

# BL25SU 軟X線固体分光ビームライン

## 1. はじめに

BL25SUは、ツインヘリカルアンジュレータを光源とする共用の円偏光軟X線ビームライン(BL)であり、1998年の供用開始から現在まで固体物性分野を中心に各種軟X線分光研究が中心的テーマとなっている。2013B期の利用実験終了後、ナノ・マイクロビームの利用基盤整備を目的としたアップグレード改造を行い、2014A期のコミッシュニングを経て、2014B期から供用を再開した<sup>[1-3]</sup>。改造後のビームラインは、高いエネルギー分解能のマイクロビーム利用を推進するAブランチと、角度発散の小さい光学設計でナノビーム利用を推進するBブランチで構成した。以下では、利用課題実施状況、成果状況、および、機器整備の状況について報告する。

## 2. 利用課題実施状況

図1に、2016A期と2016B期における課題種別実施シフト割合を示す。2014A期から継続中のPU課題は、軟X線ナノビームの利用技術である走査型軟X線MCD顕微測定技術の開発と、その先導的利用研究に関するものである。また、2015A期から継続中の長期利用課題が2件、2015B期から継続中の新分野創成利用課題が1件含まれている。一般課題の採択率は低い状態が続いているが、2015年度と比較して増加傾向にある。

図2に各ブランチと各実験装置の利用割合を示す。2016年度における各ブランチの利用割合は概ね同程度と

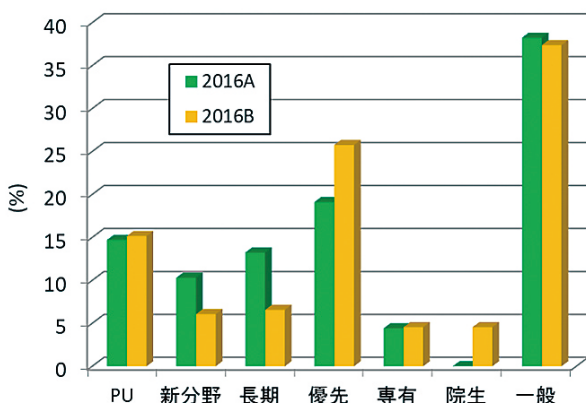


図1 2016A期、2016B期の課題種別実施シフト数の割合。縦軸は、ユーザー実験の全シフト数に対するシフト数の割合(%)を表す。“PU”、“新分野”、“長期”、“優先”、“専有”、“院生”、“一般”は、それぞれ、パートナーユーザー(PU)課題、新分野創成利用課題、長期利用課題、成果公開優先利用課題、成果専有課題、大学院生提案型課題、一般課題である。

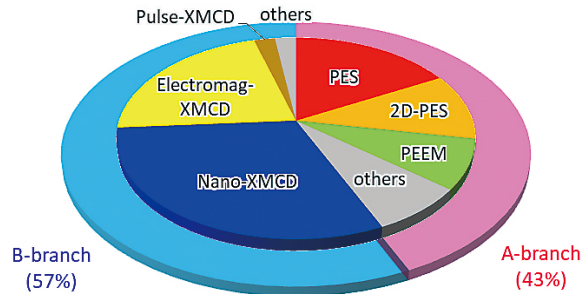


図2 2016年度におけるブランチと各実験装置の利用シフト数割合(BL担当者調べ)。2D-PES(二次元表示型光電子アナライザー)、PEEM(光電子顕微鏡)、PES(光電子分光装置)、Pulse-XMCD(パルス強磁場軟X線MCD装置)、Electromag.-XMCD(電磁石式軟X線MCD装置)、Nano-XMCD(走査型軟X線MCD顕微鏡装置)。Othersは、一時的な持ち込み装置や開発中の機器の利用実験に相当する。

なった。また、PU課題、成果公開優先利用課題、新分野創成利用課題で利用された走査型軟X線MCD顕微鏡装置と電磁石式軟X線MCD装置の利用率が高い。

## 3. 成果状況

2016年度に出版された査読付き論文数は、2017年3月31日時点で33件の登録(1998年～2016年度の総数は420件)であり、直前の5年間の平均と比較して17%増加した。2015年度は直前の5年間の平均と比較して25%減少していたが、これは2014A期のコミッシュニング期間が影響していた可能性がある。改造後のビームラインが安定的に稼働し始めた結果、論文報告が順調に行われ始めたものと考えられる。

## 4. 光学系、および、実験装置の状況

### 4-1 ビームライン光学系

これまでAブランチでは、改造前のビームラインで使用していた回折格子を再利用していたが、2015～2016年度にかけて光学パラメーターを最適化した回折格子への更新を行ってきた。まず、2015年度に300本/mmと1000本/mmの回折格子を更新した。さらに、2016年度に600本/mmの回折格子を更新し、すべての更新を完了した。その結果、光エネルギーやエネルギー分解能に応じて適切な回折格子を選択して利用することが可能になった。

