

X-Ray Optics

エックス線光学

I X線顕微鏡の開発と物質・生命科学への応用研究

Development of X-ray Microscopes and the Applications to Material and Life Sciences

籠島 靖
Kagoshima, Y.

物質機能の基盤となる空間階層構造を高い時空間分解能で可視化することを目指し、X線光学素子および光学系の開発とX線顕微イメージングへの応用を展開している。材料や生体の機能メカニズムの理解には、対象の構造をマクロな構造から電子状態に至るまで広い空間スケールに亘って可視化することが重要である。これまでに、SPring-8 兵庫県 ID ビームライン BL24XU において、ゾーンプレートを用いた走査型 X 線顕微鏡や広視野結像型 X 線顕微鏡を開発し、高度化を進めている。走査型顕微鏡では、蛍光 X 線による極微量元素空間分布と広角 X 線回折による局所構造分布をサブミクロン分解能で同時マッピング可能とし、様々な機能性材料の構造解析へ応用した。結像型顕微鏡では、特に密度差の小さい試料において、デフォーカス撮像法と波動光学計算を組み合わせることで従来法より数倍高い空間分解能かつ自然なコントラストでイメージングできることを見出し、実用化を進めている。

回折限界サイズの X 線集光ビームを生成する場合やコヒーレント X 線回折イメージング法などを行う場合、入射 X 線ビームのビーム特性を評価しておくことが重要である。現在、ビーム特性として位相空間 (phase space) のマッピング測定に関する研究を行っている。これにより、入射 X 線ビームの水平・鉛直両方向のエミッタンスを実験的に求めることを目指している。さらに、焦点深度の拡大を可能とする新しいタイプの ZP として逆位相コンポジットゾーンプレートの発案・設計・性能シミュレーションを進めている。

II 電子材料等の局所構造に関する研究

Studies of Microstructure of Electronic Device Materials

津坂佳幸
Tsusaka, Y.

半導体をはじめとする最近の電子デバイスの構造は、超高集積回路や高速光通信素子に代表されるように極めて微細かつ複雑になりつつある。これらの構造を構築するには、表面酸化、エッチング等の局所加工、薄膜堆積など各種のプロセスが必須である。デバイスサイズの縮小化によって結晶構造や応力の分布もまた多様化しており、局所的な解析が不可欠となりつつある。本研究は平面波マイク

ロビームを形成し、数ないし $1\ \mu\text{m}$ の位置分解能をもって局所歪みなどの空間分布を測定することを目的としている。これにより将来の我が国の産業を支える電子デバイスの発展、プロセス改良に寄与するための基礎研究を行う。

現在 SPring-8 の兵庫県 ID ビームライン(BL24XU)において、高精度 X 線回折計を組み合わせた装置の開発・改良を進めており、これまでに縦 $0.4\ \mu\text{m}$ 、横 $1.1\ \mu\text{m}$ 、水平面内発散角 $40\ \mu\text{rad}$ の平面波マイクロビームの形成に成功し、シリコン基板上の酸化膜境界付近や多波長発光素子などのロックアップカーブ測定、逆格子空間マップ測定にも成功している。また、CMOS カメラを利用した多波近似条件近傍での明視野トポグラフィの開発もあわせて進めている。これらの結果は電子デバイスに関する新しい情報を提供しており、本研究の今後の進展が期待される。

発表論文 List of Publications

- I-1 Y. Takayama · Y. Kagoshima: Noise tolerance of a sub-pixel shift method for upsampling diffraction patterns in coherent X-ray diffraction imaging, *Japanese Journal of Applied Physics* **63**, 038001 (2024)
- I-2 Y. Kagoshima · Y. Takayama: Practical design of the inverse-phase composite zone plate for improved depth of focus, *Proceedings of the 15th International Conference on X-Ray Microscopy (XRM 2022), AIP Conf. Proc.* **2990**, 030002 (2023)
- I-3 千原 直也, 籠島 靖: X 線用コンポジットゾーンプレートの結像特性シミュレーション, 第 37 回日本放射光学学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 2024 年 1 月, 姫路.
- II-1 Y. Yao · Y. Tsusaka · K. Hirano · K. Sasaki · A. Kuramata · Y. Sugawara · Y. Ishikawa: Three-dimensional distribution and propagation of dislocations in β -Ga₂O₃ revealed by Borrmann effect X-ray topography, *J. Appl. Phys.* **134**, 155104 (2023)

物質科学専攻

博士前期課程

千原直也: コンポジットゾーンプレートをを用いた X 線顕微鏡光学系における
結像特性シミュレーション

早瀬大貴: GaN 結晶中の酸素濃度の格子定数への影響

八坂 亘: アンジュレーター放射光の位相空間ビーム特性評価に関する研究

科学研究費補助金等

- 1 科学研究費補助金 (令和 5 年度-令和 7 年度) 基盤研究 (C) 課題番号: 23K11705

研究課題 X 線用深焦点ゾーンプレートの原理実証と深焦点内波動伝播結像シミュレーション

研究代表者 籠島 靖