

動向

PF 軟 X 線斜入射分光ステーション
(BL-11A) 再構築の現状

北島 義典 (高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所)

1. はじめに

PF で放射光利用実験が始まってから15年にして、SPring-8 が稼働しようとしている。これに対して PF では、高輝度化のためのリング改造工事が進行中¹⁾であり、またそれに対応してビームラインの光学系を更新する、いわゆる“ビームラインの再構築”が進められている。本稿では、このうち軟 X 線斜入射回折格子分光ビームライン BL-11A において新光学系の性能評価実験が始まっているので、その現状を紹介する。なお、BL-11A の再構築は PF と東京大学大学院理学系研究科化学教室の太田俊明研究室との共同で、設計から立ち上げまでの作業が進められている。

2. 光学系

BL-11A がカバーする80-1500 eV の軟 X 線領域には、生命体を含む有機物の基本構成元素である炭素・窒素・酸素などの 1s 電子や鉄・ニッケル・銅など遷移金属の 2p 電子の結合エネルギーが含まれており、これらの元素を含む物質の内殻励起分光測定に用いられる予定である²⁾。特に偏向電磁石光源であることから、究極の分解能を目指すというよりは、できるだけ幅広いエネルギー範囲の利用が可能であること、炭素や酸素の EX-AFS 測定が行えるようにすることに重点をおいて分光器の設計を行った^{3,4)}。

新 BL-11A の光学系を図 1 に示すが、分光系は Monk-Gillieson 型斜入射分光器に不等間隔溝

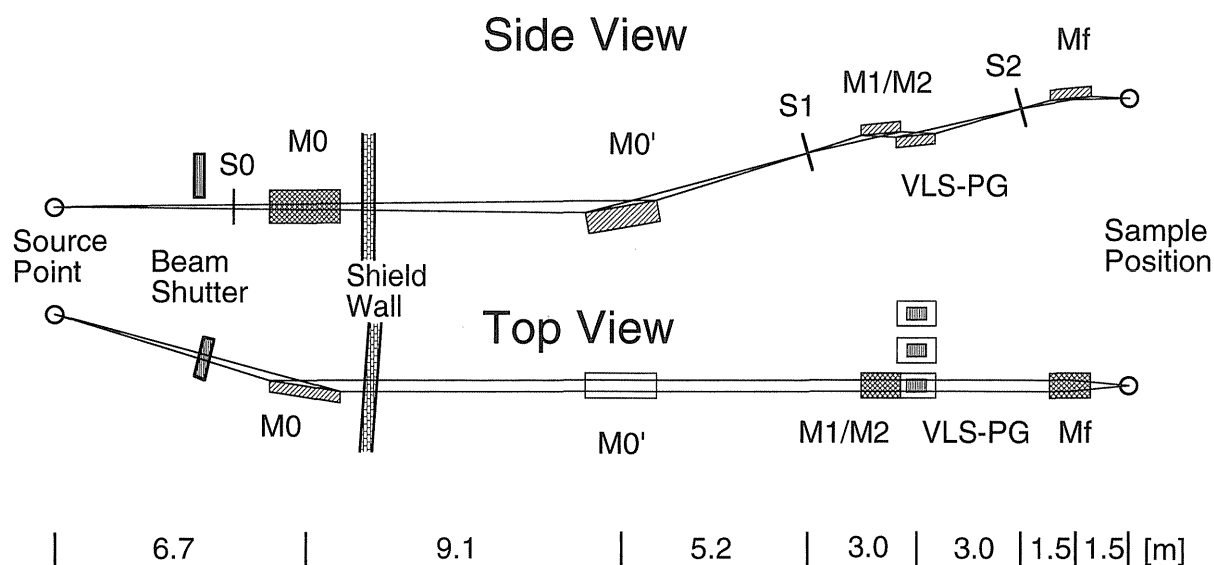


Figure 1. Layout of PF-BL-11A

平面回折格子を組み込んだもので、Hettrick-Koike型と呼ぶべきものである⁵⁾。88度入射の円筒鏡M0およびM0'で反射された放射光(水平方向の取り込みは最大5 mrad)は、入口スリットS1と出口スリットS2の間に置かれた球面鏡M1もしくはM2と不等間隔溝平面回折格子Gで構成される斜入射分光器で分光・収束され、後置トロイダル集光鏡Mfによって試料位置に再集光される。なお、S0は垂直方向の取り込みを制限するためのスリットである。

