

**研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラム**  
**シーズ育成タイプ 事後評価報告書**

研究開発課題名	: 高精度反射結像レンズを用いた nm スケール分解能 X 線顕微鏡の開発
プロジェクトリーダー	: 株式会社リガク
所属機関	: 株式会社リガク
研究責任者	: 松山 智至 (大阪大学)

## I. 研究開発の目的

近年の半導体素子における微細な構造や各種複合材料などの混合状態、生物研究における細胞内などを nm スケールで観測し、基礎研究や産業応用に役立てることを目的に、反射型の X 線レンズを用いた高分解能 X 線顕微鏡を開発する。また、これを放射光だけでなく実験室の X 線源にも適用することにより、広く研究機関や産業界に普及することを目指す。特に、半導体素子の構造評価においては、基板となる Si ウェーハを透過することにより、非破壊での製造工程管理にも適用可能となる。そのためには、透過力の高い高エネルギー X 線を用いた観測が必要となる。それに対し高い効率を実現できる多層膜コート反射 X 線レンズを開発し、実験室における高輝度線源と組み合わせた高エネルギー X 線顕微鏡を実現する。

## II. 研究開発の概要

### ① 実施概要

強い物質透過力を持つ波長 0.1 nm 前後の X 線を用いた顕微鏡の開発を実施した。それを実現するために、高い効率が期待されるが、従来加工が困難と考えられていた反射型の結像レンズの開発を進めた。その際、高い開口数 (NA) を実現するため、レンズ表面に多層膜を積層したエネルギー 8.05 keV の X 線に対応した反射レンズを作製することに成功、放射光において、分解能 30 nm を達成した。そのレンズを実験室の高輝度照射光学系と組み合わせた測定評価を行い、50 nm に迫る分解能を実現した。また、CT 測定において、回転時における画像ブレ補正を適用し、直径が約 200 nm の繊維が複雑に絡み合った高分子フィルムの 3 次元可視化に成功した。

### ② 今後の展開

本プロジェクトにおける研究成果として、nm 分解能をもつ反射結像レンズによる X 線顕微鏡の基本性能を、放射光における実験によって実証することができた。また、この反射結像レンズが実験室においても有効であることを確認した。今後の実用化・製品化に向けては、レンズの高精度なアライメント方法の確立とともに照射光学系の更なる高輝度化による測定時間の短縮、システムの安定化などが課題である。

## III. 総合所見

優れた成果が得られており、イノベーション創出が大いに期待できる。

分解能 20nm という当初に設定した目標値には至らなかったが、色収差のない X 線顕微鏡において世界最高レベルの空間分解能を実現したことは高く評価できる。とりわけ、放射光設備に制限されることなく実験室にて分解能 50nm の X 線顕微鏡実現の見通しが得られた点は特筆に値する。

製品化に向けて克服すべき具体的な課題が明らかになり、それを踏まえた今後の開発計画も戦略的に検討されていて、実用化目標の達成に目処がついた。本技術により、これまで不可能であった nm スケールでの半導体素子の微細構造や生物学研究における細胞内観察等が可能になり、基礎研究や産業応用においてイノベーション創出に寄与することが期待される。非破壊検査市場の開拓など、ビジネス展開のあらゆる可能性にチャレンジして頂きたい。

今後、本技術が広く展開されて我が国の研究開発力、産業競争力の向上に繋がることも期待したい。

以上