

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 Their Applications to Material and Life Sciences

高野秀和・籠島 靖・津坂佳幸

Takano, H., Kagoshima, Y., Tsusaka, Y.

物質・生体・プラズマあるいは天体における構造や生起する現象を原子レベルで解明するには、軟 X 線から硬 X 線領域での、空間的・エネルギー的・時間的に高い分解能による計測が不可欠である。それには高性能の X 線光学素子や光学系の開発が重要である。最近の X 線光学素子や光学系に関する研究の進捗は著しく、10 keV 近傍の X 線領域でサブ-100 nm の空間分解能が容易に得られるようになっている。

我々のグループも SPring-8 の兵庫県 ID ビームライン(BL24XU)において、タンタル製位相ゾーンプレートを集光素子に用いてサブ-100 nm のマイクロビームの形成に成功しており、このマイクロビームを用いた X 線顕微鏡システムを開発しその高度化と応用研究を進めている。産業応用を主な目的として、生体試料中の極微量元素の定量分析とその空間分布マッピング測定、微小領域の回折実験による半導体素子の歪み解析や高分子材料の結晶構造解析等への応用を展開している。さらに将来 10 nm 以下の空間分解能を実現するために、新しい X 線レンズの開発も進めている。

一方、マイクロイメージング研究についての研究も行っている。従来より進めている結像型 X 線顕微鏡の開発のみならず、時間分解能向上へのアプローチも行っている。高速 CMOS センサーを利用したミリ秒オーダーでの X 線画像システムを開発し、これを応用したサブ秒オーダーでの X 線マイクロ CT や、物体内部のダイナミクスをリアルタイムで捉える 4 次元 CT を実現している。

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・高野秀和・籠島 靖

Tsusaka, Y., Takano, H., Kagoshima, 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 μ 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(BL24XU9)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 mm、横 1.1 mm、水平面内発散角 40 mrad 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測定、逆格子空間マップ測定にも成功している。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。

III 兵庫県放射光研究施設の管理・運営

Management of the Hyogo Prefectural Beamline in SPring-8

籠島 靖・津坂佳幸・高野秀和
Kagoshima, Y., Tsusaka, Y. Takano, H.

兵庫県は、第 3 世代大型放射光源 SPring-8 に硬 X 線アンジュレータ型挿入光源のビームライン（兵庫県 ID ビームライン；BL24XU）を設置した。これは、SPring-8 で得られる高輝度 X 線を用いて初めて達成できる高輝度マイクロビームに関する装置技術の開発研究を中心に据え、放射光関連の新産業の創造や革新的な医療技術の開発と、高輝度放射光利用研究の産業界への普及を図ることを目的としている。また、SPring-8 の特色を生かした研究課題を材料とバイオ・メディカル分野から選択して、産学官の研究者・技術者の参画を得たプロジェクト研究を実施し、放射光研究者・技術者層の拡大も目指している。本講座は、兵庫県ビームラインの管理運営を兵庫県ナノテク研究所と協力して行っている。

発表論文 List of Publications

- I-1 T. Koyama, H. Takano, S. Konishi, T. Tsuji, H. Takenaka, S. Ichimaru, T. Ohchi and Y. Kagoshima, Circular multilayer zone plate for high-energy x-ray nano-imaging, *Rev. Sci. Instrum.* **83** (2012) 013705 (4 pages).
- I-2 T. Koyama, H. Takenaka, S. Ichimaru, T. Ohchi, T. Tsuji, H. Takano and Y. Kagoshima, Development of multilayer Laue lenses; (1) linear type, *AIP Conf. Proc.* **1365**, (2011) 24-27.
- I-3 T. Koyama, T. Tsuji, H. Takano, Y. Kagoshima, S. Ichimaru, T. Ohchi and H. Takenaka, Development of multilayer Laue lenses; (2) circular type, *AIP Conf. Proc.* **1365** (2011) 100-103.
- I-4 H. Takano, T. Hashimoto, T. Tsuji, T. Koyama, Y. Tsusaka and Y. Kagoshima, New

