の第一焦点位置には光電子分光装置 (SES-200, Scienta, 図 2) が常設され, 高分解能角度分解光電子分光, 高分解能内殻光電子分光, 高分解能軟 X 線吸収分光が行われている [7]。13B の第二焦点位置には

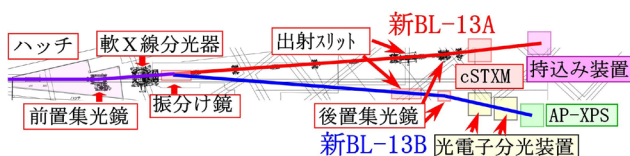


図 1 BL-13A/B の配置図

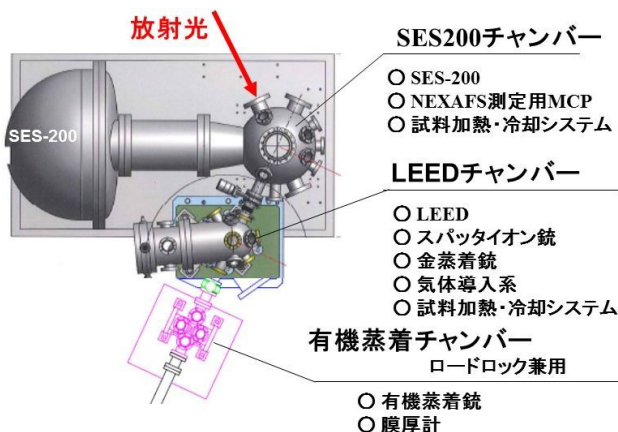


図 2 光電子分光装置 (SES-200, Scienta) の構成

ユーザー持込みの準大気圧 X 線光電子分光装置 (AP-XPS) が設置されていて, 貴金属触媒表面上での化学反応の研究などが行われている [8]。さらに, 第一焦点と第二焦点の中間位置には低温領域でも試料温度を精密に制御できるユーザー持込みの光電子分光装置 (Phoibos10, SPECS) が設置されており, 表面上に吸着した分子の化学状態等の研究が行われている [9]。

2. 整備開発および運用状況

2014 年 2 月に BL-13 用挿入光源として APPLE-II 型可変偏光アンジュレータが導入されたことに伴い, 放射線遮蔽を増強するとともに, 出射スリットを最適位置に移動して, ビームラインの再調整を行った。その結果, 水平直線偏光, 光エネルギー 401 eV, 光強度 2.3×10^{11} 光子/秒において最高分解能 $E/\Delta E = 10,000$ を達成するとともに, 50 eV 以上での光強度を 1 桁程度改善した (図 3)。また, 13A の第一焦点位置でのスポットサイズは (水平) $220 \mu\text{m} \times$ (垂直) $49 \mu\text{m}$ であった。酸素を導入しながら非分光光を照射して振り分け鏡の Cr コート面の炭素汚染を除去することにより, 炭素 K 吸収端領域において 13B に高次光の少ない高強度の光を供給できるようにした [4]。また, 2015 年 8 月および 2016 年 1 月にユーザーに協力してもらって SES200 光電子分光装置の修理を行ない安定して使用できる状況を 1 年間維持した。

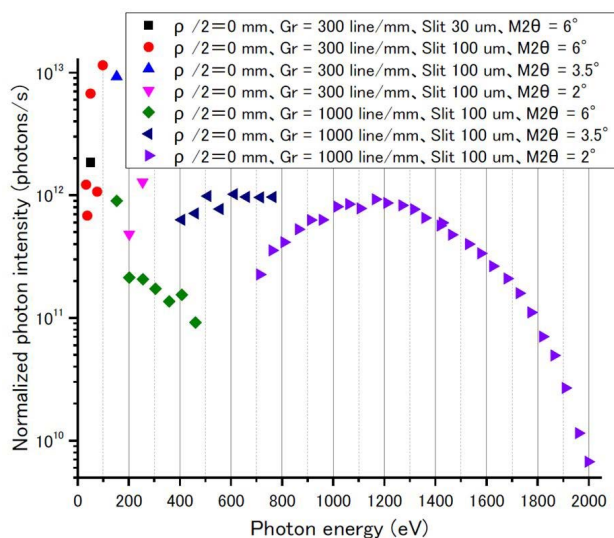


図 3 水平直線偏光, リング電流 450 mA における BL-13A での光量スペクトル

3. ビームタイム利用状況

2015年度の装置別、期別ビームタイム配分結果を表1に示す。2015年度は可変偏光アンジュレータ導入を受けてビームライン調整、エンドステーション調整を優先したこと、ビームタイムが少なかったことから平均ビームタイム配分率は45.8%と厳しくなった。そこで、有償利用、評点の高い課題を優先するとともに、13Aと13Bを交互に使用することで、試料作製、装置調整時間を確保し効率よく実験できるように配分した。

