

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：基盤研究(B)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19360123  
 研究課題名（和文）電子線を用いたモアレトポグラフィによる微細構造物の三次元高分解能計測法の開発  
 研究課題名（英文）3-D micro-structure measurement method based on moiré-topography using SEM  
 研究代表者  
 新井 泰彦 (ARAI YASUHIKO)  
 関西大学・システム理工学部・教授  
 研究者番号：80131415

## 研究成果の概要：

ナノテクノロジーにおける定量的な三次元形状評価を実現し、微小構造物の定量的三次元形状計測が困難な現状を打開することのできる新しい計測技術を開発した。具体的には、モアレトポグラフィの光源を光から電子線へ改めることによって、数 $\mu\text{m}$ の構造物を数10nmの測定精度で形状計測可能な非接触三次元形状計測技術を補助金申請書に記した計画どおりに開発した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	14,200,000	4,260,000	18,460,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	15,300,000	4,590,000	19,890,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・知能機械学，機械システム

キーワード：SEM，モアレトポグラフィ，MEMS，縞解析

## 1. 研究開始当初の背景

本研究を始めるにあたり、ハイテク・リサーチ・センター整備事業としての「ユビキタス社会を支えるテラビット級超高密度情報記憶システムのための革新的ナノテクノロジーの開発(研究代表者:多川則男)」のテーマにおいて、ICP, RIE, EB 描画機などの半導体マイクロ加工装置が関西大学には整備されているという生産設備上の有利な条件が存在していた。さらに、平成 15-17 年度科学研究費補助金基盤研究(A)(2)「テラビット級情報ストレージのナノメータヘッドディスクインターフェースの創製(研究代表者:多川則男)」，平成 16-17 年度科学研究費補助金

基盤研究(B)(2)「生分解性材料を用いた医用マイクロ注射針の開発(研究代表者:青柳誠司)」において開発してきた社会的要請の高い、マイクロ注射針などの製作精度を検討する立場での微小構造物の高精度三次元形状計測の実施が強く求められていたという本研究の必要性・必然性が本研究グループには存在していた。

加えて、これらの微小構造物の計測技術の開発を支援する研究環境として、研究代表者が委員会幹事を務める「精密工学会メカノフォトニクス専門委員会(委員長:吉澤徹)」との連携のもとで、本分野において発生しうる

研究開発時の問題点を的確に議論することのできる産業界を機軸にした研究グループが存在していた。ならびに「精密計測を実施する」「微小構造物を製作する」等の立場に立った様々な計測技術に関する実用上の情報を当該委員会より収集することができる環境も整う中で研究は開始された。

また、当該委員会が運営する SPIE 国際会議においても開発した技術の発展・実用化を目指した議論を国際的に展開可能な環境も整っていた。

一方、本計測技術開発にかかわる中心的な役割を果たす電子顕微鏡関連技術においては、FE-SEM メーカーと技術開発に関する情報交換を行うことが可能な環境が研究開始時より整備されていた。

これらの恵まれた研究環境下で、数  $\mu\text{m}$  の構造物を数 10nm の測定精度で三次元計測可能な三次元微小構造物の非接触形状計測技術の開発が開始された。

## 2. 研究の目的

本研究では、ナノテクノロジーにおける三次元形状評価を定量的に行うことを容易に実現し、微小構造物の定量的三次元形状計測が困難な現状を打開することのできる新しい計測技術の開発を目指した。具体的には、テラビット/ $\text{inch}^2$ の情報ストレージの高密度化のためのデバイスの製作精度評価・医用マイクロ注射針などの構造物の計測が可能な、三次元微小構造物の非接触形状計測技術の開発を目指した。

この技術開発の実現のために、モアレトポグラフィを光の回折の影響を受けることなく微細構造物の測定を可能にすることを目的に、モアレトポグラフィの光源を光波から電子線へと改めることによって、数  $\mu\text{m}$  の構造物を数 10nm の測定精度で三次元計測可能な測定システムの実用を目指した技術開発を行った。

