

クロム蒸着光学素子の *In Situ* 炭素汚染除去 *In Situ* Removal of Carbon Contamination from Chromium Evaporated Optics

豊島章雄¹, 菊地貴司¹, 田中宏和¹, 間瀬一彦^{1,*}, 雨宮健太¹

¹放射光科学研究施設, 〒305-0801 つくば市大穂 1-1

Akio Toyoshima¹, Takashi Kikuchi¹, Hirokazu Tanaka¹, Kazuhiko Mase^{1,*}, and Kenta Amemiya¹

¹Photon Factory, 1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

炭素 *K* 吸収端領域ではクロム蒸着した光学素子の方が金蒸着した光学素子より反射率が大きく、高次光の比率が少ない。我々は 8.2×10^{-2} Pa の酸素を導入しながらクロム蒸着光学素子に非分光放射光を 60 分照射するという簡単な手法で、炭素汚染をほぼ完全に除去することに成功したので報告する。

1 はじめに

現在、真空紫外軟 X 線ビームラインでは光学素子の炭素汚染による炭素 *K* 吸収端での光量の低下が世界的に大きな問題となっている。従来の光学素子の炭素除去は、0.3-0.4 Torr の酸素雰囲気下での DC 放電[1]、大気圧下での UV 照射によるオゾン洗浄[2]、あるいは金の再蒸着が主流であった。しかし、いずれの方法でも

- 1) チェンバーを再ベークする必要があるが労力の負担が大きい。
- 2) DC 放電を行なう場合は真空槽内に電極を設置する必要がある。

といった問題があった。

そこで、我々は 1×10^{-2} Pa 以下の酸素導入下で光学素子に非分光放射光を照射することにより光学素子の炭素汚染を除去する手法[3]を採用し、BL-13A (図 1) のすべての光学素子の炭素汚染を除去した[4]。また、非分光放射光照射により生成する酸素原子、酸素イオンが炭素汚染除去に寄与することを示す結果を得た[4]。しかしながら本手法は、これまで金蒸着した光学素子にしか応用されてこなかった。炭素 *K* 吸収端領域ではクロム蒸着した光学素子の方が金蒸着した光学素子より反射率が大きく、高次光の比率が少ない。そこで我々は本手法をクロム蒸着光学素子に応用し、炭素汚染をほぼ完全に除去することに成功したので報告する。



図 1 : BL-13 の配置図。

2 酸素雰囲気下での非分光光照射による振分け鏡 Cr 面の炭素汚染除去

BL-13 の振分け鏡チェンバー (図 1 参照) に 8.2×10^{-2} Pa (6.2×10^{-4} Torr)、BL-13B の後置鏡チェンバー内に 1.6×10^{-1} Pa (1.2×10^{-3} Torr) の酸素を導入し、ID ギャップを 100 mm にして非分光光を BL-13 クロム蒸着振分け鏡、SES200 後置鏡 (M3B)、IO

メッシュに 60 分照射した。炭素汚染除去後は 4 時間程度でユーザービームタイムを再開できた。

3 振分け鏡炭素汚染除去前後の炭素 *K* 吸収端領域での BL-13B 光量スペクトル

振分け鏡炭素汚染除去実験前後の BL-13B における炭素 *K* 吸収端領域での光強度を、250~330 eV の範囲、0.2 eV 刻み、Gr : 1000 本/mm、第 1 後置鏡 (SES200 用)、振分け鏡 (Cr 面) の条件で、M3 電流、IO 電流、光量 (シリコンホトダイオードを使用) を測定した (図 2-4)。出射スリットは 100 μm 、 θ_{M2} は 4.4°、ID ギャップは 154 mm である。