4. 今後の展望

可変偏光アンジュレータを導入した結果、世界的競争力が増してユーザーと課題、有償利用が増え、質の高い研究と人材育成ができるようになった。今後は既存の装置を改良しつつ新規ユーザーを開拓するとともに、軟X線小角散乱、超伝導軟X線検出器を用いた材料分析など興味深い研究に取り組むユーザーを呼び込む。また、学会等で本ビームラインの研究成果を報告し、民間研究者の利用を呼びかけるなどして産業利用を促進する。

引用文献

- [1] K. Amemiya and T. Ohta, J. Synchrotron Rad. **11**, 171 (2004).
- [2] K. Mase, A. Toyoshima, T. Kikuchi, H. Tanaka, K. Amemiya and K. Ito, AIP conference proceedings **1234**, 703 (2010).
- [3] A. Toyoshima, H. Tanaka, T. Kikuchi, K. Amemiya and K. Mase, J. Vac. Soc. Jpn. **54**, 580 (2011).
- [4] A. Toyoshima, T. Kikuchi, H. Tanaka, K. Mase and K. Amemiya, J. Synchrotron Rad. **22**, 1359 (2015).
- [5] Y. Takeichi, N. Inami, H. Suga, K. Ono and Y. Takahashi, Chem. Lett. **43**, 373 (2014).
- [6] Y. Takeichi, N. Inami, H. Suga, C. Miyamoto, T. Ueno, K. Mase, Y. Takahashi and K. Ono, Rev. Sci. Instrum. **87**, 013704 (2016).
- [7] A. Toyoshima, T. Kikuchi, H. Tanaka, K. Mase, K. Amemiya and K. Ozawa, J. Phys.: Conf. Ser. **425**, 152019 (2013).
- [8] R. Toyoshima, M. Yoshida, Y. Monya, Y. Kousa, K. Suzuki, H. Abe, B. Mun, K. Mase, K. Amemiya and H. Kondoh, J. Phys. Chem. C **116**, 18691 (2012).
- [9] S. Shimizu, H. Noritake, T. Koitaya, K. Mukai, S. Yoshimoto and J. Yoshinobu, Surf. Sci. **608**, 220 (2013).

表1 2015年度の装置別、期別ビームタイム配分結果。単位は日。

	調整	STXM	持込み装置	SES200	Phoibos100	AP-XPS	合計	要求	配分率
第1期	12.0	17.5	0.0	11.5	2.0	4.0	47	97.0	48.5%
第2期	10.0	24.3	3.3	10.3	2.0	7.0	57	101.2	56.3%
第3期	0.3	10.7	1.0	5.0	0.0	6.0	23	78.8	29.2%
合計	22.3	52.5	4.3	26.8	4.0	17.0	127	277.0	45.8%
割合	17.6%	41.3%	3.4%	21.1%	3.1%	13.4%			

BL-16A：可変偏光軟 X 線分光ステーション

雨宮 健太, 酒巻 真粧子

物質構造科学研究所放射光科学第一研究系

総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究科物質構造科学専攻

1. 概要

APPLE-II 型アンジュレータを光源とし、円偏光、垂直・水平直線偏光など、軟 X 線領域の各種偏光が利用できるビームラインである。2 台のタンデム配置アンジュレータとキッカー電磁石を組み合わせて 10 Hz の偏光スイッチングが可能である [1]。不等刻線間隔平面回折格子を用いた斜入射分光器により、250-1500 eV 程度の単色軟 X 線を利用することができる [2]。測定としては主に X 線吸収分光法 (XAFS) を用いており、Fe, Co, Ni などの 3d 遷移金属の L 吸収端における磁気円二色性 (MCD) や磁気線二色性 (MLD) の測定を行うこと、および波長分散型 XAFS 法によって固体表面における化学反応のその場追跡を行うことを主な目的としている。また、偏光を活かした先端的な測定手法の開発にも力を入れている。

