

高輝度真空紫外軟 X 線ビームライン BL-13A の現状

放射光科学第一研究系 間瀬一彦

有機薄膜研究用の高輝度真空紫外軟 X 線ビームライン BL-13A が 2010 年 1 月 29 日にユーザーに公開されてから、約 2 年が経ちました。本稿では、前回の報告 [1] 以降に行った改良とその結果を中心に報告いたします。

新水冷可動四象限スリットの設置

BL-13A では旧 BL-13 で使用されていた水冷可動四象限スリットを使用していたのですが、老朽化が著しく、位置の再現性が得られないなどの問題があったことから、新たにベリリウム銅合金製の水冷マスク 2 個とベローズ 3 個、x ステージ 2 台、z ステージ 2 台を用いた水冷可動 4 象限スリットを設置しました [2]。これにより、アンジュレーター放射光の取込角を精度よく制御することができるようになりました。

散乱光の除去

2010 年 2 月にユーザーの方から設定光以外の光が混じっているとの指摘を受け、調査したところ、分光器チェンバーと出射スリットの間のダクトの内面で散乱された光が混入していることがわかりました。そこで 2011 年 1 月に、ダクトにマスクを入れて散乱光を除去しました [3]。

東日本大震災での被災と復旧

2011 年 3 月 11 日におきた東日本大震災（つくば市は震度 6 弱）により、BL-13A の回折格子切換機構が故障しました。そこで、4 月に修理、5-7 月にビームライン調整を行ない、10 月から共同利用を再開しました。

光学素子の炭素汚染除去

光学素子の炭素汚染は、炭素 K 吸収端領域 (270~300 eV) での光量の低下をもたらすため、有機薄膜研究の妨げになります。BL-13A ではビームライン全体の到達圧力を 1×10^{-8} Pa 未満に保つことにより、光学素子の炭素汚染防止に努めてまいりました。しかしながら、調整開始から 1 年で炭素 K 吸収端領域での光量低下が 50% に達しました。そこで、2011 年 7 月に分光器チェンバーに $1 \sim 6 \times 10^{-3}$ Pa、後置鏡チェンバーに $>1 \times 10^{-1}$ Pa の酸素を流しながら、0 次光を 16.5 時間照射することにより、平面鏡 (M2)、回折格子 (G)、後置鏡 (M3, M3') の炭素汚染を除去しました。さらに、前置鏡 (M1) を取外して、SPring-8 の大橋さん、三浦さんをお願いして、オゾン洗浄を行ない、炭素汚染を除去しました。これにより、炭素 K 吸収端領域での光量低下を 25% 程度まで改善することが

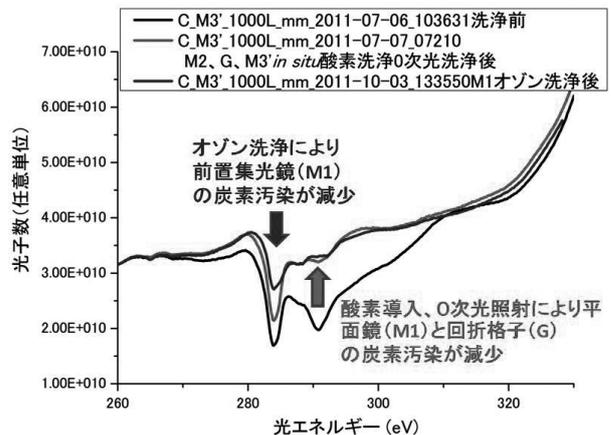


図 1 光学素子の炭素汚染除去前後の炭素 K 吸収端での光量スペクトル。

できました (図 1)。

光エネルギー分解能と光量、光エネルギー安定性、光エネルギーの較正

これまで垂直取込角を大きくすると、分解能が悪化するという症状がみられました。このため、垂直取込角の設計値が 0.4 mrad であったにもかかわらず [4], 2011 年 3 月まで垂直取込角を 0.06 mrad 程度に制限して使用しておりました [5]。2011 年 1-3 月に調査を行った結果、最初の出射スリットより数百 mm 上流側に新しい出射スリットを設置すると、垂直取込角を 0.4 mrad まで広げても分解能がそれほど劣化しないことがわかりました。