本分光器では、利用するエネルギー領域によって2種類の球面鏡M1/M2および3種類の回折格子(300 l/mm, 800 l/mm, 1200 l/mmを予定)を真空中で切り替え・調整する機構を備えており、最終的には80-1500 eVの利用が可能となる設計である。また、本分光光学系の特徴として、比較的長い領域にわたって安定に軟X線を供給するため、サインバーを用いた回折格子の回転のみによってエネルギー走査を行えるようになっている。このように機構が単純であるため、制御系も簡単なものとなっている。逆に言えば、このタイプの分光器の性能は回折格子それ自体の出来いにかかっているということであり、精度の高い回折格子が入手できるかどうか、最大の問題である。

3. 調整の現状

ここでは、初期の調整として3種類の回折格子(機械切り800 l/mmおよび300 l/mmと非球面波ホログラフィック露光800 l/mm)を用いて得られている性能について述べる。

既に報告してきた⁶⁾ように、最初に入手した機械切り800 l/mm回折格子(ブレード型)を用いて250-400 eV領域で設計時に目指した最高分解能(約5000)がほぼ達成され、光学素子と光学調整の精度が良好であることが確認できた。一方で、特に高エネルギー側では、いわゆる散乱光が混入してくることが避けられなかった。そこで非

球面波露光法によるホログラフィック回折格子(ラミナー型)⁷⁾を、機械切りとほぼ同じ溝間隔を持つように設計、製作した。

時間的な制約のため、まだ十分に調整を行ったとは言えないが、N₂分子の1s→π*励起領域において、機械切り回折格子とほぼ同様のスペクトルを得ることができた(図2)。

図3に、800 l/mmホログラフィック回折格子とM2の組み合わせによって得られた分光特性(金板からの光電流で測定)を示した。高エネルギー側で強度が完全になくなっており、散乱光の混入が極めて少ないことが確認された。また、実験条件が同一でないために厳密に比較することは困難であるが、強度の点でも機械切り回折格子よりも大きいように感じられる。この結果は、非球面波露光法によって極めて高精度のホログラフィック不等間隔溝回折格子が製作できていることを実証している。高精度であるが故に、高次回折の

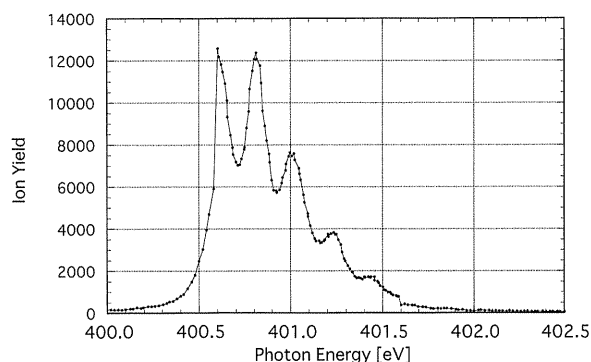


Figure 2. Spectrum of N₂ 1s→π* absorption measured at PF-BL-11A with an 800 l/mm holographic grating.

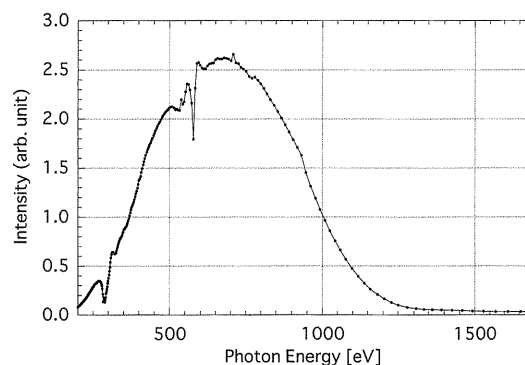


Figure 3. Photoyield spectrum from Au plate with the 800 l/mm holographic grating.

