

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 草野 修治

蛍光X線ホログラフィは、原子分解能をもったモデルフリーな局所構造解析手法である。蛍光X線ホログラフィにおいて、これまでに光学の相反定理で結ばれる2つの測定原理、X-ray Fluorescence Holography(XFH)と Multiple Energy X-ray Holography(MEXH) が提案されている。通常の測定では、これらの2つの測定原理が同時に働き、双方の測定原理で得られる情報が混じり合った測定となる。本論文は、このように情報が混じり合うことのない純粋な蛍光X線ホログラフィの測定を提案し、手法開発を行ったものである。さらに、提案した測定手法を、蛍光X線を発する原子が極めて希薄な試料に対して応用を試みている。

本論文は8章からなる。第1章では、蛍光X線ホログラフィにおける研究の背景と手法の特徴について述べ、その中での本研究の位置付けと研究の目的が述べられている。

第2章では、蛍光X線ホログラフィにおいて、これまでに、提案されている測定原理についての説明と計算、測定されたホログラムからの数値計算による原子像の再構成の方法について述べ、本研究の後章への準備としている。

第3章では、本研究の趣旨である、純粋な蛍光X線ホログラフィの測定を行うための提案が成されている。蛍光X線ホログラフィのシグナル成分は、参照波の強度のうち0.1%~0.3%と非常に微弱であり、データ解析において参照波の強度に相当するバックグラウンドは、純粋でない測定の場合、決定するのが難しい。しかし、純粋な測定により、このバックグラウンドは、単純化することができるということである。

第4章では、純粋なMEXHの測定を行い、しかも広い立体角に渡って蛍光X線の収量を測定することを目的として、設計、作製された円筒型LiF結晶アナライザーの評価について述べている。本研究においては、試料表面垂直方向に関して対称に、この円筒型LiFアナライザー結晶を配置することで、純粋なMEXHの測定を実現することをねらいとしている。作製されたLiF結晶のエネルギー分解能は、計算されたエネルギー分解能とよく一致しており、適切に作製されていることが示されている。

第5章では、作製された円筒型LiF結晶アナライザーが、純粋なMEXHの測定において期待通りの性能を発揮するかどうかを確認するため、Ge(111)単結晶を用いて、実際に測定を試みている。実験は、Photon FactoryのBL14Bにおいて、単一の入射X線のエネルギーを用いて行われている。シミュレーションと測定から得られた再構成像の比較から、作製されたLiF結晶アナライザーは、純粋なMEXHの測定において有効であることを確認している。

第6章では、二つの観点において応用を行っている。一つは、希薄な系へ純粋なMEXHの測定を応用するという観点である。試料には、量子ドットの作製されたSi/Ge/Si(001)結

晶を用いており、この系は、Ge の総量、180 原子層と非常に希薄である。また、埋もれたクラスターであること、短距離秩序を持つことから、蛍光X線ホログラフィの特徴を生かした系である。もう一つの観点は、入射X線のエネルギーを4つ用いるということである。この試料を用いて SPring-8 の BL09XU において実験を行い、測定されたホログラムから原子像の再構成に成功している。シミュレーションと測定から得られた再構成像の比較により、ドットの面内での平均的格子定数を求めている。

第 7 章では、第 6 章において得られた結果を確認するため、微小角入射X線回折法により、試料面内の格子定数の測定を行っている。その結果、蛍光X線ホログラフィから得られた結果は、X線回折から得られた結果と矛盾しない結果となることを結論付けている。

第 8 章は、本研究のまとめである。

以上を要するに、本論文では、純粋な蛍光X線ホログラフィの提案を行い、純粋な MEXH の手法開発を行った。この測定方法を希薄な系に応用し、180 原子層と希薄な系であっても、原子像の再構成に成功したことから、今後の発展として、1 原子層への可能性を示したと考えられる。本論文は、モデルフリーな構造解析手法の開発という観点から重要であり、物理工学の進展に寄与するところが大きい。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。