

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 佐藤公法

可視光領域において、物質と偏光の相互作用を利用したイメージング手法は、多結晶物質の結晶粒の観察、磁性体の磁区構造の観察などの手段として広く普及している。最近、軟 X 線領域では、X 線円二色性(XMCD)に光電子顕微鏡(PEEM)やフレネルゾーンプレートを組み合わせた偏光コントラストイメージングが報告されており、磁性マイクロ構造の研究などで世界的に注目されている。

これに対して、硬 X 線領域での X 線偏光コントラストイメージングは未だ報告されていない。硬 X 線偏光コントラストイメージングは、軟 X 線と同様に元素選択的な測定が可能であるばかりでなく、高い透過能力を利用して表面でなくバルクの元素の磁性についての情報を得ることができる。また、軟 X 線に較べて、大気中での実験を容易にするなど、試料まわりの自由度が大きいという利点も考えられる。さらに、トモグラフィーの手法を取り入れれば、3次元空間での磁性構造の研究を行うことも可能になる。

硬 X 線領域での偏光コントラストイメージングが軟 X 線領域に比べて困難である主な理由は、X 線二色性シグナルが軟 X 線領域に比べて約二桁小さいということが挙げられる。このため、試料の厚さ不均一などがある場合、X 線偏光コントラストを抽出することが困難であった。例えば、X 線直線二色性の場合、直線偏光に対して試料を回転させるような従来の方法では、試料の厚さ不均一の影響を取り除くことができない。また、試料と検出器を同時に回転した場合、入射 X 線ビームの強度不均一が問題となる。電子ビームの軌道面の上下で得られる円偏光 X 線を用いる X 線円二色性の場合も、ビーム強度不均一のために、試料の厚さ不均一を取り除くことはできない。本論文は、このような問題を解決するために、2枚の透過型 X 線移相子を用いた偏光スイッチング光学素子と高分解能 CCD 型 X 線検出器を組み合わせた硬 X 線偏光コントラストイメージング法の開発とその応用について述べたものである。

第1章は、序論として研究背景と目的について述べられている。

第2章は、X 線領域における偏光現象を紹介している。

第3章は、著者らが開発した高分解能 CCD 型 X 線検出器について述べられている。高分解能 CCD 型 X 線検出器の空間分解能劣化の大きな原因として、X 線を可視光に変換する際に用いられる蛍光体が考えられる。従って、様々な蛍光体について、材質、塗布方法、

基板などを変化させて空間分解能、感度、発行の不均一性の観点から評価を行っている。

第4章は、第3章で開発した高分解能 CCD 型 X 線検出器に非対称反射型 Si(111)結晶拡大器を組み合わせた結晶拡大器付き高分解能 CCD 型 X 線検出器の性能評価について述べている。結晶拡大器と組み合わせることで、空間分解能が約 $1\mu\text{m}$ まで向上している。さらに、結晶の回折と距離に起因するボケを考慮することで、得られた値が結晶拡大器を用いて得られる空間分解能の限界値を測定していることを明らかにしている。

第5章は、上記の高分解能 CCD 型 X 線検出器に加えて、硬 X 線偏光コントラストイメージングに重要な役割を担う放射光、X 線偏光子、透過型 X 線移相子について述べている。透過型 X 線移相子については、硬 X 線偏光コントラストイメージングに用いた光軸収差を補償する二象限移相子の原理について説明している。

第6章は、X 線検光子を用いる干渉型 X 線偏光コントラストイメージングの可能性について述べている。

第7章は、硬 X 線領域における X 線自然直線二色性(XNLD)偏光コントラストイメージングの実験とその結果、および XNLD イメージに見られる統計揺らぎについて考察を与えている。

第8章は、硬 X 線領域における X 線磁気円二色性(XMCD)偏光コントラストイメージングの実験とその結果について述べている。

第9章は、硬 X 線領域における X 線磁気直線二色性(XMLD)偏光コントラストイメージングの実験とその結果について述べている。ここでは、磁気テープに記録された磁区ドメインのイメージングが行われている。

第10章は、まとめと将来の展望について述べている。

以上をまとめると、硬 X 線領域における偏光現象のイメージングは、本研究によって始めて測定が可能になったといえる。この測定技術は、今後、磁性材料や生体試料を対象とした応用が期待され、物理工学への寄与は非常に大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。