- nanoscale imaging with a simple hard X-ray nanoslit, AIP Conf. Proc. **1365** (2011) 297-300.
- I-5 H. Takano, Y. Kagoshima and T. Tsuji, New x-ray nanofocusing devices based on total-reflection zone plates, Proc. SPIE **8139** (2011) 81390D (9 pages).
- I-6 H. Takano, T. Tsuji and Y. Kagoshima, Total-reflection zone plate as a new device for X-ray nanofocusing, Advances in X-ray/EUV Optics and Components VI, as part of the SPIE International Symposium Optics and Photonics, 21-25 August 2011, San Diego, California, USA.
- I-7 高野秀和・北濱里奈・中山裕貴・小西繁輝・森川美穂・東 宏昭・下村 翔・辻 卓也・小山貴久・津坂佳幸・籠島 靖:「エッジ回折効果を利用した X 線ナノイメージング法の開発」、第 11 回 X 線結像光学シンポジウム、2011 年 11 月、東北大学。
- I-8 籠島 靖・高野秀和・竹田晋吾:「傾斜式微小プリズムアレイ X 線粗集光素子の開発」、第 11 回 X 線結像光学シンポジウム、2011 年 11 月、東北大学
- I-9 森川美穂・小西繁輝・東 宏昭・下村 翔・高野秀和・津坂佳幸・籠島 靖、「高速 X 線マイクロ CT 光学系の開発とダイナミクス測定への応用」、第 11 回 X 線結像光学シンポジウム、2011 年 11 月、東北大学
- I-10 東 宏昭・下村 翔・小西繁輝・森川美穂・高野秀和・津坂佳幸・籠島 靖、「結像型硬 X 線暗視野顕微鏡光学系の開発」、第 11 回 X 線結像光学シンポジウム、2011 年 11 月、東北大学
- I-11 小西繁輝・小山貴久・辻 卓也・森川美穂・東 宏昭・下村 翔・高野秀和・津坂佳幸・籠島 靖・市丸 智・大知渉之・竹中久貴:「CT 再構成法による X 線円形多層膜ラウエレンズの集光特性評価」、第 11 回 X 線結像光学シンポジウム、2011 年 11 月、東北大学
- I-12 下村 翔・東 宏昭・小西繁輝・森川美穂・高野秀和・津坂佳幸・籠島 靖:「SPRING-8 BL24XU における走査型 X 線顕微鏡の開発」、第 11 回 X 線結像光学シンポジウム、2011 年 11 月、東北大学
- I-13 高野秀和・辻 卓也・籠島 靖:「X 線ナノ集光用全反射ゾーンプレートの開発」、第 25 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、2012 年 1 月鳥栖市民文化会館・中央公民館
- I-14 小西繁輝・小山貴久・辻 卓也・森川美穂・東 宏昭・下村 翔・高野秀和・津坂佳幸・籠島 靖・市丸 智・大知渉之・竹中久貴:「CT 再構成法による X 線円形多層膜ラウエレンズの集光特性評価」、第 25 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、2012 年 1 月鳥栖市民文化会館・中央公民館
- I-15 森川美穂・小西繁輝・東 宏昭・下村 翔・高野秀和・津坂佳幸・籠島 靖:「高速 X 線マイクロ CT 光学系の開発とダイナミクス測定への応用」、第 25 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、2012 年 1 月鳥栖市民文化会館・中央公民館
- I-16 籠島 靖・高野秀和・竹田晋吾:「放射光 X 線ビームライン用粗集光素子の開発」、第 25 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、2012 年 1 月鳥栖市民文化会館・中央公民館

大学院物質理学研究科

博士前期課程

- 荒井美智子：平面型 X 線導波路の研究およびラウエレンズ型 X 線導波路の設計
衣笠陽揮：フォトニクス用梁状 Si の結晶性評価
小西繁輝：CT 再構成法による X 線円形多層膜ラウエレンズの集光特性評価
森川美穂：高速 X 線マイクロ CT 光学系の開発およびダイナミクス測定への応用
東 宏昭：結像型 X 線顕微鏡に関する研究
澤田沙希：X 線導波路ラウエレンズに関する研究
下田麻由：窒化ガリウム基板の結晶性評価
下村 翔：走査型 X 線顕微鏡に関する研究

科学研究費補助金等

- 1 科学研究費補助金（平成 21～23 年度） 基盤研究(C) 課題番号 21604006
研究課題 放射光 X 線用ソフトフォーカシング光学素子の開発
研究代表者 籠島 靖
- 2 科学研究費補助金（平成 23～26 年度） 基盤研究(C) 課題番号 23510121
研究課題 X 線ナノ集光用全反射型ゾーンプレートの開発
研究代表者 高野秀和