

# 電子回折イメージング

郷原 一寿

北海道大学大学院 工学研究科 応用物理学専攻

## Electron Diffractive Imaging

Kazutoshi Gohara

Division of Applied Physics, Graduate School of Engineering, Hokkaido University

### <Synopsis>

A phase problem generally arises in measurements of waves; that is, the phase is generally missing while amplitude is observed as intensity. The problem has been studied in the fields of astronomy, optics, and both x-ray and electron microscopy. In materials science, the first instance of imaging using a soft x-ray diffraction pattern was presented by Miao et al. in 1999. This epochal result opens the door to structure analyses of non-crystalline materials without an objective lens. Following that, many related experiments were presented using different sources, such as x-ray, electron microscope, and tabletop light sources of laser. In the presentation, after reviewing a historical background of this field, we focus on a recent progress and the challenges of the electron diffractive imaging.

波の振幅の情報からフーリエ反復法により位相を回復する方法は、1980年代から異なる分野で用いられていたが、物質科学で近年注目されるようになったのは、1999年のMiaoらによる軟X線領域での回折イメージングの実験的検証を起点としている[1]。その後、X線領域では放射光源を用いた活発な実験的研究が続けられており、今後の発展が大いに期待されている[2,3]。この手法は、波一般に適用可能なことから、ド・ブROI波長を持つ電子でも実験が進められており[4,5]、最近、我々は低加速電圧での高空間分解能イメージングに成功し、この手法の低加速化の方向性を示した[6]。

理想的な回折（フラウンホファー回折）パターンが得られれば、解の一意性など基本的な問題が明らかでないにもかかわらず、この手法が実用に耐える事はこれまでに十分実証されて来ているが、今後実験によってどこまで理論的な回折限界に迫れるかは一つの大きな研究課題である。実験で得られる回折パターンの理想的なものからのズレの主な要因として、入射波の角度広がり（横コヒーレンス）・非弾性散乱波・検出器のダイナミックレンジなどが挙げられ、最終的には量子ノイズが残る。これらは、X線でも考慮すべきものであり、X線・

電子線領域での研究が融合することの必要性を示している。本研究会では、電子線領域の現状と我々の取り組みについて紹介する。

#### 参 考 文 献

- [1] J. Miao, P. Charalambous, J. Kirz and D. Sayre, “Extending the methodology of X-ray crystallography to allow imaging of micrometre-sized non-crystalline specimens,” *Nature*, 400, 342-344 (1999).
- [2] H. N. Chapman, et al, “Femtosecond Diffractive Imaging with a Soft-X-ray Free-Electron Laser,” *Nature Physics* 2, 839-843 (2006).
- [3] J. C. H. Spence, *Science of Microscopy* (eds P. W. Hawkes and J. C. H. Spence), Springer, New York (2007).
- [4] U. Weierstall, Q. Chen, J. C. H. Spence, M. R. Howells, M. Isaacson, and R. R. Panepucci, “Image reconstruction from electron and X-ray diffraction patterns using iterative algorithms: experiment and simulation,” *Ultramicroscopy* 90, 171-195 (2002).
- [5] J. M. Zuo, I. Vartanyants, M. Gao, R. Zhang, and L. A. Nagahara, “Atomic Resolution Imaging of a Carbon Nanotube from Diffraction Intensities,” *Science* 300, 1419-1421 (2003).
- [6] O. Kamimura, K. Kawahara, T. Doi, T. Dobashi, T. Abe and K. Gohara, “Diffraction microscopy using 20 kV electron beam for multiwall carbon nanotubes,” *Applied Phys. Lett.* 92, 024106 (2008).