垂直取込角 0.4 mrad における光エネルギー分解能

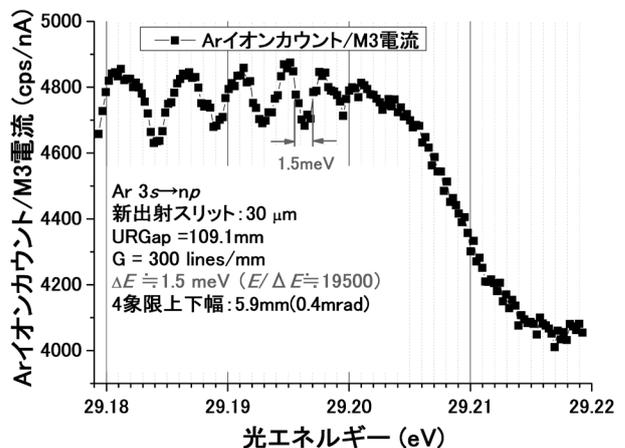


図 2 Ar の 3s → np 遷移による吸収スペクトル。

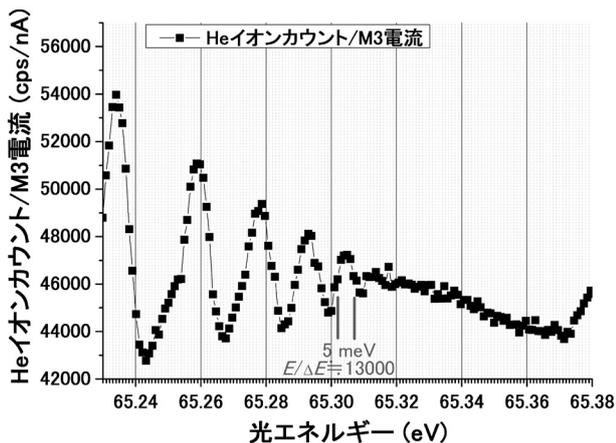


図3 Heの2重励起による吸収スペクトル。

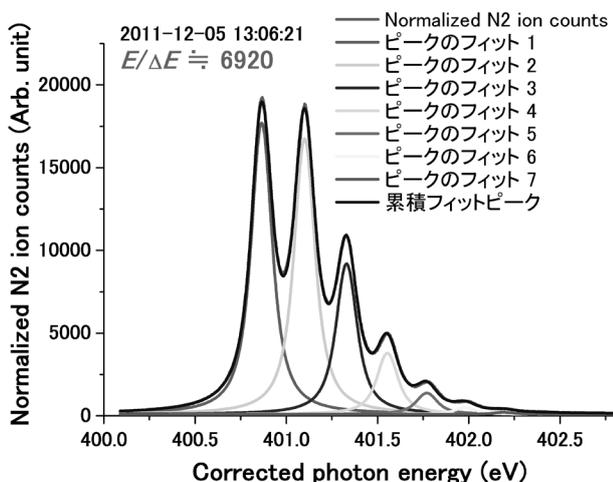


図4 N₂のN 1s → π* 遷移による吸収スペクトル。

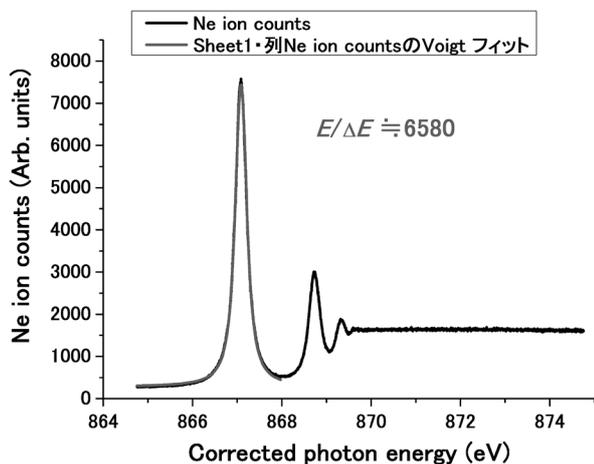


図5 Neの1s → 3p 遷移による吸収スペクトル。

($E/\Delta E$) の評価は Ar の $3s \rightarrow np$ 遷移による吸収スペクトル (図2), He の2重励起による吸収スペクトル (図3), N₂ の N $1s \rightarrow \pi^*$ 遷移による吸収スペクトル (図4), Ne の $1s \rightarrow 3p$ 遷移による吸収スペクトル (図5) から, 29 eV で $E/\Delta E \approx 19500$, 65 eV で $E/\Delta E \approx 13000$, 401 eV で $E/\Delta E \approx 6920$, 867 eV で $E/\Delta E \approx 6580$ とそれぞれ見積もりました。また, 光強度は設計値 [4] の1/3程度, 光エネルギー安定性は244.4 eVで0.02 eV以内, 91.2 eVで0.01 eV以内でした。

光エネルギーの表示値と実測値のずれは1000本/mmの回折格子, 244~870 eVの範囲で40 meV以内, 300本/mmの回折格子, 30~244 eVの範囲で200 meV以内に調整しました。

エンドステーション

BL-13Aには高分解能角度分解光電子分光装置 (SES-200, Scienta, 到達圧力 1×10^{-8} Pa, 最高分解能12 meV, (図6)が常設されており, 高分解能角度分解紫外光電子分光 (ARUPS), 高分解能内殻光電子分光, 高分解能軟X線吸収分光を行なうことができます。