



Title	走査型透過電子顕微鏡における並列検出器を用いた位相差顕微鏡法に関する研究 Study on phase microscopy using parallel detector in scanning transmission electron microscopy
Author(s)	田屋, 昌樹
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48601
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、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について ご参照ください 。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

氏 名	た や ま き 田 屋 昌 樹
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 2 1 9 7 1 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 20 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科物質・生命工学専攻
学 位 論 文 名	Study on phase microscopy using parallel detector in scanning transmission electron microscopy (走査型透過電子顕微鏡における並列検出器を用いた位相差顕微鏡法に関する研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 高 井 義 造 (副査) 教 授 金 谷 茂 則 教 授 福 住 俊 一 教 授 宮 田 幹 二 教 授 菊 地 和 也 教 授 伊 東 一 良 教 授 渡 部 平 司 教 授 兼 松 泰 男

論 文 内 容 の 要 旨

本学位論文は、走査型透過電子顕微鏡 (STEM) において位相情報を再生しうる位相差顕微鏡法を実現することを目的とし、STEM へ適用する方法の理論的検討と、上記の STEM システムを実際に装置化することを中心に理論、実験の両面から研究を行った内容をまとめたものである。

第 1 章では本研究の背景について述べた。はじめに透過型電子顕微鏡 (TEM) と STEM との像形成方式の違いとそれぞれの特徴を示し、これらに共通して存在する位相回復問題と残収差問題について説明した。そしてこれらの問題に対して先行して行われてきた各種の収差補正法、位相再生法を紹介し、さらに本学位論文の研究対象である傾斜照明像シリーズを用いた無収差結像・位相再生法の特徴について示し、本研究の位置付けを明らかにした。

第 2 章では、本研究で取り扱う TEM での傾斜照明下における無収差結像による位相再生法の原理を理解するため、TEM の傾斜照明下における 3 次元結像特性について解析を行った。この 3 次元結像理論の立場から、傾斜動的ホローコーン照明と 8 の字フーリエフィルタリング、焦点深度拡大法に基づく無収差結像による位相振幅分離再生法の原理を理論的に説明した。さらに光学の相反定理から本手法は STEM に対しても同様に適用可能であることを示し、その具体的な実現方法について議論した。

第 3 章では、無収差結像による位相再生法の実効性を実験的に検証することを目的として行った、光学顕微鏡を用いた原理確認実験について述べた。位相物体に対して本手法を適用し、通常観察困難な透明物体をコントラスト良く再生できることを示した。さらに収差補正効果と傾斜照明に伴う情報限界の向上により 1.8 倍の分解能向上が達成できていることを示した。

第 4 章では、位相像を取得できる STEM を実現すべく並列検出器を用いた STEM 像並列検出システムの開発を行ったこと、開発したシステムを用いて行った位相振幅分離再生実験について述べた。開発したシステムを用いて、カーボン薄膜上の蒸着金微粒子の観察を行い、位相、振幅分離再生処理を実行した結果、位相再生処理像では軽元素で構成されるカーボン薄膜のコントラストが強く再生され、振幅分離再生処理像では金微粒子のコントラストが強く再生さ

れること、さらに位相変化に起因するコントラストと振幅変化に起因するコントラストを分離して再生することに成功した。

第5章では、TEMにおける画像処理的位相再生手法の一つである3次元フーリエフィルタリング法を例に取り、位相再生処理によって得られた位相像、振幅像とそのデフォーカスシリーズを用いて、強散乱体試料に対する処理像の解釈方法について議論した。デフォーカス方向に沿ってコントラスト変化を観察するXZ観察法を新たに提案し、多重散乱を考慮に入れた電子顕微鏡像の計算機シミュレーション結果と比較することで、試料の厚みの変化を検出できることを示した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、走査型透過電子顕微鏡（STEM）において位相情報を再生しうる位相差顕微鏡法を実現することを目的とし、STEMへ適用する方法の理論的検討と、上記のSTEMシステムを実際に装置化することを中心に研究を行った内容をまとめたものである。第1章では本研究の背景について述べている。透過型電子顕微鏡（TEM）とSTEMに共通して存在する位相回復問題と残収収差問題について説明し、これらの問題に対して行われてきた各種の収差補正法、位相再生法を紹介し、さらに本学位論文の研究対象である傾斜照明像シリーズを用いた無収差結像、位相再生法の特徴について示し、本研究の位置付けを明らかにしている。第2章では、本研究で取り扱うTEMでの傾斜照明下における無収差結像による位相再生法の原理を理解するため、TEMの傾斜照明下における3次元結像特性について解析を行っている。3次元結像理論の立場から、傾斜動的ホローコーン照明と8の字フーリエフィルタリング、焦点深度拡大法に基づく無収差結像による位相振幅分離再生法の原理を理論的に説明している。さらに光学の相反定理から本手法はSTEMに対しても同様に適用可能であることを示し、その具体的な実現方法について議論している。第3章では、無収差結像による位相再生法の実効性を実験的に検証することを目的として行った光学顕微鏡を用いた原理確認実験について述べている。位相物体に対して本手法を適用し、通常観察困難な透明物体をコントラスト良く再生できること、さらに収差補正効果と傾斜照明に伴う情報限界の向上により1.8倍の分解能向上が達成できたことを示している。第4章では、位相像を取得できるSTEMを実現すべく並列検出器を用いたSTEM像並列検出システムの開発を行い、これを用いて行った位相振幅分離再生実験について述べている。カーボン薄膜上の蒸着金微粒子の観察を行い、位相、振幅分離再生処理を実行した結果、位相再生処理像では軽元素で構成されるカーボン薄膜のコントラストが強く再生され、振幅分離再生処理像では金微粒子のコントラストが強く再生されること、さらに位相変化に起因するコントラストと振幅変化に起因するコントラストを分離して再生することに成功している。第5章では、TEMにおける画像処理的位相再生手法の一つである3次元フーリエフィルタリング法を例に取り、位相再生処理によって得られた位相像、振幅像とそのデフォーカスシリーズを用いて、強散乱体試料に対する処理像の解釈方法について議論している。デフォーカス方向に沿ってコントラスト変化を観察するXZ観察法を新たに提案し、多重散乱を考慮に入れた電子顕微鏡像の計算機シミュレーション結果と比較することで、試料の厚みの変化を検出できることを示している。

以上のように、本論文は走査型透過電子顕微鏡における位相差電子顕微鏡法についてまとめたもので、顕微鏡学の発展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。