

Title	Aberration Correction in Electron Optics with N-Fold Symmetric Line Currents
Author(s)	Hoque, Shahedul
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/69584
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (HOQUE SHAHEDUL)

論文題名

Aberration Correction in Electron Optics with N -Fold Symmetric Line Currents
(M 回対称線電流系による電子光学収差補正法の研究)

論文内容の要旨

本論文は、磁極レス収差補正器を目的に、 M 回対称線電流 (N -fold symmetric line currents, 略して N -SYLC) による幾何収差補正に関する研究成果をまとめたもので、6章から構成されている。

第1章では、従来の磁場型多極子収差補正器においてはヒステリシス、磁場励起の非線形性、磁気飽和や磁性材料の不均一性といった課題が、システムのロバスト性、スループットや再現性を低下する要因になることを指摘した。その根本原因は、磁性体からなる磁極の物理特性そのものであることから、磁極レス多極子として提唱された N -SYLC に着目し、以上の課題を解決すべくこれを用いた新たな収差補正器を目標とし、収差補正の分野において本研究の位置づけを行った。

第2章では、 N -SYLC によって $2M$ 極子場を生成できることから、3-SYLC (6極子場) による3次球面収差補正について検討し、H. Rose et al のモデルに基づき3-SYLC 2段補正器を提案した。理想モデルにおいて解析的に補正式を導出し、系の幾何パラメータによって感度を最適化できることを示した。数値計算によって現実的なモデルにおいて収差補正の検証と感度の見積もりを行い、低中エネルギー電子顕微鏡において実用化に適した補正感度が得られることを明らかにした。

第3章では、開き角拡大とさらなる高分解能化を目的に、3次球面収差補正後の残留5次収差 (5次球面収差と5次非点収差) 補正について検討した。3-SYLC に4-SYLC と6-SYLC を重畳した新しい4段補正器モデルを提案し、補正に必要な対称性条件を解析的に導出した。本モデルは従来手法と比べて、5次球面収差を補正するために近軸軌道を変える (例えば、デフォーカスする) 必要がなく制御がシンプルで、段数も少ないことを特長とする。さらに、数値計算によって収差補正を検証し、補正感度も実用化に適した範囲であることを示した。

第4章では、 N -SYLC が磁極レスである特長を活かし、コンパクトで簡素な設計を目的に、 N -SYLC と軸対称レンズを重畳した構造として in-lens N -SYLC モデルを提案した。In-lens 3-SYLC モデルの収差特性を解析的に調べ、系の特定のパラメータを最適化することで3次球面を補正できることを明らかにし、さらに数値計算によってその結果を検証した。

第5章では、 N -SYLC の実用化の検討として、電流源に必要な精度を求め実現可能な範囲であることを確認した。また、 N -SYLC 配置や寸法等の機械誤差から生じる寄生収差の対策として、補助線電流による補正方法を考案し、それに適した N -SYLC 構造と制御システムを提案した。

第6章では、各章の結論をまとめ、今後の課題と展望について述べた。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (HOQUE SHAHEDUL)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	(准教授) 西 竜治
	副 査	(教授) 森 伸也
	副 査	(教授) 高井 義造
	副 査	(教授) 片山 竜二
	副 査	(教授) 伊藤 利道
	副 査	(教授) 森 勇介
	副 査	(教授) 片山 光浩
	副 査	(教授) 八木 哲也
	副 査	(教授) 尾崎 雅則
	副 査	(教授) 近藤 正彦
	副 査	(招へい教授・名誉教授) 鷹岡 昭夫 (超高压電子顕微鏡センター)
	副 査	(招へい教授) 伊藤 博之 (超高压電子顕微鏡センター・ (株) 日立ハイテクノロジーズ)
論文審査の結果の要旨		
<p>本論文は、磁極レス収差補正器を目的に、N 回対称線電流(N-fold symmetric line currents, 略して N-SYLC)による幾何収差補正に関する研究成果をまとめたものであり、以下の 6 章から構成されている。</p> <p>第 1 章では、従来の磁場型多極子収差補正器においてはヒステリシス、磁場励起の非線形性、磁気飽和や磁性材料の不均一性といった課題が、システムのロバスト性、スループットや再現性を低下する要因になることを指摘している。その根本原因は、磁性体からなる磁極の物理特性そのものであることから、磁極レス多極子として提唱された N-SYLC に着目し、以上の課題を解決すべくこれを用いた新たな収差補正器を目標とし、収差補正の分野において本研究の位置づけを行っている。</p> <p>第 2 章では、N-SYLC によって 2N 極子場を生成できることから、3-SYLC(6 極子場)による 3 次球面収差補正について検討し、H. Rose et al のモデルに基づき 3-SYLC 2 段補正器を提案している。理想モデルにおいて解析的に補正式を導出し、系の幾何パラメータによって感度を最適化できることを示している。数値計算によって現実的なモデルにおいて収差補正の検証と感度の見積もりを行い、低中エネルギー電子顕微鏡において実用化に適した補正感度が得られることを明らかにしている</p> <p>第 3 章では、開き角拡大とさらなる高分解能化を目的に、3 次球面収差補正後の残留 5 次収差 (5 次球面収差と 5 次非点収差) 補正について検討している。3-SYLC に 4-SYLC と 6-SYLC を重畳した新しい 4 段補正器モデルを提案し、補正に必要な対称性条件を解析的に導出している。本モデルは従来手法と比べて、5 次球面収差を補正するために近軸軌道を変える (例えば、デフォーカスする) 必要がなく制御がシンプルで、段数も少ないことを特長とする。さらに、数値計算によって収差補正を検証し、補正感度も実用化に適した範囲であることを示している。</p> <p>第 4 章では、N-SYLC が磁極レスである特長を活かし、コンパクトで簡素な設計を目的に、N-SYLC と軸対称レンズを重畳した構造として in-lens N-SYLC モデルを提案している。In-lens 3-SYLC モデルの収差特性を解析的に調べ、系の特定のパラメータを最適化することで 3 次球面を補正できることを明らかにし、さらに数値計算によってその結果を検証している。</p> <p>第 5 章では、N-SYLC の実用化の検討として、電流源に必要な精度を求め実現可能な範囲であることを確認している。</p>		

また、N-SYLC 配置や寸法等の機械誤差起因でから生じる寄生収差の対策として、補助線電流による補正方法を考案し、それに適した N-SYLC 構造と制御システムを提案している。

最後に第 6 章では、各章の結論をまとめて、今後の課題と展望について述べている。

以上のように、本論文は N 回対称線電流により収差補正器が構成できることを提案し、その詳細な理論的およびシミュレーションによる検討から、測長走査電子顕微鏡に適用可能な新しい収差補正器としての実現可能性を示した。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。