

BL25SU 軟X線固体分光ビームライン

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った^[1-3]。2014A期はA、B各ブランチの光学調整を行うとともに、延べ約140時間の光学素子の光焼き出しを行った。また、計6台の既存実験装置に関し、光軸上への設置・アライメントを行うとともに、新たに二次元角度分解光電子アナライザー、および、軟X線ナノビームMCD装置を導入した。以下で詳細を報告する。

1. 2014A期のコミッショニングと2014B期の利用状況

2014A期はコミッショニング期間として、主に光学調整と実験装置の設置を行った。また、当初の予定どおり2014B期から供用を再開し、18課題（計231シフト）を実施した。2014B期の利用実験においては、光学系および実験装置に特段のトラブルは発生せず、全ての利用実験課題を完了した。図1に2014B期の各実験装置に対する利用課題数を示す。図中のPESは光電子分光装置、2D-PESは二次元表示型光電子アナライザー、PEEMは光電子顕微鏡、MCD（磁気円二色性）については電磁石式軟X線MCD装置、パルス強磁場軟X線MCD装置および軟X線ナノビームMCD装置の3装置の利用課題の合計を示した。図は課題数ベースでの比較であるが、装置毎の配分シフト数で比較すると、PES：18%、PEEM：21%、2D：14%、MCD：47%（MCDについては3台の装置合計）となり、各実験装置が概ね均等に利用されたことになる。課題種別では、一般課題が14課題、スマート放射

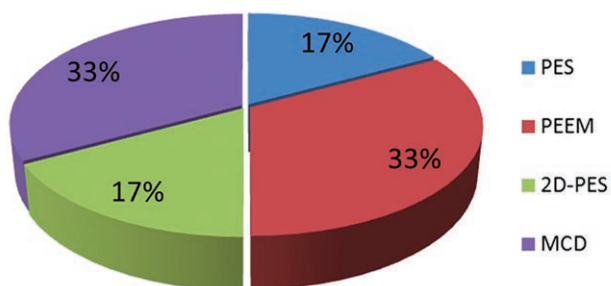


図1 2014年度におけるBL25SU各実験手法の利用課題数割合（BL担当者調べ）。

光活用イノベーション戦略推進課題、成果公開優先利用課題、萌芽的研究支援課題、重点パートナーユーザー課題が各1課題であった。重点パートナーユーザー課題は、新設の軟X線ナノビームMCD装置開発と先導的利用に関するものである。一方、2014年度出版された査読付き論文数は、2015年4月1日時点で25件の登録（1998年～2014年度の総数は365件）であり、最近5年間の平均とほぼ同数となっている。

2. 光学系、および、実験装置の状況

2-1 ビームライン光学系

2014A期のコミッショニング終了後に、前置鏡（M0a、M0b）、および、B-branchの分光器内の光学素子であるM21b、M22b、各回折格子のオゾン洗浄を行った。コミッショニング期間、および、2014B期のインハウス課題（課題番号2014B2050）において、ビームライン光学系の立ち上げ調整を行った。その結果、A、B各ブランチにおけるエネルギー分解能（ $E/\Delta E$ ）について、それぞれの設計値（10,000と3,000）を十分に達成した。

2-2 2D-PES装置（A-branch 第1ステーション）

2014B期に2課題（計24シフト）により、ビームを用いた再調整と利用実験を行った。専用の後置集光鏡により、試料上の標準的なビームスポットサイズ（半値全幅）は、改造前の縦300 μm ×横400 μm から、改造後の縦18 μm ×横30 μm となり、微結晶・多結晶試料や結晶性の均一度が十分でない試料表面から良質な試料部分を選択した測定に有利な計測環境となった。また実験ステーション全体をレールに乗せ、ビームラインから退避できる機構を設けたため、オフラインにて実験ステーションの整備が容易になった。

2-3 PEEM装置（A-branch 第2ステーション）

試料上の実用的な最小ビームスポットサイズ（半値全幅）は、改造前の縦100 μm ×横200 μm から、改造後の縦11 μm ×横50 μm となり、光子密度が大幅に増加した。これにより、試料上の局所領域（ Φ 10 μm 以内の範囲）に対する観察時間の短縮や精度向上が可能となった。特に、時間分解測定や高エネルギー分解能条件での局所分光測定において効果を発揮している。一方、実験環境面では、ケーブルラダーを一部経路に利用した新しいレー