2. 整備開発および運用状況

多くの測定装置がビームを利用するため、従来は装置の切り替えを頻繁に行う必要があるのが問題であったが、今年度は装置群を整理し、図 1 のような配置とした。これによって、フリーポート以外に設置した装置を移動する必要がなくなるとともに、フリーポートでの入れ替え作業中にも常に別のポートで実験ができるようになり、効率的なビームタイム配分が可能になった。個々の整備・開発状況は以下の通りである。

・ F4 ポートの整備

従来、ビームが集光されているのは F1 から F3 の 3 ポートのみであり、必要に応じてそれらの上下流のスペースにも装置を設置していたが、新たに M4 ミラーを設置し、F3 に集光したビームを F4 ポートに再集光できる光学系にした。

・ 5T-XMCD 装置の F4 ポートへの移設および整備

この装置は従来 F1 ポートに設置されていたが、磁場印加中の漏れ磁場が大きくなり、F3 ポートの装置に影響を及ぼすため、F4 ポートに移設した。また、真空を破らずに試料を交換できるロードロックシステムを整備するとともに、試料位置と冷却ヘッドの温度を同時に測定し、温度校正を行った。さらに、超伝導電磁石の冷却のためのクライオスタットの振動が試料に伝わるという問題を軽減するために、試料マニピュレータをマグネット架台から切り離し、床から直接支える方式に変更した。

・ F2 ポート (フリーポート) の整備

従来 F2 ポート付近に置かれていた装置を移動、もしくは

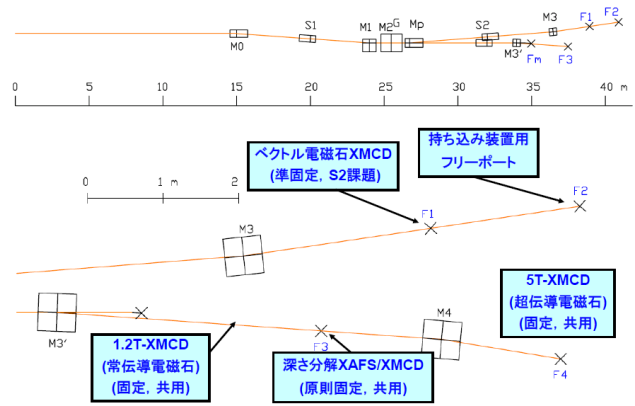


図 1 BL-16A における実験装置の配置

は撤収し、改めて集光位置の確認を行った上で持ち込み装置のためのフリーポートとして整備した。

・ 蛍光収量深さ分解 XAFS(XMCD) 法の開発

酒巻が中心となって、軟 X 線 CCD カメラを用いた蛍光収量法による深さ分解 XAFS (XMCD) 測定法の開発を行い、テスト試料による深さ分解 XMCD 測定に成功した。

・ アンジュレータデータの充実とソフトウェアの改良

従来、円偏光および楕円偏光については、片方の偏光のみでアンジュレータスペクトルを測定し、測定と連動させる場合にも片方の偏光のデータのみを用いていたが、右回りと左回りの間でわずかなずれがあることが判明した。そこで、両方の偏光に対するスペクトルを測定するとともに、右回りと左回りで別の値を設定できるようにソフトウェアを改良した。さらに、従来データがなかった 1500 eV 以上についてもアンジュレータスペクトルを測定し、1700 eV 程度までアンジュレータを最適な状態で使用できるようにした。

・ 制御用 PC の更新

Windows 7 を搭載した PC に更新した。

3. ビームタイム利用状況

複数の S2 課題および MP 課題が有効なため、それらの研究のアクティビティを確保しつつ、過度のビームタイム集中を防ぐ意味から、S2 および MP 課題での合計ビームタイムを、全体の半分程度にする方針とした。G 課題については、比較的評点の高い課題に対して最低限必要なビームタイムをなるべく確保した上で、比較的評点の低い課題に対して、希望の 1/2 から 1/3 程度で配分できるところま

で配分した。また、2つのブランチに複数の装置が設置されている利点を活かし、一方で測定をしている間に他方で準備作業ができるように配分を工夫した。

4. 今後の展望

最近、BL-2 や BL-13 など、偏光可変の軟X線ビームラインが相次いで稼働したが、偏光スイッチングが行えるのは BL-16 のみである。偏光スイッチングは、時間とともに変化する試料に対して特に有効なので、波長分散 XAFS 法と垂直・水平偏光のスイッチングを組み合わせた表面化学反応中の配向変化のその場観察 [3] など、BL-16 ならではの手法の開発を進める予定である。さらに、偏光スイッチングの ON/OFF が随時可能になるように、光源グループと協議を行っていく。

一方、様々な XMCD 測定が行える実験装置が整備されている強みを活かし、多くのユーザーが簡単に磁性試料の測定を行い、多くの成果を挙げられる環境を維持していく。特に、最近では電子収量法だけでなく蛍光収量法の需要が急速に高まっているが、SDD の利用はいまだにそれほど簡単ではなく（現在は 5T-XMCD にのみ装備）、トラブルも多い。SDD を確実に利用するための手順を確立する一方で、すでに 1.2T-XMCD 装置で実現している MCP を用いた全蛍光収量測定を 5T-XMCD にも採用し、より簡単に良質なデータが得られるようにする予定である。

引用文献

- [1] K. Amemiya, M. Sakamaki, T. Koide, K. Ito, K. Tsuchiya, K. Harada, T. Aoto, T. Shioya, T. Obina, S. Yamamoto and Y. Kobayashi, *J. Phys.: Conf. Ser.* **425**, 152015 (2013).
- [2] K. Amemiya, A. Toyoshima, T. Kikuchi, T. Kosuge, K. Nigorikawa, R. Sumii and K. Ito, *AIP Conf. Proc.* **1234**, 295 (2010).
- [3] K. Amemiya, M. Sakamaki, S. Nakamoto, M. Yoshida, K. Suzuki, H. Kondoh, T. Koide, K. Ito, K. Tsuchiya, K. Harada, H. Sasaki, T. Aoto, T. Shioya, T. Obina, S. Yamamoto and Y. Kobayashi, *Appl. Phys. Lett.* **101**, 161601 (2012).

BL-20A : 3 m直入射型分光器

河内 宣之¹, 北島 昌史¹, 穂坂 綱一¹, 足立 純一^{2,3}, 菊地 貴司²

¹ 東京工業大学 理学院 化学系, ² 物質構造科学研究所放射光科学第一研究系

³ 総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究科物質構造科学専攻

1. 概要

BL-20A では、偏向電磁石部からの放射光を直入射分光器で分光し、エネルギー 6 eV から 40 eV の比較的強い光が得られる。30 eV 以下の放射光がフリーポート利用できる、PF で唯一のビームラインである。このエネルギー領域は、到達可能なレーザー光源が現れている。しかし、そのようなレーザー装置は、波長掃引性が高いとは言えない。そのため、波長掃引性が重要となる分光的な研究分野では非常に重要な光源である。特に、Xe ランプそして He I 光源、He II 光源の間の波長領域にある、強い強度の光を得るため重要である。

本ビームラインは教育用ビームラインとして位置づけられている。2009 年 4 月に物質構造科学研究所放射光科学研究施設は東京工業大学理工学研究科(理系)化学専攻(現:理学院化学系)と、放射光科学の教育・研究推進についての合意書及び付随する覚書を交わした。この協定は、3 年ごとの評価を受けながら、現在も続いており、その下で教育用ビームラインとして活動している。また大学等運営ステーションとして、東京工業大学理学院化学系河内・北島研究室が、その運営に参画している。また、KEK のサマーチャレンジにて秋の実習が行われる際には、BL-20A からの放射光を光源とする実習を行っている。

2. 整備開発および運用状況

フリーポートビームラインであり、常置の実験装置は準備されていない。ただし、可視～真空紫外発光測定装置が東工大運営グループ側により、整備されている。

上記発光測定装置では、東工大運営グループにより新たに時間デジタル変換器が整備され、実習や共同利用実験での利用に供されている。

全ての持ち込み装置で使用可能な差動排気システムが、東工大運営グループ側の負担で整備されている。この差動排気システムをすべてのユーザーに公開した結果、様々な気体試料を安心して(ビームライン上流部へ与える影響を心配することなく)、使用できるようになっている。

分光器の保守は所内スタッフが対応し、運営グループおよび上智大の関係研究室へも協力を要請した。また、真空立ち上げ作業は、業務委託スタッフの支援により行われている。

近年は経年劣化により、分光器の不調が頻発していた。そこで、2015 年 3 月に分光器本体の O/H 作業対策を行った。これにより、分光器の駆動機構の不調は再発していない。一方で、回折格子ホルダーの調整機構の経年劣化によ

る不調のため、O/H 作業後に分光器の状態が完全に元の状態に戻せないことが発覚した。特に、回折格子の面内回転が大気側から調整できない状態になった。設置されている 2 つの回折格子の内、低エネルギー側で用いられる 1200 本/mm の回折格子では、一般的に用いられる波長掃引範囲で、完全に光が消失してしまう状態になったため、2015 年度第 II 期は、低エネルギー側で波長掃引が必要なユーザーの課題はキャンセルとした。

当面の対策として、回折格子ホルダーを分光器から取り外した状態で調整する治具を製作し、冬季停止期間中に調整・回折格子の再設置作業を行った。これにより、第 III 期には 2 つの回折格子が使用可能な状態に復旧できた。また、抜本的な対策には、回折格子ホルダーは修理・O/H 作業が必要な状態であることが再確認された。

3. ビームタイム利用状況

ビームタイムの配分は運営グループである東工大の河内・北島研究室スタッフが担当した。

ビームタイムは、ユーザーからの希望と課題の評点を基に決めた。自前の装置を持ち込むユーザーが比較的多いので、装置の入れ替えの頻度ができるだけ少なくなるように配慮した。またユーザーの切り替え日をマシンスタディーの前日に設定するなどの工夫をした。こうすることにより、マシンスタディーの時間を真空引きなどの準備に当てることができ、ビームタイムの有効利用に資することができた。また KEK サマースクールの一環としてのビームタイムと以下で述べる教育用ビームタイムも含めて、全体としての配置バランスにも配慮した。さらに、ビームラインの補修は、留保ビームタイムの利用により、これを実施した。

教育用ビームラインとの位置づけに基づき、2015 年度において、18 名の学生(修士課程 1 年生)に対し、実習を行なった(科目名:計測機器演習第 1) [1]。当初 30 名の希望者があったが、主として安全上の配慮から 1 回あたりの受入れ人数を 5 名とし、合計 20 名の学生を受け入れることにした(その後 2 名の辞退者が生じた)。一泊二日の実習を 4 回実施した。なお、本実習に当たっては、KEK 大学等連携支援事業からの援助を受けた。

KEK サマーチャレンジでは、運営グループである東工大河内・北島研究室だけでなく、上智大学、新潟大学の関連研究室からの協力、また、立教大学、東邦大学の関連教員からもアドバイスを受けて、積極的に対応する方針にしている。2015 年度は、東工大運営グループのスタッフが担当して、秋の実習を行った。夏の実習 [2] に参加した 4

名の学生全員が、秋の実習にも参加した。

4. 今後の展望

- 1) これまで多くの実績が上がっており、更なる発展が見込まれる原子分子の光ダイナミクスの研究を、主たる実験として進めていく。そのためにも、ビームタイムの配分、そして、ビームラインの維持・管理などを、運営グループと密接な協力体制の下に着実に行う。
- 2) 30 eV 以下の VUV 光が使える PF 内で唯一のフリーポートビームラインとしての特徴を生かし、新規ユーザーの開拓をいっそう進める。そのためのユーザー教育と支援をきめ細かく行う。また、10 eV 以下の領域の低エネルギー側の利用の要望があり、現在、実効的には利用が困難な状況にある。このエネルギー領域でも、利用可能となるよう運用法の検討を進める。
- 3) 大学院教育における放射光科学実習(計測機器演習第1)を継続して実施する。学生の主体的な工夫を盛り込むように時間的な余裕を作る。
- 4) 大学教育における KEK および東京工業大学、他機関との連携を模索する。例えば、放射光科学のうち光発生及び加速器にかかわる教育を強化することが望まれ、KEK 側からの教育支援を活性化させていく。また、KEK のサマーチャレンジのような活動におけるビームライン実習に対し積極的に関与する。
- 5) 他放射光施設の同じエネルギー領域のビームラインとの情報交換を進め、互いに補完できる部分があれば協力を図る。

引用文献

- [1] 河内宣之, 北島昌史, 穂坂綱一, 足立純一, 高井良太, 2015 年度量子ビームサイエンスフェスタ, ポスター A004 (2016/3/15).
- [2] 第9回サマーチャレンジ報告書, pp.235-245 “演習課題 M06” (2016).

