

## BL-2 MUSASHI の建設状況

放射光科学第一研究系 組頭広志

現在、PFの電子物性グループにおいては、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、「PFの特性を生かしたサイエンス」を発展させるための真空紫外光(VUV)-軟X線(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進めています。その中でBL-2は、長直線部を有効活用してVUVとSXを高いレベルで両立させることにより、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できる表面・界面物性研究用のビームラインと位置づけ、日立製作所と共同で整備を進めています。具体的には、PFリング(2.5 GeV)の長直線部にVUV用(30-300 eV)とSX用(250-2000 eV)2台のアンジュレータをタンデム配置し、入射スリットレス、可変偏角 Monk-Gillieson 型の不等間隔平面回折格子分光器を採用することで、同一のポートで30-2000 eV程度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BL-2 MUSASHI (Multiple Undulator beamline for Spectroscopic Analysis on Surface and HeteroInterface)として建設・改良を行っています(図1)。実験目的にあわせてVUVモードとSXモードを切り替えて「二刀流」で使用できることから“MUSASHI”と名付けました。更にBブランチには2結晶分光器を設置し、SXアンジュレータの高次光モードとの組み合わせにより、エネルギー範囲を4,000 eVまで拡張することも可能です。

本BL-2 MUSASHIは、2013年4月から建設を開始し、2013年11月から既存のSXアンジュレータを暫定的に用



図2 BL-2長直線部に設置された真空紫外(VUV)用および軟X線(SX)用アンジュレータ。

いて光学系の調整を行いました。2014年3月にはVUV領域をカバーするアンジュレータの追加設置および既存のSX領域アンジュレータの下流への移設を行い(図2)、2014年度はVUVおよびSX領域での光学系の立ち上げ・調整を進めてきました。現在の性能として、VUV領域(~65 eV)でエネルギー分解能  $E/\Delta E > 20,000$ 、SX領域(250-900 eV)で  $E/\Delta E > 10,000$  を達成しており、実験にあわせてVUVモードとSXモードを切り替えて使用できるようになりました(図3)。さらに、2015年3月に低エネルギー領域(30-120 eV)専用の回折格子を追加し、2015年度第一期に2結晶モードも加えた全エネルギー領域での最終調整、各ステーションでのコミッションング実験を予定しています。これにより、広いエネルギー領域をカバーすることで、固体表面・界面物性研究や機能性材料・環境

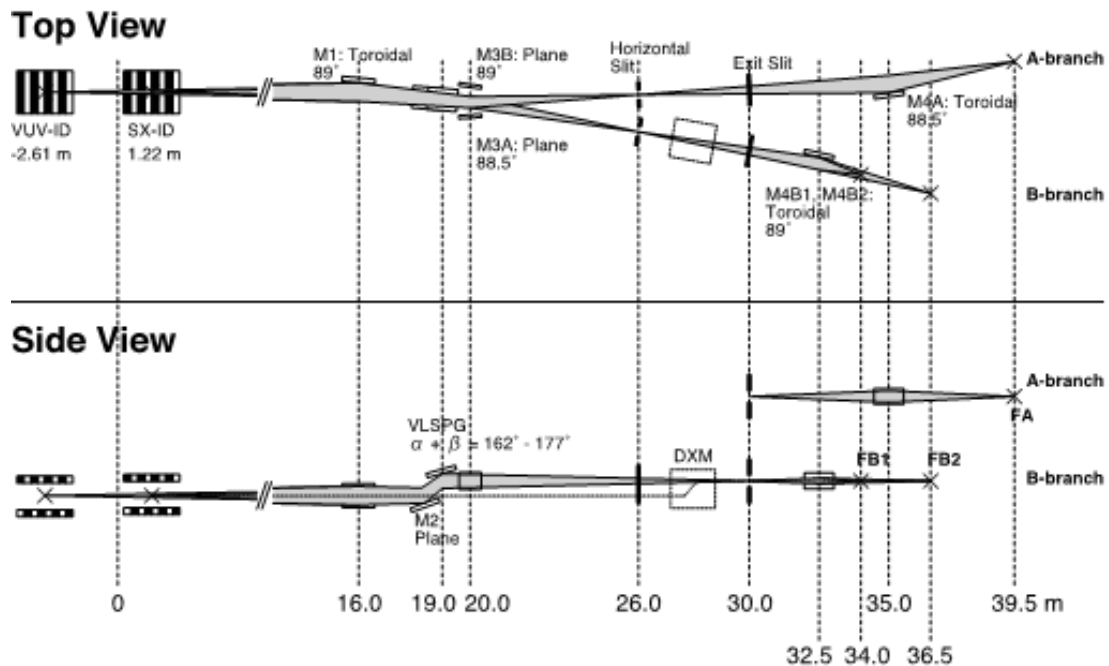


図1 新BL-2 MUSASHIの光学系概略図

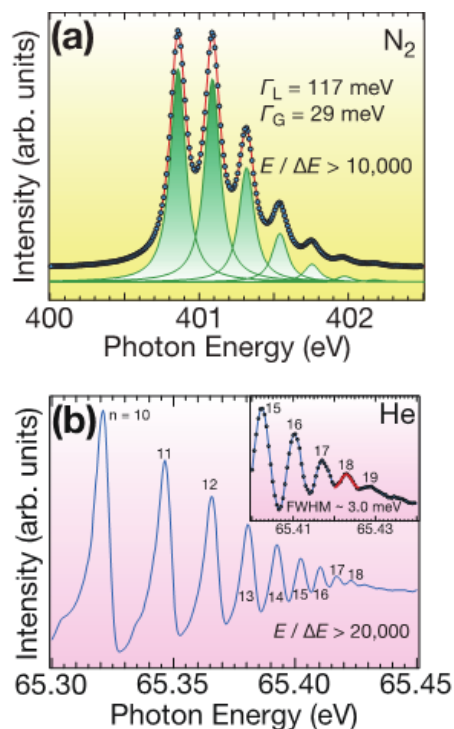


図3 ガス吸収スペクトルによるBL-2ビームラインの分解能評価。(a) SXモードにおけるN<sub>2</sub>のイオン収量スペクトル (~400 eV), (b) VUVモードにおけるHeのイオン収量スペクトル (~65 eV)。

材料などの評価・開発研究を推進する予定です。具体的には、「放射光解析に基づく物質開発“Materials by design”」を目指し、酸化物ヘテロ構造などの新機能性材料、Liイオン電池等のエネルギー変換材料、ユビキタス元素からなるグリーンデバイスなどの環境材料、元素戦略に基づいた革新的電子材料、の研究を推進していきたいと考えております。なお、2015年度第二期からの共同利用課題を募集する予定ですが、実際の共同利用実験については、立ち上げ・調整の進捗に応じて、段階的に開始する事になると思っております。詳細につきましては、担当者（組頭広志：放射光科学第一研究系；hiroshi.kumigashira@kek.jp）までお問い合わせください。なお、現在、それぞれのプランチに設置されているエンドステーションとその戦略目標は下記の通りです。

#### BL-2A：表面・界面光電子分光実験ステーション

新BL-2AはVUVモードで30-300 eV、SXモードで250-1500 eV程度の単色光を同一のポートで使用出来る、主に光電子分光法を用いた表面・界面研究のためのビームラインです。そのため、現在はエンドステーションとして、元素戦略プロジェクトの支援のもとに「*in situ* 高分解能(角度分解)光電子分光・X線吸収分光専用ステーション」(図4)が設置・運営され、VUV光(垂直・水平・円偏光切り替え可能)を用いた角度分解光電子分光による価電子帯バンド構造の決定と、軟X線を用いた共鳴光電子分光や内殻準位の測定とを、同一試料表面上で行うことが可能となっ



図4 BL-2Aに設置された「*in-situ* 高分解能(角度分解)光電子分光・X線吸収分光装置」の写真。分子線エピタキシー装置などを接続し、作製した超構造の表面・界面の電子状態をその場で観測できる。写真では、レーザー分子線エピタキシー装置を接続し、作製した酸化物量子井戸構造の電子状態をその場で測定している。

ています。この「二刀流」という強みを最大限に活かして、分子線エピタキシー法等で作製した酸化物超構造や機能性材料における表面・界面物性の研究等が精力的に行われる予定です。

#### BL-2B：広エネルギー帯域機能性材料解析ビームライン

新BL-2Bはタンデム配置の2台のアンジュレータと斜入射分光器および二結晶分光器を用いて、同一のポートで30-4000 eV程度の単色光を供給できるようになる予定です。これにより、X線吸収分光としては、LiからCaまでのK吸収端、3d遷移金属のL吸収端といった全てのユビキタス元素に対応することが可能となっています。そのため、本ビームラインでは、広いエネルギー帯域の光を用いた複合解析による物質・材料研究を強く推奨します。BL-2Bでは上流側に日立製作所の専用ステーションが常設され(BL-2BH)、下流側のフリーポート(BL-2BF)において装置持ち込みによる共同利用実験が可能になる予定です。

BL-2A/Bの設置は、堀場、簗原、組頭、柳下、北島、豊島、田中、菊地、森、雨宮が担当し、インターロックシステム・制御系の構築は小菅、濁川、斉藤、永谷が行ないました。本ビームラインの建設にあたっては、PFの光源系(加速器第7系)、放射光科学第一研究系・第二研究系スタッフ、業務委託メンバー、株式会社トヤマの皆様にご多大なるご協力、ご尽力をいただきました。また、立ち上げ実験に際しては、所外のユーザーの方やプロジェクト研究員の方にも協力して頂き、何とか目処が立つところまで進むことができました。この場を借りて心より御礼申し上げます。