

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	多極子のコンビネーション収差を用いた透過型電子顕微鏡の軸上収差補正に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	細川史生
Author(English)	Fumio Hosokawa
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10615号, 授与年月日:2017年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:三宮 工,吉本 護,舟窪 浩,北本 仁孝,中村 吉男,大島 義文
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10615号, Conferred date:2017/9/20, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第 号			学位申請者氏名		細川史生	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名	
	主査	三宮 工	講師	審査員	中村 吉男	教授	
	審査員	吉本 護	教授		大島 義文	准教授	
		舟窪 浩	教授				
		北本 仁孝	教授				

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「多極子のコンビネーション収差を用いた透過型電子顕微鏡の軸上収差補正に関する研究」と題し、全 8 章から構成されている。

第 1 章の「本研究の目的とその背景」では、電子顕微鏡の材料開発における重要性と、軸対称電磁場レンズの球面収差と色収差が電子顕微鏡の分解能を制限していることを述べ、本研究の目的が収差補正光学系において任意の収差を表記する一般式の導出と、高分解能を達成する収差補正系の実現であることを説明している。

第 2 章の「電子顕微鏡の収差と分解能の定義」では、電子顕微鏡の結像理論と分解能の定義について述べている。TEM および STEM それぞれの結像手法の違いを交えて説明し、電子顕微鏡像に含まれる情報は、光学系のみならず試料内での電子散乱に影響されることに言及している。

第 3 章の「多極子展開とコンビネーション効果による収差の汎用表記」では、多極子の光学系における任意の幾何収差と波面収差を表記する一般式を導出している。波面収差は、電磁場ポテンシャルの円筒座標系におけるフーリエ級数展開に対応し、多極子の基底関数として表現可能であることを述べている。また、二つの光学素子が離れて存在する場合に発生するコンビネーション収差についても任意の多極子場のコンビネーションを表記する一般式を導出している。

第 4 章の「非対称磁場 6 極子による球面収差補正」では、磁場 6 極子のプライマリー効果とコンビネーション効果について説明し、コンビネーション収差として負の球面収差項が現れ、対物レンズの正の球面収差の補正が可能であることを示している。導出した収差の一般式をもとに、非対称な収差補正光学系を提案し、これまで提案されていた対称系よりも、高次収差の低減により高分解能化が期待できることを説明している。さらに非対称光学系の実用的な設計指針について述べている。

第 5 章の「300kV 球面収差補正光学系の開発」では、非対称 2 段 6 極子を用いた収差補正装置を実機搭載し、電子顕微鏡の高分解能化を実現したことについて述べている。透過型電子顕微鏡、走査型透過電子顕微鏡のいずれにおいても収差が補正され、非対称系により高次収差が低減できることを実証している。開発された 300kV 電子顕微鏡では 0.05nm を切る空間分解能が実現されたことを述べている。

第 6 章の「電磁場重畳 4 極子による色収差補正」では、2 段電磁場重畳 4 極場を用いた色収差補正について述べている。収差の一般式を用いて、4 極場により凹レンズを生成することができ、対物レンズの色収差補正が可能であることを説明している。凹レンズの負の色収差を効率よく抽出するため、電磁場を重畳することを提案し、電磁場重畳 4 極子による色収差補正装置を設計している。設計された色収差補正器を 30kV 電子顕微鏡に搭載し、色収差が補正されたことを示している。

第 7 章の「収差補正電子顕微鏡の像のシミュレーション」では、収差補正電子顕微鏡で得られる像の計算に関して述べている。伝達関数を高次収差を含めて表記し、奇数対称と偶数対称の収差の像への影響を議論している。また、計算負荷の大きい、複数の収差係数を含めたマルチスライス像シミュレーションを GPU を用いて高速化したことについて述べている。

第 8 章での「結論」では、本研究を通して得られた結果をまとめ、本論文を総括するとともに将来展望について述べている。

以上を要するに本論文は、透過型電子顕微鏡の軸上収差補正に必要な電子光学理論を多極子場を用いて一般表記することで、球面収差補正及び色収差補正を実現し、現時点での世界最高分解能を達成したもので、理学上及び科学技術上貢献するところが大きい。よって本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値のあるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。