4-2 二次元表示型光電子アナライザー装置 (A-branch 第1ステーション)

一度に $1\pi$  srの広角光電子放出角度分布を測定できる分析器の特徴を生かし、表面敏感光電子ホログラフィー<sup>[4]</sup>、円偏光共鳴光電子回折による原子軌道解析<sup>[5]</sup>、顕微光電子回折<sup>[6]</sup>など独自の手法開発を展開してきた。2016年度は、グローブボックスからの試料導入を可能にし、開発中の真空試料搬送スーツケースにも対応するため、試料導入槽・搬送槽を一新した。また、WドープZnO<sub>2</sub>ガスセンサ表面<sup>[7]</sup>やSiO<sub>2</sub>/SiCパワーデバイス界面のN原子周辺の局所構造解析<sup>[8]</sup>など、様々な原子構造解析の応用研究も進んでいる。継続的な保守により、装置は安定的に稼働している。

4-3 光電子顕微鏡装置 (A-branch 第2ステーション)

光電子顕微鏡 (PEEM) 装置 (PEEMSPECTOR, ELMITEC GmbH) は、パルスレーザー等の外場励起と放射光を同期した時間分解測定を特徴として利用されている。2016年度は2015年度に引き続き、イメージングカラム周辺の絶縁低下の対策を行い一定の効果は得られたが、未だ安定的な運用に至っていない。装置の老朽化が大きな原因であるため、より先端的な新型機器への更新が必要である。

4-4 光電子分光装置 (A-branch 第3ステーション)

本装置は、2014年度に新たに導入した角度分解光電子分光 (ARPES) 装置である。斜入射配置の採用により、従来のBL25SUのARPES装置と比較して感度が約1桁向上した。また、ディフレクター付き光電子分析器 (Scienta Omicron製DA30型) により、試料の角度を固定したままでのARPES測定が可能になった。2016年度は利用実験が順調に行われた。2017年度にマイクロビーム化の装置改造を予定している。

4-5 パルス強磁場軟X線MCD装置 (B-branch第1ステーション)

B-branch第1ステーションは装置をレールで退避できる機構を有するため、目的に応じて様々なアプリケーションを組み込むことが可能である。2016年度は時間分解測定のためのX線チョッパー装置やユーザー持ち込み装置を設置して放射光実験を実施した。

4-6 電磁石式軟X線MCD装置 (B-branch 第2ステーション)

部分蛍光収量法によるXMCD測定の高精度化を目的として、新たに高計数読み出し器 (英国・Quantum社: Xspress 3) を導入した。これと4素子シリコンドリフト検

出器 (SDD) と組み合わせて使用することで、信号カウント数で10倍以上の高精度XMCD計測が可能となった。

4-7 走査型軟X線MCD顕微装置 (B-branch 第3ステーション)

本装置は、元素戦略プロジェクト<磁性材料研究拠点>の助成を受けて開発された。100 nm以下の高い空間分解能を有し、強磁場下で元素選択磁気マッピング測定ができる特徴がある。2016年度には計測回路の低ノイズ化と計測ソフトウェアの効率化を図り、60 μm×60 μmの視野を約7分間で観察できるようになった。これは2014年の装置の立ち上げ直後と比較して20倍以上の高速化に相当し、より多数の測定ポイントや磁場依存性の観察などに対応することが可能となった。一方、超伝導磁石で印加可能な磁場が当初の8 Tから約5 Tに性能低下している問題への対応が課題となっている。

参考文献

- [1] 中村哲也ら: SPRING-8利用者情報、**19** (2014) 102-105.
- [2] 中村哲也ら: SPRING-8/SACLA利用研究成果集、**3(1)** (2015) 186-200.
- [3] Y. Senba *et al.*: *AIP Conference Proceedings* **1741** (2016) 030044.
- [4] F. Matsui *et al.*: *Sci. Rep.* **6**, (2016) 36258.
- [5] F. Matsui *et al.*: *Phys. Rev. Lett.* **114**, (2015) 011501.
- [6] K. Sugita *et al.*: *e-J. Surf. Sci. Nanotechnol.* **14**, (2016) 59.
- [7] S. Fukami *et al.*: *Phys. Rev. Appl.* **7**, (2017) 064029.
- [8] D. Mori *et al.*: *Appl. Phys. Lett.* **111**, (2017) 201603.

利用研究促進部門 分光物性IIグループ

中村 哲也、小谷 佳範、室 隆桂之

大河内 拓雄、松井 文彦

光源基盤部門 光学系・輸送チャンネルグループ

大橋 治彦、仙波 泰徳