

微細加工を活用したX線イメージング技術の高度化 / X線光学素子開発のための微細加工プロセスの検討

Advances in X-ray microscopy using microfabrication techniques / Investigation of Microfabrication Processes for X-ray Optics Development

Keywords

軟X線顕微鏡/Soft X-ray microscopy

電子線リソグラフィ/EB lithography

放射光/Synchrotron radiation

波場検出/Wavefield sensing

ユーザー氏名 / User's Name

木村 隆志^{1,2}, 竹尾 陽子^{1,2,3}, 島村 勇徳^{1,2,3}, 櫻井 快^{1,2,3}, 吉永 享太^{1,2,3}, 中田 勇宇^{1,2}, 永山 裕一^{1,2} / Takashi Kimura^{1,2}, Yoko Takeo^{1,2,3}, Takenori Shimamura^{1,2,3}, Kai Sakurai^{1,2,3}, Kyota Yoshinaga^{1,2,3}, Yu Nakata^{1,2}, Yuichi Nagayama^{1,2}
(¹東京大学, ²理化学研究所, ³高輝度光科学研究センター / ¹The University of Tokyo, ²RIKEN, ³Japanese Synchrotron Research Institute)

実施機関担当者 / Person in Charge of ARIM

三田吉郎, 藤原誠, 澤村智紀, 水島彩子, 太田悦子, 肥後昭男, 落合幸徳, Eric Lebrasseur, 三角啓, 島本直伸, 坪井伸二 / Yoshio Mita, Makoto Fujiwara, Tomoki Sawamura, Ayako Mizushima, Etsuko Ota, Akio Higo, Yukinori Ochiai, Eric Lebrasseur, Kei Misumi, Naonobu Shimamoto, Shinji Tsuboi
(東京大学 / The University of Tokyo)

概要 / Overview

超高速大面積電子線描画によって作製した高精度微細パターンを活用し、軟X線顕微鏡の高分解能・高感度化に不可欠な照明プローブの強度・位相分布を高精度に計測する技術を開発した。これにより、軟X線ミラー光学系のビームサイズ(約10 μm)と比較し、顕微鏡の空間分解能(50 nm以下)と感度(1 nm厚以下)の大幅な向上に成功した。物性分析に強みを持つ軟X線顕微鏡の利点を活かし、細胞内部の化学状態解析や微細構造内の磁区観察などにつなげ、材料・生命・半導体など多様な分野へ応用を広げている。

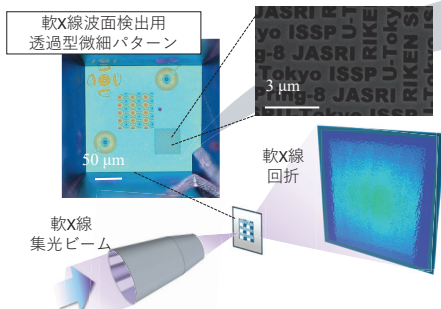
We developed a technique for precisely measuring the wavefield of illumination probes, which is essential for achieving high resolution and sensitivity in soft X-ray microscopy. The method uses high-precision nanostructures fabricated using electron-beam lithography. The spatial resolution (below 50 nm) and thickness sensitivity (below 1 nm) were significantly improved by the technique in comparison to the size of soft X-ray mirror optics. Leveraging the strengths of soft X-ray microscopy in the analysis of chemical states, this technique has applications in fields such as the life sciences and semiconductor technologies.

高精度微細パターンを活用した高分解能軟X線顕微鏡の開発

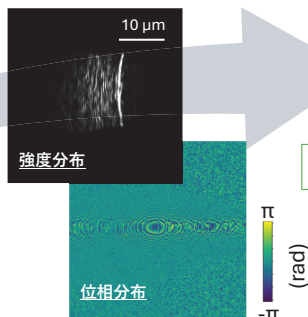
Development of a High-Resolution Soft X-ray Microscope Utilizing High-Precision Nanopatterns

軟X線回折を利用した照明プローブの計測

波長数nmの光を利用する軟X線顕微鏡では収差が大きな問題となる。高精度微細パターンからの軟X線回折をもとに正確な照明プローブの構造を求めた。

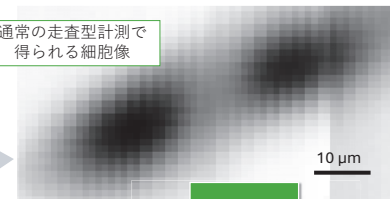


軟X線ミラーで得られる照明プローブの構造



照明プローブの構造情報を利用した細胞の超解像イメージング (*タイコグラフィ)

通常の走査型計測で得られる細胞像



超解像

照明プローブ情報をもとに再構成した高分解能細胞像



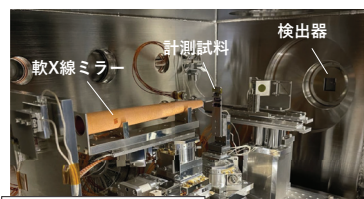
照明プローブサイズ

微細パターンで計測した照明プローブの強度・位相情報を利用することで、そのままでは識別困難な細胞内の微細構造を高分解能観察することが可能に!

軟X線顕微鏡の多様な物性イメージングへの展開

Expanding into Diverse Physical Property Imaging Using Soft X-Ray Microscopy

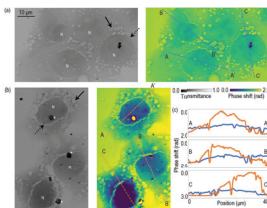
軟X線タイコグラフィ装置 CARROT



Coherent Achromatic Rotational Reflective Optics for pTychography

大型放射光施設 SPring-8

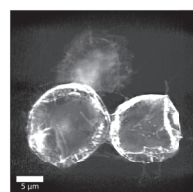
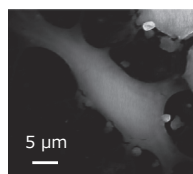
薬剤ストレスに伴う細胞内構造変化の可視化



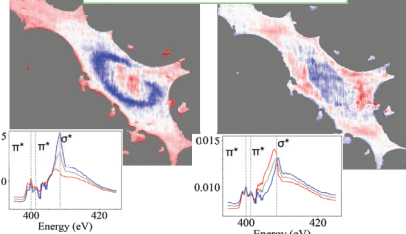
海洋性プランクトン1細胞の元素定量計測

注葉内部の酸素含有量
上: 6.4 pg, 左: 21.9 pg, 右: 23.4 pg
(1 pg = 10⁻¹² g)

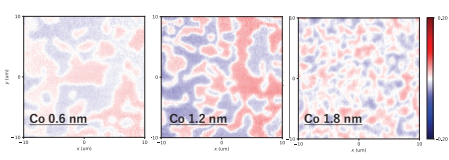
細胞内の元素特異的電子状態マッピング



細胞内窒素の電子状態マッピング



磁性薄膜中の磁区構造イメージング



- 1) T. Kimura, et al., Opt. Express 30, 26220 (2022).
- 2) Y. Takeo, et al., J. electron spectros. relat. phenomena. 267, 147380 (2023).
- 3) S. Egawa, et al., Optica, 11(6), 736 (2024).
- 4) K. Sakurai, et al., Appl. Phys. Lett. 126, 043702 (2025).
- 5) J. T. O'Neal, et al., Submitted.

CONTACT

担当者名: 木村 隆志 / Takashi Kimura
所属機関: 国立大学法人東京大学 / The University of Tokyo
URL: <https://tkimura.issp.u-tokyo.ac.jp/wp/>

