

平成 25 年 7 月 30 日

埼玉工業大学大学院工学研究科  
研 究 科 長 殿

学位論文審査委員会

主 査 巨 東英

副 査 田村 明

副 査 内田 正哉

副 査 三石 和貴

副 査 下条 雅幸

学 位 (博士) 論文及び最終試験の審査結果について (報告)

専 攻 名 : 博士後期課程 電子工学専攻

学籍番号 : 1022501

学生氏名 : 雷 丹 (Dan Lei)

論文題目 : 試料走査電子線ホログラフィー法の開発

---

上記の論文について当審査委員会は、平成 25 年 7 月 30 日に審査及び  
最終試験を行い、その結果を下記のとおり報告します。

記

1. 学位論文の内容の要旨 \*別添のとおり

## 2. 学位論文及び最終試験の審査結果の要旨

電子が物体を透過すると、電子の振幅および位相が変化する。通常の透過型電子顕微鏡では、物体を透過した電子の振幅情報のみがカメラ等に記録され、位相情報は失われる。電子の位相情報を取り出す方法の一つに電子線ホログラフィー法がある。これは、試料を透過した波と真空中を通過した波を干渉させ、その干渉縞（ホログラム）を解析するものである。一般的な解析方法では、ホログラムをフーリエ変換し、干渉縞に対応する部分を切り出し、逆フーリエ変換する。

本論文は、試料を走査しながら複数枚のホログラムを記録し、それらを再構成することで電子の位相を求める手法を提案し、また実証したものである。これは、フーリエ変換を用いる従来の方法と比べて、得られる位相像の空間分解能が干渉縞の間隔に制限されないなどの利点を有している。

本論文で示された成果は、学術的にも工学的な応用面でも価値を有するものと認められ、本審査委員会は本論文を博士（工学）の学位論文として合格と判定した。また口頭試問により当該分野に関する学力も博士（工学）の学位に相応しいものであることを確認した。

## 3. 学位に付記する専攻分野の名称（いずれかを□でかこむ）

工 学                      学 術

## 4. 学位を授与できるか否かの意見

1) 審査結果（いずれかを□でかこむ）

① 学位論文及び最終試験の判定                       合格                      不合格

2) 意見

本審査委員会は博士後期課程電子工学専攻 1022501 雷丹 から学位申請がなされた論文「試料走査電子線ホログラフィー法の開発」について、厳正な審査をおこない、全員一致で学位論文および最終試験を合格と判定し、博士（工学）の学位を授与するに値するものであるとの結論に達した。

なお、公聴会時点で本論文の内容は 3 編の査読付き論文として公開されている。

以 上

# 論文内容の要旨

## 第1章 緒言

電子が試料を透過すると、電子の振幅および位相が変化する。通常の透過型電子顕微鏡では、試料を透過した電子の振幅情報のみがカメラ等に記録され、位相情報は失われる。電子の位相情報を取り出す方法の一つに電子線ホログラフィー法がある。これは、試料を透過した波と真空中を通過した波を干渉させ、その干渉縞（ホログラム）を解析するものである。一般的な解析方法では、ホログラムをフーリエ変換し、干渉縞に対応する部分を切り出し、逆フーリエ変換する。本章では、従来の電子線ホログラフィー法について概説するとともに、一般的な解析方法では、得られる位相像の空間分解能が干渉縞の間隔により制限されるという問題点を指摘した。また、本論文の目的について述べた。

## 第2章 試料走査電子線ホログラフィー法の開発

本章では、試料を透過した波と真空中を通過した波とを干渉させる電子線ホログラフィー法において、試料を少しずつ動かし、そのとき得られる複数枚のホログラムを記録し、これらを解析することで位相情報を取り出す「試料走査電子線ホログラフィー法」を提案した。試料透過時に電子の位相のみが変化し、振幅は変化しないと近似（位相物体近似）することで、簡便に位相像が得られることを理論的および実験的に示した。

## 第3章 試料走査電子線ホログラフィー法の拡張

本章では、前章で提案した「試料走査電子線ホログラフィー法」を、位相物体近似ができない一般的な試料についても解析できるように拡張した。この方法により、試料を透過した電子の振幅および位相が得られることを理論的および実験的に示した。また、得られる振幅像および位相像の空間分解能が、干渉縞間隔に制限されないことを実証した。

## 第4章 試料走査電子線ホログラフィー法への超解像技術の適用

電子線ホログラフィーを行う際、対物レンズの磁場の影響を防止するため、対物レンズの電流を切って行うことがある。この場合、顕微鏡としての倍率を高くできないため、記録する CCD カメラの画素が分解能を制限する場合がある。カメラの画素以下の微小な動きがある複数枚の画像から、1枚の高解像度画像を得る手法は、超解像技術として光学で用いられている。本章では、試料走査量をカメラの画素以下の微小量として、複数枚のホログラムを記録し、超解像技術を応用して、高解像度の位相像を得る手法を提案した。また、実験により超解像ホログラフィーの可能性を示した。

## 第5章 結言

本研究の総括であり、各章の成果をまとめたものである。