ザーパスも整備され、PEEMステーションでのパルスレーザー利用実験も再開した。

2-4 PES装置：Scienta Omicron製SES200型アナライザー（A-branch 第3ステーション）

微小試料における電子状態解析を推進するため、集光に適した第3ステーションに設置した。このステーションでの後置集光鏡の縮小率の設計値は、縦が1/11で横が1/8.6である。ビームライン改造後に集光サイズ測定を行ったところ、縦、横ともにほぼ縮小率通りに集光していることを確認した。よって、例えば分光器の出口スリットの開口を縦20 μm（分散方向）×横500 μmに設定すると、集光サイズはおおよそ縦2 μm×横60 μmとなる。ビームラインの改造前と比較すると、特に縦方向を1/10以下のサイズにすることができた。また、エネルギー分解能に関しては、2014年7月の調整初期段階で、ビームライン分光器の分解能が868 eVの光エネルギーに対して $E/\Delta E=10,500$ であることを確認した。

2-5 PES装置：Scienta Omicron製DA30型アナライザー（A-branch 第4ステーション）

2014年の夏期点検調整期間中に、光・量子融合連携研究開発プログラムで新たに導入した光電子分析器（Scienta Omicron製DA30）を備える装置を設置した。この装置の特徴は、光電子放出効率を高めるために斜入射配置を採用したことと、斜入射条件を保ったまま試料位置を動かさずに光電子分析器のディフレクター機能により二次元的な角度分解測定が行える点である。斜入射配置では、試料上の縦方向のビームのフットプリントが伸びるが、2014年10月に行った後置集光鏡の調整では、縦方向で最小10 μmの集光サイズを確認した（ビームラインのスリット開口に依存する）。この縦サイズであれば、例えば5°入射でもフットプリントは110 μm程度となり、数百μmの試料サイズであれば測定が可能である。また、光電子放出強度を実際に測定したところ、従来の45°入射の場合に比べ、5°入射では強度が約10倍向上することがわかった。今後、角度分解測定の高効率化が期待される。

2-6 パルス強磁場軟X線MCD装置（B-branch 第1ステーション）

2014B期の実験課題（課題番号2014B1531）において、装置再設置後の立ち上げ調整を行い、改造前と同等のデータが得られることを確認した。また、パルス磁場電源ユニットに新たに追加した磁場極性反転機構の利用試験測定を行った。

2-7 電磁石式軟X線MCD装置（B-branch 第2ステーション）

本装置専用の後置集光鏡により、試料上の標準的なビームスポットサイズ（半値全幅）が、改造前の縦400 μm×横150 μmから、改造後の縦20 μm×横150 μmとなり、縦方向の高集光化により光子密度が約20倍向上した。また、後置集光鏡を退避させた非集光条件では試料上の光子密度が低下するため、特に放射ダメージやチャージアップが懸念される試料の測定などに適する。後置集光鏡の使用・不使用のセットアップ変更についても、スムーズに行えることを確認した。

2-8 軟X線ナノビームMCD装置（B-branch 第3ステーション）

局所的な軟X線吸収分光、および、高空間分解能の磁気イメージングを行うことを目的として軟X線ナノビームMCD装置を開発した。フレネルゾーンプレート（FZP）によるビーム集光により、ビーム径Φ100 nm以下を達成し、元素コントラストおよびXMCDコントラストによるイメージング計測を開始した。また、ピエゾステージの追加や真空度の向上（ 5×10^{-7} Pa）により、性能と操作性の向上を行った。さらに、2014B期の利用実験終了後に、専用の超伝導マグネットを設置し、最大磁場±8 Tの磁場が正常に発生できることを確認した。

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.*: “Upgrade of Beamline BL25SU for Soft X-ray Imaging and Spectroscopy of Solid Using Nano- and Micro-focused Beams at SPRING-8”, submitted.

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、辻 成希
 利用研究促進部門 応用分光物性グループ
 室 隆桂之、大河内 拓雄
 光源・光学系部門 光学系グループ
 大橋 治彦、仙波 泰徳