## 3. 研究の方法

本研究では、モアレトポグラフィ光学系を図 1 に示す電子顕微鏡による構成に置き換えることにより、光学測定において問題となる回折の問題を回避している。

この光学配置では、モアレトポグラフィにおける格子は、シリコンプロセスに基づくマイクロマシニングによって作製され、SEM チャンバー内に検出器と電子レンズとを結ぶラインに平行に格子を設置している。この格子を用いることによって、電子線を用いたモアレトポグラフィ光学系を構成している。

このシステムを用いると、図 2 に示すよう

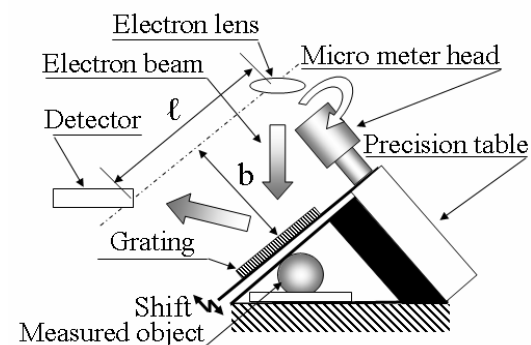


図 1 SEM を用いた新しい光学系

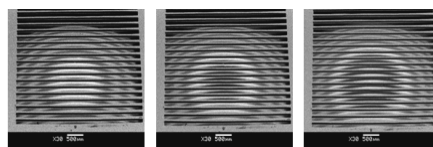


図 2 電子線を用いた位相が異なるモアレ縞

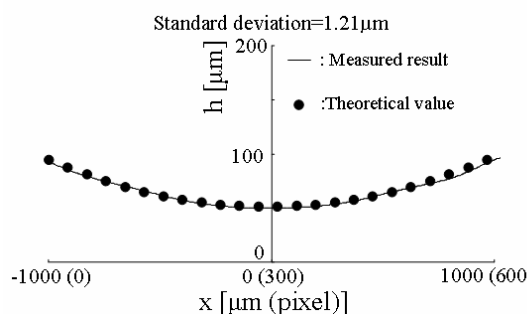


図 3 球面の測定結果

な測定対象の形状に合わせたモアレ縞を観察することができる。このモアレ縞をモアレトポグラフィの原理に従って解析すると、測定対象の 3 次元形状を得ることができる。さらに、図 1 に示すように格子を平行移動させることのできる装置を設置することによって、図 2 に示す位相の異なった縞画像を得ることができる。このように位相が異なった縞画像を用いると、図 3 に示すような高分解能な断面形状を縞走査技術によって解析することができる。

本研究では研究の第一段階として、数  $\mu\text{m}$  ~ 数  $10\mu\text{m}$  のピッチを持つ格子をシリコンプロセスのドライエッチング技術によって製作し、電子顕微鏡を用いた測定精度が数 100 nm から数  $\mu\text{m}$  のモアレトポグラフィ光学系を構成し、ナノテクノロジーにおける非接触三次元形状計測法を確立した。

さらに第二段階として、高分解能な計測技術の開発を目指して数 10nm オーダーの三次

元形状計測を行うための新たな測定技術を実体格子モアレトポグラフィのみならず格子投影型モアレトポグラフィ技術を用いて開発した。

いずれも、補助金申請書に記した計画に従い実施した。

#### 4. 研究成果

nm オーダーの高分解能化を図るために光学系を図1に示した光学配置から図4に示す光学配置へと変換し、格子投影型モアレトポグラフィ光学系をSEMのチャンバー内に設置した。

これにより、図5に示すような測定対象が平面の場合には、平行な縞画像が、また球面の場合には、球面の形状に沿った曲線の縞画像が測定対象上に投影された変形格子像を採取可能な光学系を構成した。

この光学系を構成するために新たに製作したジグならびに格子(ピッチは $4\mu\text{m}$ )を図6に示す。

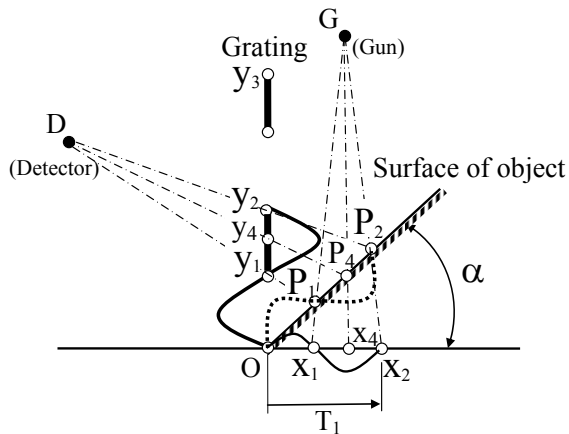


図4 SEM内格子投影型光学系

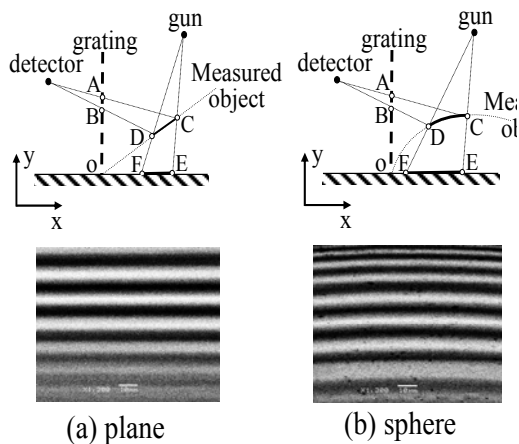
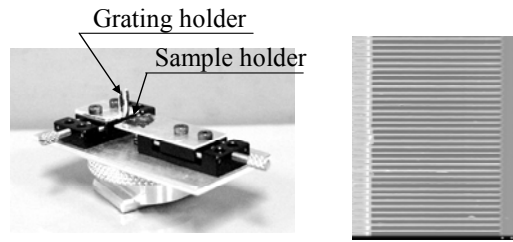


図5 格子投影型光学系による変形縞



(a) Experimental apparatus (b) Grating (Pitch= $4\mu\text{m}$ )

図6 格子投影型光学系による変形縞

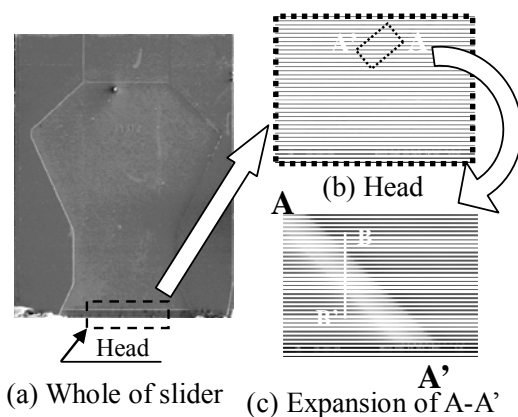
図6に示す格子投影型モアレトポグラフィの原理に従ったジグを用いた場合、タングステンフィラメントを電子源とするSEMでは倍率1000程度で鮮明な縞画像を得ることができなかった。

本研究では、本研究補助金によって新たに導入したFE-SEMを用いることによって、ピッチが $4\mu\text{m}$ の格子を用いた場合においても鮮明な縞画像を得ることができる光学系へと改善することができた。

この光学系を用いることによって、数 $\mu\text{m}$ の測定領域における微小構造物の計測が可能となった。

この結果、本研究補助金申請時の目的であった「数 $\mu\text{m}$ の測定領域において、数10nmの測定精度を持つ微小構造物の三次元形状計測」を実現した。

この光学系を用いて図7に示すハードディスクの読み取り・書き込みヘッド近傍に存在するA'-Aに示す幅約 $2\mu\text{m}$ 、高さ150nmのライン状のB-B'断面の三次元構造物の形状計測を行った。



(a) Whole of slider (b) Head (c) Expansion of A-A'

図7 測定対象としてのハードディスクの読み取り・書き込みヘッド近傍に存在する三次元構造物

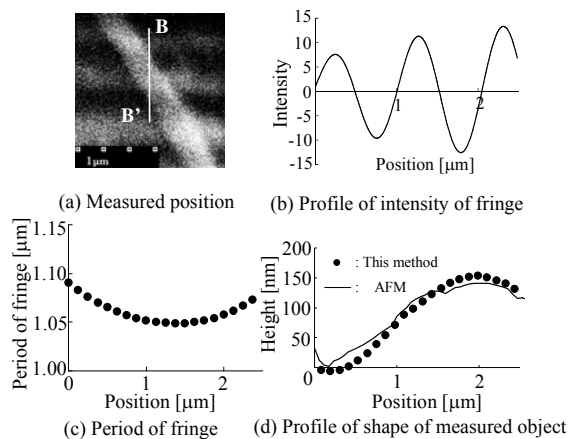


図 8 測定結果

測定結果を図 8 に示す。SEM によって得られた変形縞画像を図 8(a) に示す。この B-B' 断面の強度分布を求め、ローパスフィルターによって処理したものが図 8(b) である。さらに、この強度分布の周期を wavelet 変換によって求めたものが図 8(c) である。この周期分布より最終的に構造物の形状を求めたものが図 8(d) の黒丸で示したものである。

同時に、同一断面を AFM で測定した結果を実線によって示している。測定原理が異なる AFM の結果に極めて適合した測定結果が本手法によって得られていることが分かり、本測定法の正当性を確認した。

この結果が示すように本手法では、 $2.5\mu\text{m}$  の測定範囲で、高さ  $150\text{nm}$  の微小構造物を三次元計測することができた。

本成果は、”SPIE Optomechatronic Technology 2008” において報告され、さらに改良した光学系を用いた成果を”2009 SPIE Optical Engineering — Application “(2009. 8. 3 San Diego) において報告する予定である。

これらの成果はすでに論文として海外誌に投稿済みである。なお、本研究の第一段階としての到達目標であった図 2, 図 3 に関する研究成果は、”Experimental analysis of nano and engineering materials and strictures” において、既に論文として報告済みである。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① Yasuhiko Arai, Electric speckle pattern interferometry based on spatial fringe analysis method using two cameras, Journal of Modern Optics, 55, 281-296 (2008) 査読有

読有

- ② 新井泰彦, 電子スペックル干渉計測におけるバーチャルスペックルパターンを用いた面内変形計測, 光学, 37, 119-129(2008) 査読有
- ③ Yasuhiko Arai, High-resolution dynamic measurement using electronic speckle pattern interferometry based on multi-camera technology, Optics and Lasers in Engineering, 46 733-738(2008) 査読有
- ④ 新井泰彦, バーチャルスペックルパターンを用いた高分解能ダイナミック面内計測, 光学, 37, 600-609 (2008) 査読有
- ⑤ Yasuhiko Arai, 3-D micro-structure measurement method based on shadow moiré using scanning electron microscope, Experimental analysis of nano and engineering materials and strictures, 609-610, (2007), 査読有

[学会発表] (計 2 件)

- ① Y. Arai, 3-D measurement method based on Wavelet transform by using SEM, SPIE Optomechatronic Technology 2008, 2008.11.17, San Diego(USA)
- ② 新井泰彦, 小林一也, SEM を用いたモアレポグラフィによる微小構造物の三次元形状計測, 日本機械学会関西支部第 83 期定時総会講演会, 2008.3.14, 大阪大学

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

新井 泰彦 (ARAI YASUHIKO)  
 関西大学・システム理工学部・教授  
 研究者番号: 80131415

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

多川 則男 (TAGAWA NORIO)  
 関西大学・システム理工学部・教授  
 研究者番号: 50298840

青柳 誠司 (AOYAGI SEIJI)  
 関西大学・システム理工学部・教授  
 研究者番号: 30202493