また, 準常設装置として, 高分解能内殻光電子分光装置 (Phoibos 100, 東大物性研, 吉信研究室所有), 放射光励起STM装置 (東大物性研, 長谷川研究室所有), 準大気圧光電子分光装置 (慶應大, 近藤研究室所有) があり, 活発に研究が行なわれています。最新の研究成果については, 本特集の他の記事を参照ください。今後は, アンジュレーターギャップと分光器の同時掃引, 光電子分光装置 SES200 と試料作製用チェンバーの改良などを進めてゆく予定です。詳細につきましては, 担当者 (間瀬一彦, 放射光科学第一研究系, mase@post.kek.jp) までお問い合わせください。また, 文献 [4], [5], 2011年7月12日に開催した表面化学ユーザーグループミーティングの議事録および資料 (<http://pfwww2.k2.kek.jp/pf-kondankai/kondan/UG/UGjyouhou.html>) にも詳しい報告を掲載しておりますので, 併せてご参照ください。

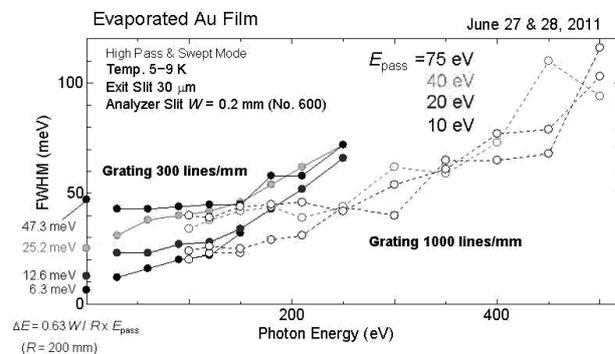


図6 BL-13Aの光電子分光装置 SES200の電子エネルギー分解能。

参考文献

- [1] 間瀬: PHOTON FACTORY NEWS 28(1), 13 (2010).
- [2] H. Tanaka, T. Kikuchi, A. Toyoshima, Y. Nagatani, T. Kosuge, K. Mase, F. Watanabe, and H. Nishiguchi, J. Vac. Soc. Jpn. 54, 481 (2011).
- [3] 田中宏和, 豊島章雄, 菊地貴司, 小澤健一, 間瀬一彦, 平成22年度熊本大学総合技術研究会報告集 p. 30 (02IV-3).
- [4] K. Mase, A. Toyoshima, T. Kikuchi, H. Tanaka, K. Amemiya, and K. Ito, AIP conf. proc. 1234, 709 (2010).
- [5] A. Toyoshima, H. Tanaka, T. Kikuchi, K. Amemiya and K. Mase, J. Vac. Soc. Jpn. 54, 580 (2011).