

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 30 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2009-2011

課題番号：21360121

研究課題名（和文）

SEMを用いた格子投影型三次元微小構造物形状計測法の開発

研究課題名（英文）

Development of 3-D measurement method based on projection moiré for micro structure 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（和文）：

本研究では、MEMS 等の微小三次元構造物の非接触形状計測を目的とした新しい計測技術を、光学で培われた縞解析技術を基礎に光を電子線に置き換えることによって開発している。

本研究では、電子線と格子との位置関係に関する性質を用いて、光切断を電子線によって実現し、さらに、圧電素子を用いた高精度な位置決め機構を SEM チャンバー内に構築し、縞走査技術を用いることによる高分解能三次元形状計測法を確立している。

研究成果の概要（英文）：

3-D measurement method by SEM has already been proposed by using the principle of shadow moiré. In the method, the image of original grid in shadow moiré image must be clearly removed in fringe analysis process in order to perform high resolution analysis. A new method based on the principle of projection moiré is proposed to solve the trouble concerning the grid. In this study, the mechanism of producing some shadows of grid on the surface of the object by back scattering electron beam in the new method is discussed. Fringe image as shadow of grid is analyzed by Fringe scanning technology. 3-D precise measurement is realized by using the phenomenon of shadows of grid. Furthermore, a 3-D micro structure is measured. From comparison with results by AFM, it is confirmed that the proposed method has high-resolution power (about 20nm).

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 21 年度	6,300,000	1,890,000	8,190,000
平成 22 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
平成 23 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	9,100,000	2,730,000	11,830,000

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, MEMS, 縞解析

## 1. 研究開始当初の背景

MEMS に代表される微小構造物が現在ナノテクノロジーによって製作され、新しい産業基盤となりつつある。これらの計測には、

AFM, 段差計を用いた接触計測法、さらに SEM を用いた微小構造物の計測法としての二次電子の放出特性を利用した二次元電子信号積分法などが一般に利用されている。しか

しながら、ダイナミクスを考慮した三次元構造物を評価するためには、複雑なかつ微細な構造を測定できる計測システムが必要である。既存の計測技術は、粗さ測定などの表面形状測定は容易に実施することができるものの、三次元微細形状計測には、一般に適していない。

光を電子線に置き換えることによる三次元高分解能形状計測法では、光の回折現象による光計測における横分解能を大幅に改善することができる利点を持っている。この利点を生かすことによる研究代表者のグループは光の回折の影響を受けることなく微細構造物の測定を  $1\mu\text{m}$  以下の測定精度で実現してきた。しかしながら、この計測技術では、画像解析を行う過程で、画像内に格子成分が映り込む問題があり、電子線を用いる有効性をさらに生かした三次元計測の高分解能化をはかるためには、画像内の格子像をフィルターで除去するのではなく、格子像が発生しない画像採取方法の工夫が必要不可欠となっていた。

## 2. 研究の目的

本研究では、光学配置に、微細ピッチをもつ格子を適応することによって、格子像が画像内に映り込まない、変形格子像を採取する技術を新たに開発し、この格子像が映り込まない画像採取技術にもとづく新しい画像採取光学配置を用いて、三次元いずれの座標においても数  $\text{nm}$  の分解能をもつ三次元高分解能形状計測法を開発する。

## 3. 研究の方法

研究を実施するために次の研究グループを組織した。

### (1) 測定システム構築グループ

#### ① SEMの改造

既存のFE-SEM(S4300)にPZT三次元高精度位置決め機構を構築し、格子の精密な位置決めが可能ないように改造することによって、nano計測が実現可能なシステムを構築した。

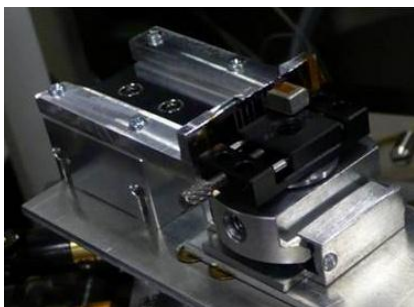


図1 圧電素子による位置決め機構

#### ② 格子作製

本学ハイテクリサーチセンターにおいて確立されたMEMS技術を用い、ドライエッチングをベースとする既存の技術によってピッチ  $2\mu\text{m}$  の格子を製作した。当初、外部委託により製作予定であった  $0.5\mu\text{m}$  の格子を学内施設で作製した。



図2 電子線描画機による格子

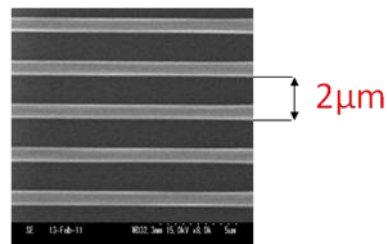


図3 作製した格子

#### ③ 縞解析技術の確立

縞走査技術に基づくフーリエ変換を用いたフィルタリング技術ならびに、時間的縞解析法に基づく縞解析技術をSEM画像に導入することによる縞解析技術を確立した。具体的には、光学配置を新たに提案し、PZT高精度位置決め機構を用いたジグを製作することによって高分解能三次元形状計測を実現した。

