

Title	軟X線顕微鏡の開発とその結像特性に関する研究
Author(s)	堀川, 嘉明
Citation	大阪大学, 1995, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/39630">https://hdl.handle.net/11094/39630</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a>〉</a> をご参照ください。

***Osaka University Knowledge Archive : OUKA***

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	堀 川 嘉 明
博士の専攻分野の名称	博 士 ( 工 学 )
学位記番号	第 1 2 0 2 8 号
学位授与年月日	平成 7 年 5 月 3 1 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文名	軟 X 線顕微鏡の開発とその結像特性に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 河田 聡 教授 志水 隆一 教授 一岡 芳樹 教授 後藤 誠一

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、高解像軟 X 線結像光学系や小型高輝度軟 X 線光源などの要素技術と軟 X 線顕微鏡の開発、および結像特性に関する研究成果をまとめたもので、7 章から構成されている。

第 1 章序論では、本研究の背景、従来の研究の問題点、および本研究の目的と概要について述べている。

第 2 章では、部分的コヒーレント結像論を軟 X 線結像光学系の結像特性の解析に導入し、照明系も含めた軟 X 線顕微鏡の結像特性を解析している。そして、軟 X 線領域で通常用いられる輪帯瞳光学系においては、その掩蔽率の違いによって解像力特性が大きく異なることを明らかにしている。次に、上記結像特性の検討結果と実際に製作した場合に得られる解像力の観点から本研究で取り扱う対物レンズをシュヴァルツシルト型に選定している。更に、シュヴァルツシルト型対物レンズの結像性能を十分に引き出すのに最適な斜入射型コンデンサを提案し、シュヴァルツシルト型軟 X 線顕微鏡の光学系をコンデンサを含めて最適に構成している。

第 3 章では、シュヴァルツシルト光学系の設計法、製作法及び評価法について述べている。製作誤差の影響の受けにくい非共心型光学系と高精度アライメント装置を提案し、評価用には小型の軟 X 線反射率測定器と結像特性評価装置を新たに開発している。そして、半値幅 35nm の点像分布関数を有するほぼ設計値通りの対物レンズを試作し、提案した設計法製作法の有効性を実証している。

第 4 章では、通常の研究室で使える小型の高輝度軟 X 線源の開発について述べている。レーザープラズマを用いた軟 X 線光源を試作して輝度を測定し、市販の小型 YAG レーザでも軟 X 線顕微鏡に使用できる高輝度の光源が実現できることを示している。

第 5 章では、第 2 章で提案している軟 X 線顕微鏡を試作し評価を行っている。そして可視光顕微鏡よりも一桁近く優れた 50nm の解像限界を達成している。更に、軟 X 線画像を高感度で検出できる積層型の固体撮像素子を提案し、試作及び定量的評価を行い有効性を示している。

第 6 章では、軟 X 線領域で生物試料がどの程度のコントラストで観察可能か、実際に微細構造モデルを仮定し検討している。「水の窓」以外にも有効な波長領域があることを指摘している。

第7章総括では、以上の結果を要約し、本研究で得られた主たる結論について総括している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、軟X線顕微鏡の実用化を目的とし、高解像軟X線結像光学系や小型高輝度軟X線光源などの要素技術と軟X線顕微鏡の開発、および結像特性に関する一連の研究成果をまとめたもので、その主な成果を要約すると次の通りである。

- (1) 部分的コヒーレント結像論を軟X線光学系の解析に導入し、軟X線領域で通常用いられる輪帯瞳を有する対物レンズを用いた顕微鏡光学系の結像特性を明らかにしている。輪帯瞳光学系においては、その掩蔽率の違いによって解像力特性が大きく違うことを見出している。
- (2) シュヴァルツシルト型対物レンズの結像特性を十分に引き出すのに最適な斜入射型コンデンサを提案し、シュヴァルツシルト型軟X線顕微鏡の光学系をコンデンサを含めて最適に構成している。
- (3) 製作誤差の影響を受けにくい非共心型のシュヴァルツシルト光学系とレーザ反射を用いた高精度アライメント装置を提案している。対物レンズを試作し半値幅35nmの点像分布関数を有するほぼ設計値通りの高解像軟X線対物レンズが得られることを実証している。
- (4) 測定波長範囲が広く、かつ直入射での反射率が測定可能な小型軟X線反射率測定器を開発している。
- (5) 小型レーザを用いた軟X線光源を試作し、結像光学系で重要となる軟X線の輝度を測定し、市販の小型レーザでも軟X線顕微鏡に使用できる輝度の光源ができることを実証している。また、「水の窓」領域の軟X線の発生にはNbターゲットが優れていることを示している。
- (6) レーザプラズマ光源を用いたシュヴァルツシルト型軟X線顕微鏡を試作し、軟X線顕微鏡は可視光顕微鏡より高いコントラストが得られることを示すと共に、可視光顕微鏡よりも一桁近く優れた50nmの解像力を達成している。
- (7) 軟X線領域で生物試料がどの程度のコントラストで観察できるか、微細構造モデルを仮定し検討を行い、「水の窓」以外にも有効な波長領域があること、また、試料に吸収のある軟X線領域で位相差観察を行う場合、ダークコントラスト法が優れていることを示している。

以上のように、本論文は、部分的コヒーレント結像論の軟X線光学系解析への導入により軟X線顕微鏡光学系を最適に構成し、非共心型シュヴァルツシルト光学系の提案、小型高輝度光源などの要素技術の開発により、可視光顕微鏡よりも一桁近く高い解像力の軟X線顕微鏡を実現したもので、応用物理学、特に軟X線結像光学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。