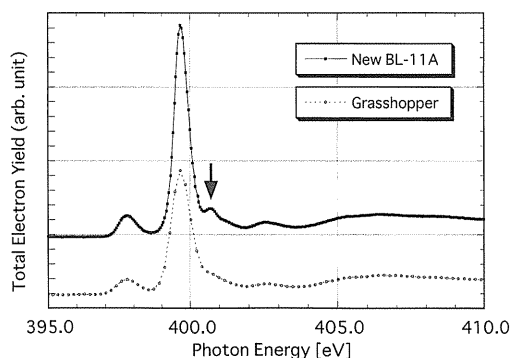


Figure 4. Nitrogen K-edge XANES spectra of TCNQ measured with the replaced and old monochromators at PF-BL-11A.

反射効率も高くなっているようで、データは示さないが、低エネルギー領域では高次光（2次および3次）が数%の割合で混入していることが明らかになり、何らかの対策が必要となっている。

300 l/mm 回折格子（機械切り）は時間切れでほとんど調整が行えていないが、低エネルギー側で80 eV までは単色光が得られることは確認できた。

4. スペクトル測定例

既に述べたように最高分解能を目指すような実験はアンジュレータ光源にはかなわない（例えばPFにおいても高分解能ステーションBL-2Cの立ち上げが進んでいる⁸⁾）ので、本ビームラインでは固体試料が主な研究対象となる。図4には、旧BL-11A（グラスホッパー分光器）との比較という意味で、TCNQの窒素K吸収端XANESスペクトルを示した。到達最高分解能がおよそ1000から4000以上に改善されたことによって第3 π^* ピーク（矢印）が明瞭に観測されている。また、同程度の分解能における強度の比較では、従来の数倍から数十倍になっていることが確認された。

大強度と幅広いエネルギー領域の利用の一例として、図5に単分子層の固体表面吸着分子の酸素K吸収端EXAFSスペクトルを示した。やっと日本国内でも、このようなスペクトルが測定できるようになったという訳である。

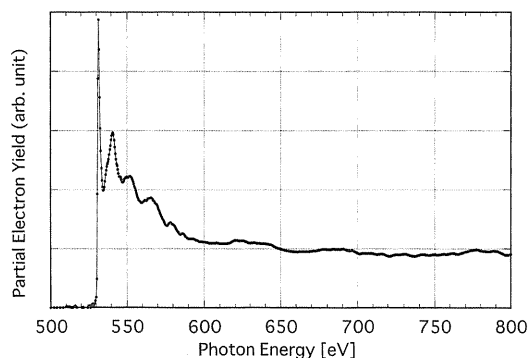


Figure 5. Oxygen K-edge EXAFS spectrum of submonolayer adsorbed CH_3O species on Ni(111).

5. おわりに

今年度より高エネルギー物理学研究所は、東京大学原子核研究所、東京大学理学部附属中間子科学研究センターと改組・転換して高エネルギー加速器研究機構が発足した。PFは従来の高エネルギー物理学研究所内の放射光実験施設から、高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所内の放射光研究施設となったが、全国の共同利用研究施設であることに何ら変更はない。現在PFで進められている高輝度化とARの高度化、それに対応するビームラインや実験装置の再構築は、これまで以上に特徴のある実験研究を推進できる共同利用施設となるためのものであって、BL-11Aの再構築もその一端を担えるものとなることを信じている。

文献

- 1) 加藤政博, 堀洋一郎: 放射光 **9**, 207 (1996).
- 2) 伊藤健二, 北島義典(編): 「ビームラインBL11の更新に関する研究会報告」 KEK Proceedings 94-4 (1994).
- 3) 「BL11再構築デザインレポート」 KEK Report 95-4 (1995).
- 4) K. Amemiya, Y. Kitajima, T. Ohta, and K. Ito: J. Synchrotron Radiation, **3**, 282 (1996).
- 5) 小池雅人: 放射光 **8**, 509 (1995).
- 6) 北島義典: PHOTON FACTORY NEWS **14**(2), 8 (1996).
- 7) T. Namioka and M. Koike: Appl. Opt. **28**, 4375 (1995).
- 8) 渡邊正満: PHOTON FACTORY NEWS **14**(4), 7 (1997).