

軟 X 線用マイクロ・ナノ集光ミラー開発の現状

Current status of development of micro- and nano- focusing mirrors for soft x-rays

三村秀和^{1,*}

¹ 東京大学大学院工学系研究科

Hidekazu Mimura¹

¹Graduate school of engineering, The University of Tokyo

*mimura@edm.t.u-tokyo.ac.jp

硬 X 線用の集光ミラーに比べて、波長の長い軟 X 線用の集光ミラーの作製の方が難しいという事実は、多くの方にとって意外に思うかもしれない。現在、実際に軟 X 線を 100 nm 以下のサイズに集光可能な放射光用のミラーは入手することはできない。軟 X 線のナノ集光はゾーンプレートにより容易に可能であるため、世界を見渡しても、すべての軟 X 線のナノ集光のビームラインにはゾーンプレートが採用されている。しかしながら、硬 X 線領域と同様に軟 X 線領域においても、色収差がなく高効率という性能を有する集光ミラーの潜在能力は高く、ミラーによる軟 X 線ナノ集光技術が確立すれば、現在の状況が一変する可能性がある。

それでは、硬 X 線の集光ミラーと比べて何が違うか？図のように波長が長くなると光学系に必要な開口数（NA: Numerical Aperture）が大きくなる。その結果、軟 X 線用の集光ミラーの形状は、硬 X 線用のミラーの形状に比べて大きく湾曲する。さらに、入射角度の増加に伴い理想的に集光をするために必要な形状精度は硬 X 線用のミラーとほぼ同等である。この湾曲形状を高精度に作製することは、最先端の超精密加工技術を用いても困難である。

我々は、夏目光学株式会社、SACLA、SPRING-8 など、多くの技術者、研究者と共同で、この作製困難な軟 X 線用集光ミラーの開発を進めている。目指すは、高精度ミラーによる軟 X 線の理想的な回折限界集光である。これまで、いくつかの軟 X 線集光用のミラーを作製し、SPRING-8、SACLA において従来にない優れた集光性能を確認している [1]。さらに、ウォルターミラーによる結像イメージングにも成功している。その開発過程において、様々な新規のミラー製造技術の研究開発を行った。

本発表では、軟 X 線集光ミラーの開発の現状について報告し、それを踏まえた将来の軟 X 線ビームラインのマイクロ・ナノ集光光学系について議論したい。

$$\text{Diffraction Limited Focused Beam Size} \propto \lambda / \text{NA}$$

λ : wavelength, NA: Numerical aperture

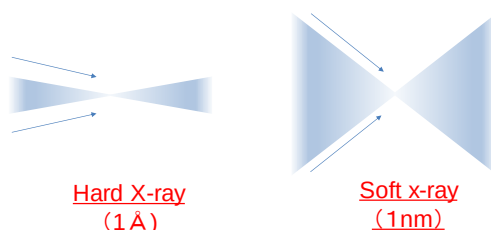


図 硬 X 線ナノ集光と軟 X 線ナノ集光の違い

[1] H. Mimura, et al., Fabrication of a precise ellipsoidal mirror for soft x-ray nanofocusing, Review of Scientific Instruments, 89, 093104 (2018).