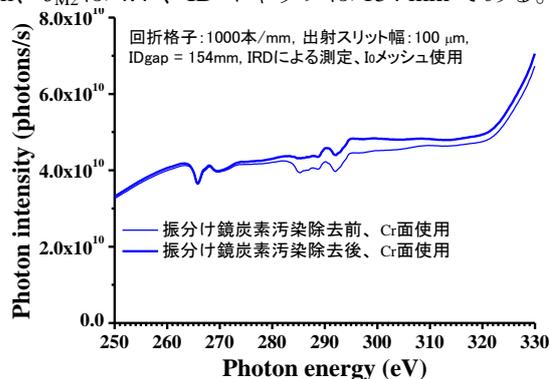


図 2 : 炭素汚染除去前後の炭素 *K* 吸収端領域での BL-13B の光量スペクトル。炭素汚染がほぼ除去されている。クロム蒸着振分け鏡の 266.4eV の吸収は 2 次光 (533 eV) が酸素に吸収されて生じている。

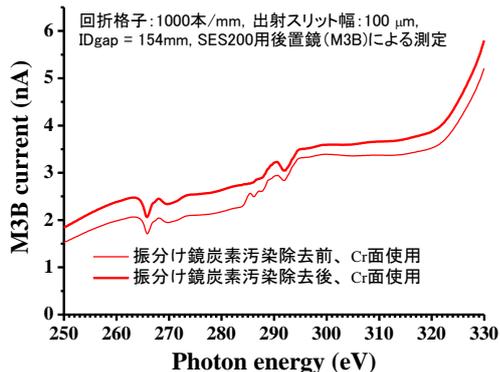


図3：炭素汚染除去前後の炭素 K 吸収端領域での BL-13B の SES200 用後置鏡 (M3B) 電流。炭素汚染がほぼ除去されている。

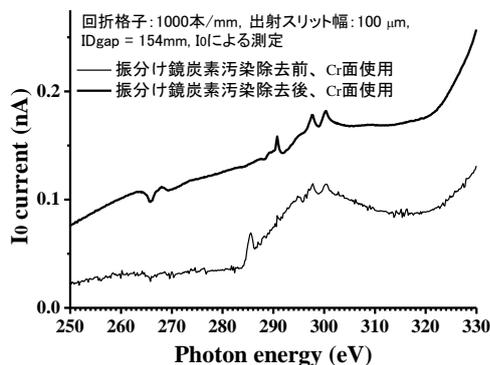


図4：炭素汚染除去前後の炭素 K 吸収端領域での BL-13B の I0 電流。炭素汚染除去前の 285.6 eV のピークはグラファイトの C 1s → π* 吸収に由来する。炭素汚染除去後は I0 電流値が大幅に増大していること、285.6 eV のピークが消失していることから、表面のグラファイトは除去されたと考えられる。炭素汚染除去後も観測された 290.8 eV、297.7 eV、300.3 eV のピークはメッシュ中の炭素に由来すると思われる。

4 炭素 K 吸収端領域での光量の規格化

真空紫外軟 X 線領域では M3B 電流値あるいは I0 電流値で光量の規格化が行なわれる。そこでクロム蒸着振分け鏡の炭素汚染除去後の炭素 K 吸収端領域での BL-13B の光量を M3 電流値あるいは I0 電流値で規格化した値のスペクトルを図5に示す。このスペクトルを用いると M3B 電流値あるいは I0 電流値から光量を求めることができる。

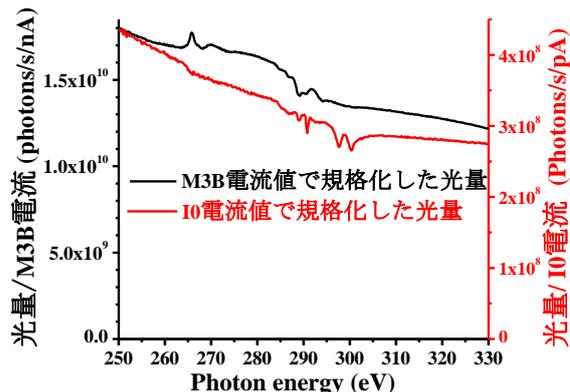


図5：クロム蒸着振分け鏡の炭素汚染除去後の炭素 K 吸収端領域での BL-13B の光量を M3 電流値あるいは I0 電流値で規格化した値のスペクトル。

5 振分け鏡炭素汚染除去前後の酸素 K 吸収端領域での BL-13B 光量スペクトル

振分け鏡炭素汚染除去実験前後の BL-13B における酸素 K 吸収端領域での光強度を、530~540 eV の範囲、0.2 eV 刻み、Gr : 1000 本/mm、第1後置鏡 (SES200 用)、クロム蒸着振分け鏡の条件で、M3 電流、I0 電流、光量 (シリコンホトダイオードを使用) を測定した (図6)。出射スリットは 100 μm、 θ_{M2} は 3.0°、ID ギャップは 154 mm である。炭素汚染除去後も光量はほとんど低下しなかった。この結果はクロム蒸着振分け鏡の酸化がほとんど進まないことを示している。

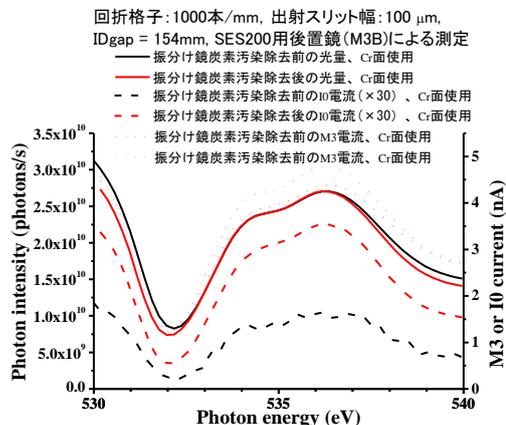


図6：炭素汚染除去前後の酸素 K 吸収端領域での BL-13B の光量と M3 電流、I0 電流。炭素汚染除去後も光量はほとんど変化しない。

6 酸素 K 吸収端領域での光量の規格化

クロム蒸着振分け鏡の炭素汚染除去後の酸素 K 吸収端領域での BL-13B の光量を M3 電流値あるいは I0 電流値で規格化した値のスペクトルを図7に示す。クロム蒸着振分け鏡を使った場合、酸素 K 吸収端領域では M3B 電流で規格化した方がよいことがわかった。

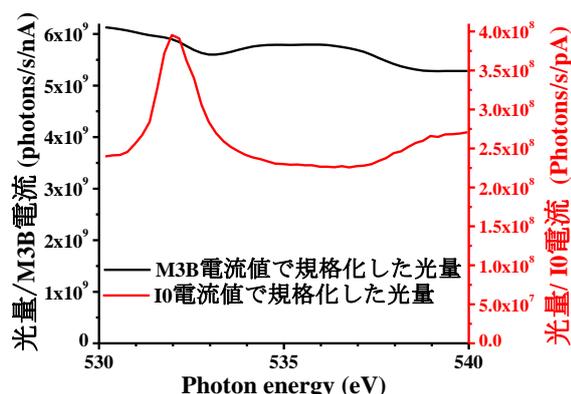


図 7：炭素汚染除去前後の酸素 K 吸収端領域での BL-13B の光量と M3 電流、I0 電流。炭素汚染除去後も光量はほとんど変化しない。

7 まとめ

酸素導入下での非分光光照射でクロム蒸着振分け鏡の炭素汚染はほぼ除去できた。炭素汚染除去後は 4 時間程度でユーザービームタイムを再開できた。また、後置鏡の炭素を除去すると後置鏡電流値を光量のモニターとして利用することができることがわかった。

謝辞

炭素汚染除去実験に協力してくださった本田融さん、浅岡聖二さん、宮内洋司さん（KEK-加速器第七研究系）、BL-13B のインターロックシステム、制御系の構築に尽力された小菅隆さん、濁川和幸さん、斉藤裕樹さん、永谷康子さん（KEK-PF）に感謝します。

参考文献

- [1] T. Koide, T. Shidara, K. Tanaka, A. Yagishita, and S. Sato, *Rev. Sci. Instrum.* **60**, 2034 (1989).
- [2] R. W. C. Hansen, *et al.*, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* **347**, 249 (1994).
- [3] W. K. Warburton and P. Pianetta, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* **319**, 240 (1992).
- [4] A. Toyoshima, T. Kikuchi, H. Tanaka, J. Adachi, K. Mase, and K. Amemiya, *J. Synchrotron Rad.* **19**, 722 (2012).

* mase@post.kek.jp