

|         |                                 |      |         |
|---------|---------------------------------|------|---------|
| 氏名(本籍)  | いし わた ひろし<br>石 渡 裕 (神奈川県)       |      |         |
| 学位の種類   | 博 士 (工 学)                       |      |         |
| 学位記番号   | 博 甲 第 4603 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                |      |         |
| 審査研究科   | 数理物質科学研究科                       |      |         |
| 学位論文題目  | 微分干渉顕微鏡を用いた 3 次元位相分布の定量計測に関する研究 |      |         |
| 主 査     | 筑波大学教授                          | 工学博士 | 伊 藤 雅 英 |
| 副 査     | 筑波大学教授                          | 理学博士 | 青 木 貞 雄 |
| 副 査     | 筑波大学客員教授                        | 工学博士 | 谷田貝 豊 彦 |
| 副 査     | 筑波大学准教授                         | 理学博士 | 服 部 利 明 |
| 副 査     | 筑波大学講師                          | 理学博士 | 野 田 英 行 |

### 論 文 の 内 容 の 要 旨

微分干渉 (Differential interference contrast : DIC) 顕微鏡は、顕微鏡に干渉計測技術を組合せることで、観察物体の位相分布を高解像で高感度に可視化することが可能である。この特徴を利用して生体組織や生細胞の内部構造の観察、半導体や金属結晶の表面に存在する微小な段差や突起の検出等に広く用いられている。そして、現在も更なる高解像力化等の技術開発や改良が進められている。

微分干渉顕微鏡は、顕微鏡観察と干渉計測技術を融合させてことから、観察物体の位相量を定量計測が可能であり、その研究も進められてきた。しかしながら、定量計測に関する研究では、J.S.Hartman 等のグループが観察物体表面の勾配分布を計測する方法に関する報告だけであり、観察物体の微細構造を計測し 3 次元像再生する技術に関しては、現在のところ未だ報告が無い。

その理由として、微分干渉計顕微鏡を用いて観察する物体は微細構造を持ち、その表面及び内部で光が回折・散乱するので、観察物体が疎面物体であることが考えられる。一般に干渉計測では観察物体の表面は鏡面であるとし、散乱・回折が起きないことを前提にして計測が行われる。しかし、観察物体が疎面物体である場合には、この前提が崩れ、一般的な干渉計測技術を直接使用して計測することが難しくなる。その為、疎面物体を計測する種々の工夫が必要にある。

以上の点から、微分干渉顕微鏡を用いて微細構造を持つ物体の位相分布を定量計測する為には、干渉計測で疎面物体を計測する為の計測技術を開発する必要がある。本論文では疎面物体を対象にした計測技術を開発する為、微細構造を持つ観察物体を位相物体と考え、位相物体で回折された光が微分干渉顕微鏡によって微分干渉画像として形成されるメカニズムを解析し、形成される像強度分布と観察物体の位相分布の関係を導出し、微分干渉画像から観察物体の位相分布を定量的に求める方法を研究した。

本論文では、位相変調型微分干渉顕微鏡を開発し、位相分布に比例するが像成分のみを抽出し、デコンボリューションを行うことにより位相の定量化を実現した。その際、微分干渉顕微鏡の応答特性の影響と Shear 方向の設定による検出感度変化の影響を加味することで、弱位相領域における定量計測法を開発し、格子標本の計測実験により効果を検証した。また、SPC method を開発し、弱位相領域を越える位相分布に対

しても像強度分布と位相分布の線形関係を保つように補正を行うことで、定量計測を可能にした。更に、多波長法を開発することで、位相分布が計測波長の半分を越えた時に発生する凹凸形状の反転を判定することが出来、正確な位相分布を再生することを可能にした。そして、SPC method と多波長法についても、格子標本を用いた計測実験で検証した。

更に、微分干渉顕微鏡のデフォーカスに対する特性を解析し、微分干渉顕微鏡のセクショニング効果を明確にした。そして、焦点深度以上に広がる位相分布に対しても、光軸方向の走査と組合せ焦点深度内の情報を抽出するセクショニングマスク法を開発した。このセクショニングマスク法と走査位置情報と組合せることで、3次元位相分布の再生を可能にした。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

微分干渉顕微鏡の結像特性を再度解析した結果、微分干渉顕微鏡は焦点から外れた時に発生する像のボケの影響が、明視野顕微鏡に比べて大きく、セクショニング効果が高いことを解析的に初めて明らかにした。更に、位相変調型微分干渉顕微鏡を用いることでセクショニング効果をより高くすることが可能であることを発見した。この微分干渉顕微鏡のセクショニング効果を利用して、観察物体から特定の走査位置で焦点深度内の位相情報だけを抽出するセクショニングマスク法を開発した。このセクショニングマスク法によって抽出された位相情報を、デコンボリューション法等の解析方法を用いて定量計測を行い、走査位置情報と組合せて位相再生することにより、焦点深度を越える位相物体の定量計測が可能になった。そして、計測実験により、 $\mu\text{m}$  オーダーまで計測範囲が拡張できることを確認した。これらの所見は之まで定性的にのみ知られていたもので、それらを統合し、解析ことは顕微鏡の応用分野において高く評価できる。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。