BL-28A/B：可変偏光 VUV・SX 不等間隔平面回折格子分光器 高分解能角度分解光電子分光実験ステーション

小野 寛太^{1,2}, 堀場 弘司^{1,2}, 井波 暢人¹, 組頭 広志^{1,2}

¹物質構造科学研究所放射光科学第一研究系

²総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究科物質構造科学専攻

1. 概要

BL-28A/B は可変偏光アンジュレータと不等間隔平面回折格子を用いた可変偏角 Monk-Gillieson 型分光器を備えたビームラインであり、主に 30~300 eV の領域の真空紫外・軟X線を用いた研究が行われている。ビームラインは2つのブランチからなり、ミラーの切り替えにより排他的な利用を行っている。BL-28A は高分解能角度分解光電子分光ビームラインであり角度分解光電子分光装置 (SES-2002) が常設されている。また、BL-28B はユーザー持ち込み装置用のフリーポートとなっており、主に気相実験が行われている。

2. 整備開発および運用状況

BL-28A では国際的競争の激しい新物質の電子構造研究において主導権を握ることが出来るように、ユーザーフレンドリーかつ高分解能・高精度の角度分解光電子分光実験が可能なビームラインとして整備している。経年に伴う装置の老朽化が目立つものの、共同利用実験では順調に成果が上がっている。また、BL-28B はユーザー持ち込み装置を設置可能なフリーポートとして整備をしている。

3. ビームタイム利用状況

BL-28A/B の共同利用実験では、本ビームラインの特長である低エネルギー（特に 30~100 eV）で高分解能の偏光可変真空紫外・軟X線放射光を活かした利用課題に重点を置いてビームタイム配分を行っている。本ビームラインで重点的に行っている研究テーマとしては下記の研究が挙げられる。

(1) 次世代デバイス開発の扉を開く電子構造の探索 [1]

BL-28A の角度分解光電子分光装置を用いてイリジウム酸化物内の電子を運動量空間で隈無く探索し、フェルミ海の中心一点でのみ海面に顔を出す放物型の電子構造を発見した。これはトポロジカル理論を駆り立てる宝庫とも言える構造で、そこに歪みを加えて空間対称性を破ればトポロジカル絶縁体に、また、磁場を加えて時間対称性を破ればワイル半金属に変化するなど、純スピン流を流す様々な量子現象を発現させる上での起点となる母体となる電子状態である。この成果は、最近急速に理論研究が進展する中、実験による検証が欠如していたため、強く待ち望まれていた。理論予想を裏付ける特異な電子構造が発見されたことで、「強相関スピントロニクス」時代の幕開けに向けて、強

相関かつトポロジカルな物質群を対象とする研究が、理論と実験の両面から加速することが今後期待される [1]。

(2) 反強磁性の影響が強く残ることで知られる電子ドープ型銅酸化物高温超伝導体で、反強磁性の影響が排除された超伝導状態の観測。

常圧でもっとも高い超伝導転移温度を持つ銅酸化物超伝導体では、反強磁性絶縁体である母物質に電子あるいは正孔をドープすることで超伝導が発現するが、電子をドープした場合には反強磁性の影響が強く、超伝導状態でも反強磁性が共存しているものと考えられてきた。BL-28A 用いた角度分解光電子分光の測定から、反強磁性の影響がない高温超伝導状態を世界で初めて観測し、その超伝導状態が従来考えられていたよりも広い電子濃度領域で、しかもより高温まで実現されていることを明らかにし、超伝導と反強磁性の関係を最重要視してきたこれまでの高温超伝導の物理の根幹部分に見直しを迫る [2]。

4. 今後の展望

現在、新しい光電子分光装置の整備を進めており、角度分解光電子分光実験の効率が飛躍的に向上する予定である。

引用文献

- [1] Takeshi Kondo, M. Nakayama, R. Chen, J.J. Ishikawa, E.-G. Moon, H. Kanai, Y. Nakashima, T. Yamamoto, Y. Ota, W. Malaeb, Y. Ishida, R. Yoshida, H. Yamamoto, M. Matsunami, S. Kimura, N. Inami, K. Ono, H. Kumigashira, S. Nakatsuji, L. Balents and S. Shin, Nature Communications 6, 10042 (2015).
- [2] M. Horio, T. Adachi, Y. Mori, A. Takahashi, T. Yoshida, H. Suzuki, L. C. C. Ambolode II, K. Okazaki, K. Ono, H. Kumigashira, H. Anzai, M. Arita, H. Namatame, M. Taniguchi, D. Ootsuki, K. Sawada, M. Takahashi, T. Mizokawa, Y. Koike and A. Fujimori, Nature Communications 7, 10567 (2016).