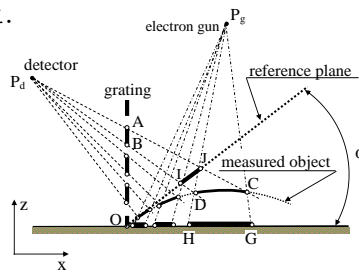


図4 従来の二次元解析原理

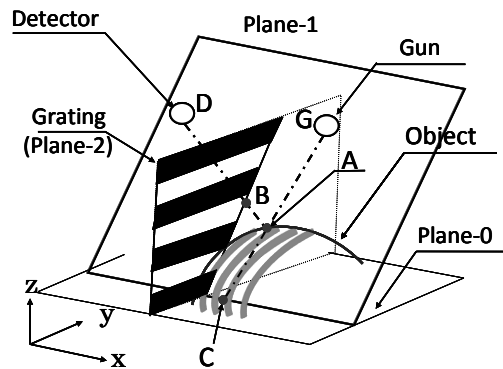


図5 三次元解析原理

(2)測定モデル製作グループ

本研究では、様々な形状をもつ三次元微細構造物モデルを用いて、新技術の測定精度を検討した。そのための構造物を、本学ハイテクリサーチセンターに既設されている MEMS 製作装置を用いて製作した。Si の (1, 1, 1) 面の異方性エッチング技術を用いて自然界に存在する 54.7 度の平面を一例として示す。

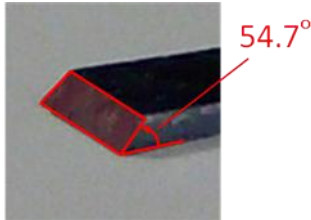


図 6 測定対象の例

(3)測定精度・分解能検討グループ

nm オーダーでの計測については、ハイテクリサーチセンターの MEMS 製作装置群のひとつである段差計を用い、モデルを用いた計測によって測定精度を検討した。さらに、直径数  $10\mu\text{m}$  のラティス球表面形状を測定対象として、球面表面上の構造物を対象とした測定精度の検討を行った。さらに、本計測技術を産業界で利用することを目的として、半導体素子の 3 次元形状計測を行った。

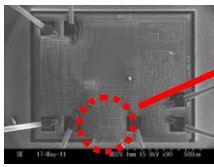


図 7 半導体回路

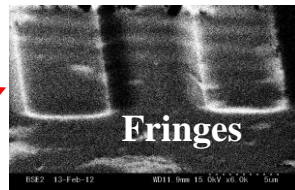
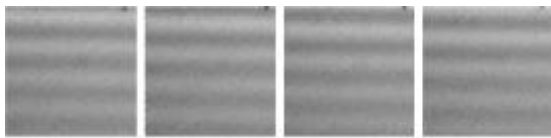


図 8 回路上の格子像

4. 研究成果

(1)実験結果

本手法の特性を調べるためにシリコンの結晶方位(Si (111))を利用した 54.7 度の傾斜を持つ平面を計測し、三次元形状計測の原理を確認する実験を行った。



(a)0-phase (b)  $\pi/2$ -phase (c)  $\pi$ -phase (d)  $3\pi/2$ -phase

図 9 測定対象上の格子像

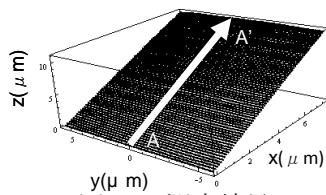


図 10 測定結果

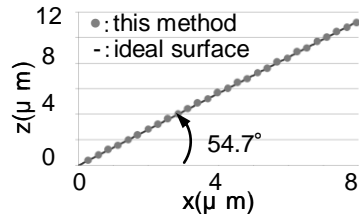


図 11 図 10 の A-A 断面

上記のように、三次元計測を行うことができることを示した。また、本手法における平面に対するばらつきは、 $33.9\text{nm}$  であった。

(2)シミュレーション結果

誤差要因を検討するために誤差シミュレーションを行った。本計測法において想定される誤差要因は、1)格子設置時に生じる格子の傾き、2)格子製作時に生じる製作誤差の影響、3)格子ピッチの微細化に伴う格子の厚みの影響が考えられる。それぞれの誤差要因に対して数値シミュレーションを行った。

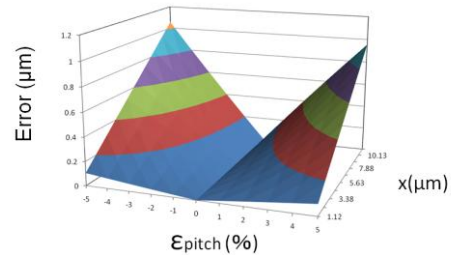


図 12 格子の傾きにより発生する誤差

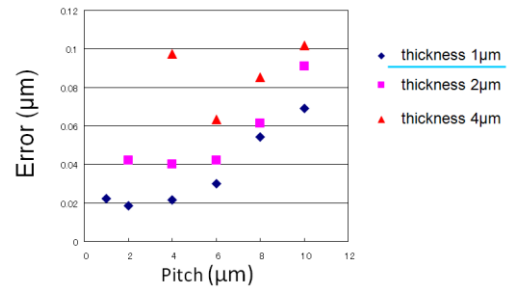


図 13 格子の厚みにより発生する誤差

結果、格子の傾きによる誤差、格子の厚みによる誤差が測定結果に大きく影響することを明らかにした。

(3)研究の発展性

申請書に掲げた各年度の取組をすべて完了し、最終年度には、半導体微細回路の形状計測ならびに素子の物性とも相まった欠陥検査の実施に向けた取組に着手することができた。今後本補助期間に得られた知見をもとにして、半導体素子の検査手法へ本技術を展開する。また、ナノ粒子の構造的な仕組み

を本システムで開発した技術で検査することによって、新たな材料特性を発現させる取り組みによって、新材料の開発に寄与する予定である。

#### (4)まとめ

従来解析過程で求められていた格子像除去過程が必要でない新たな解析技術を開発し、電子線三次元形状計測による測定精度を改善させることができた。

また、シミュレーションによって本手法の問題点を明確にし、そのような問題が発生しない装置を開発した。

半導体素子の検査、新材料の開発などの具体的な応用分野を明確にし、補助いただいた成果として開発された技術の社会への貢献を可能とする体制を整えた。

#### 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6件)

- ① 新井泰彦: 2枚のスペックルパターンのみを用いた高分解能電子スペックル計測法, 光学, Vol. 41, 2012, pp. 96-104 査読有
- ② Yasuhiko Arai: Speckle interferometry by using virtual speckle pattern based on Carre algorithm, Journal of metrology society of India, Vol. 26, 2011, pp. 303-314 査読有
- ③ Yasuhiko Arai: Micro 3D Measurement Method Using SEM, Journal of Metrology Society of India, Vol. 26, 2011, pp69-78 査読有
- ④ 新井泰彦: SEMを用いた微細構造物の三次元形状計測法の開発, 機械の研究, Vol. 62, 2010 pp328-334. 査読有
- ⑤ 新井泰彦: Carreアルゴリズムを基礎とするバーチャルスペックルパターンを用いた動的な面外変形計測, 光学, Vol. 38, 2009, pp529-538 査読有
- ⑥ 新井泰彦: デュアルカメラ技術を基礎としたスペックル干渉計測による電子デバイスの変形計測, 精密工学会誌, Vol. 75, 2009, pp1323-1328 査読有

[学会発表] (計12件)

- ① Yasuhiko Arai: High Resolution 3-D Shape Measurement Using Shadow Moire, ODF' 12, 2012. 7. 5, セントペテルブルグ
- ② 新井泰彦: Shadow moireを基礎としたSEM

による微小構造物の三次元形状計測法の開発

-測定原理の微小構造物計測への適用-, 日本機械学会学術講演会, 2012. 3. 16, 関西大学

- ③ 新井泰彦: Shadow moireを基礎としたSEMによる微小構造物の三次元形状計測法の開発  
-マクロモデルを用いた測定原理の開発-, 日本機械学会学術講演会, 2012. 3. 16, 関西大学
- ④ 新井泰彦: SEMを用いた格子投影技術による微小構造物の三次元形状計測法の開発, 日本機械学会学術講演会, 2012. 3. 16, 関西大学
- ⑤ Yasuhiko Arai: High-resolution electric speckle pattern interferometry by using only two speckle patterns, SPIE Annual meeting, 2011. 8. 23, San Diego
- ⑥ Yasuhiko Arai: High resolution speckle interferometry by replacing temporal information with spatial information, SPIE, 2011. 5. 26, Munich
- ⑦ 新井泰彦: SEMを用いた三次元構造物形状計測法, 関西大学先端科学シンポジウム, 2011. 1. 14, 関西大学
- ⑧ 新井泰彦: SEMを用いた格子投影技術による三次元形状計測法の開発, 精密工学会学術講演会, 2010. 9. 28, 名古屋大学
- ⑨ Yasuhiko Arai: 3-D micro-structure measurement by high resolution fringe analysis for shadow moiré image by SEM, SPIE, 2010. 8. 3 サンディエゴ(アメリカ)
- ⑩ Yasuhiko Arai: 3-D microstructure measurement method by using SEM, ICEM14, 2010. 7. 3, ポアティエ(フランス)
- ⑪ 新井泰彦: SEMを用いた三次元微細構造物形状計測法, 精密工学会学術講演会, 2010. 3. 17, 埼玉大学

#### 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

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

高田 啓二(TAKATA KEIJI)  
関西大学・システム理工学部・教授  
研究者番号:50416939

(3)連携研究者  
( )

研究者番号: