

機関番号：33903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20760271

研究課題名(和文) 超精密制御用位置センサの開発に関する研究

研究課題名(英文) Study on the development of position sensor for ultra precision control

研究代表者

内田 敬久(UCHIDA YOSHIHISA)

愛知工業大学・工学部・准教授

研究者番号：20367626

研究成果の概要(和文):

本研究では、次世代電子機器、機械機器の製作や原子分子制御に必要とされる精密位置センサの開発を行った。センサは回折格子の光回折現象を利用したセンシング原理であり、機構が簡単でありながら高い繰り返し精度を持っている。研究では、自動位置決め装置及び位置決め装置を改良した位置センサを開発した。XY 軸の 2 軸変位センサ及び 軸角度センサを製作し多軸自動センシングと制御を実現した。位置精度の標準偏差は、X 軸 0.07nm、Y 軸 0.23nm となった。

研究成果の概要(英文):

In this research, ultra precision position sensors for manufacturing of electric and mechanical devices and controlling of atoms and molecules were proposed. These sensors based on the diffraction phenomenon have simple configuration and high repetition accuracy. Automatic alignment sensor and automatic position sensor were developed. Multi-axis automatic sensing and control for 2 axes position sensor and angle sensor were realized. The positioning accuracies of the standard deviations 0.07nm (X-axis) and 0.23nm (Y-axis) are estimated.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：位置センサ、回折格子、位置決め、アライナー、変位センサ、角度センサ

1. 研究開始当初の背景

情報技術とともにナノテクノロジーは半導体作製技術の発展とともに、精力的に研究が進められており、発展している分野である。特に、電子機器などの小型化・高性能化に伴い、LSI(半導体集積回路)が高密度となり回路パターンの微細化が進んでいる。近年で

は、回路だけでなくセンサ、アクチュエータなども集積した MEMS、NEMS も開発され、構造がさらに複雑化してきている。このため、半導体作製技術だけではなく、サーフェスマイクロマシニング、犠牲層エッチング、ICP-RIE、LIGA プロセスなど、さまざまな作製技術が用いられるようになってきてい

る。今後、これらの作製技術を組み合わせることで、より複雑な次世代デバイスの開発が可能となる。

そこで重要となるのが繰り返し位置決め精度である。特に超精密位置センサ技術の確立は、作製、制御、応用と全てにおいてその根底となるものである。

2. 研究の目的

本研究では、回折格子の光回折現象を利用したセンシングにより、高い繰り返し精度を持つ位置決め装置の開発を目指す。±0.5nm以下を到達目標精度とし、安定した位置決め装置の開発を目標とする。実用化には多軸（X-Y軸、X-Y 軸）での位置決めが必要であるが、十分な実験的解析は行っていない。そこで、理論的、実験的に解析を行う。また、実用化には制御時間も大きな要素となるため、制御アルゴリズム、制御システムを確立し、自動位置センシングシステムの開発を目標とする。さらにこれを応用し、精密位置センサの開発を目指す。これにより一点のみ高精度であった自動位置決め装置を広範囲にわたって高精度な位置センサとして利用できるようにする。

3. 研究の方法

(1)自動位置決め装置の開発

センシングモデルの提案

3種類のセンシングモデルを提案し、装置の設計及びその妥当性を評価する。光学系の各 부품の位置関係の影響を考慮し、種類の理論計算を行い、装置の設計・実験条件を検討する。

システムの構築

提案したセンシングモデルの結果を基に、XY軸位置決め装置の構築を行う。位置精度と制御範囲に大きく関与する格子パターンと形状は、モデルの計算結果によりピッチが小さいとき、精度が高くなることが明らかになっているが、出力が下がりノイズの影響が大きくなることが予想されるため、数μm程度を数種類実験に用いる。

実験及び検討

構築したシステムにより、順次基礎データを収集する。基礎データ及びモデルの計算結果を基に、実験的に光学系、駆動系、制御系それぞれの条件よりシステム全体としての最適化を行い、精度の理論限界をめざす。特に回折格子のピッチ特性、ギャップ特性、ステージ駆動量の出力信号の関係について実験、検討する。

(2)位置センサの開発

モデルによるシステムの検討

自動位置決め装置の結果に基づき、位置センサの開発を行う。位置センサは自動位置決

め装置よりも制御が複雑となるため、光学系及び駆動系に対して、モデルによるシミュレーションを行い、位置精度への影響を評価する。

実験及び検討

構築したセンサにより、順次基礎データを収集する。基礎データ及びモデルの計算結果を基に、実験的に光学系及び駆動系を評価しシステム全体としての最適化を行い、精度の理論限界をめざす。

時間的及び空間的応答性の評価

時間応答性の評価及び制御方法の精度への影響について実験、検討する。実験結果と比較検討し、位置精度の向上及び整定時間の短縮を目指す。

4. 研究成果

(1) 本センサの位置検出には小型で非接触計測が可能な回折格子による光回折現象を利用している。これにより取り付け精度に影響しない高い繰り返し精度もつと考えられる。平行に並んだ2枚の回折格子に対して垂直にレーザ光を入射させると透過もしくは反射した光（モアレ光）の光強度が2枚の回折格子の相対変位もしくは相対角度の関数

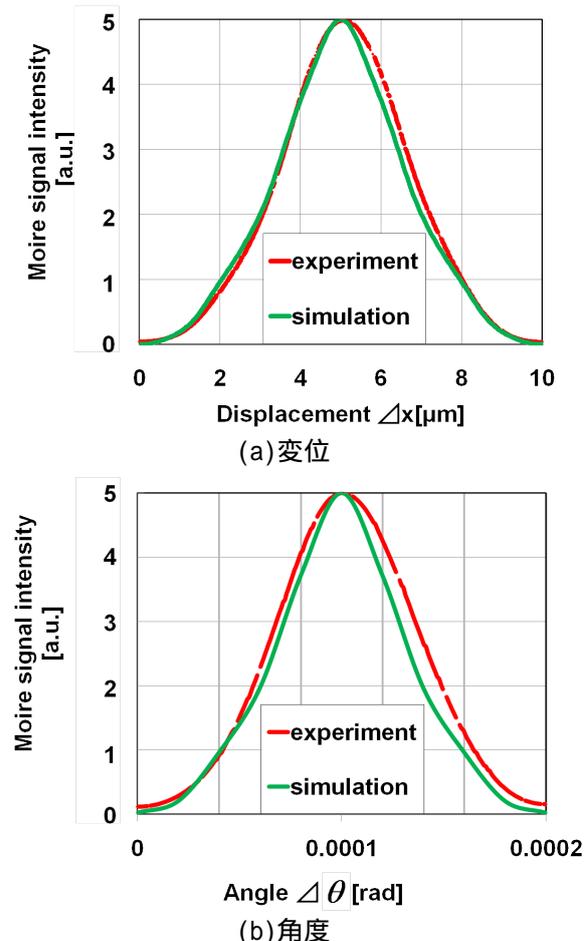


図1 モアレ光強度特性

として得られることを確認した。したがって、この関数を利用して光強度から変位または角度を求める。3種類のモデルは、フレネル回折及びフラウンホーファ回折による回折理論を基に構築した。

モデルによる計算結果及び実験結果の一例を図1に示す。図1(a)が変位に対する光強度、(b)が角度に対する光強度の結果を示している。実験条件は、光源 LD(波長 670nm)、格子ピッチ 10 μ m、格子間隔 490 μ mである。提案したモデルの計算結果と実験結果はよく一致しており、提案したモデルの妥当性を確認した。光強度が変位または角度に対して変化することから、位置センサとして利用できることが確認された。また、周期的に変化することも確認された。

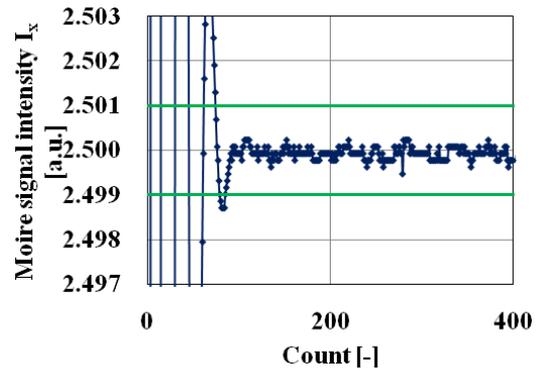
(2)自動位置決め装置に対する制御手法には実験段階であったため多くの制御に用いられているPID制御を用いた。

図2にXY軸変位自動位置決め結果の一例を示す。横軸が制御命令回数、縦軸がモアレ光強度である。光強度の0.5が初期値、2.5000が目標値である。図2において制御の各係数は、 $K_{px}=1000$ 、 $K_{py}=700$ 、 $K_{ix}=K_{iy}=300$ である。この結果より求められる位置精度は、標準偏差 X軸 0.07nm、Y軸 0.23nmとそれぞれ計算された。到達目標精度での自動位置決めを実現した。また、整定時間はそれぞれ 87、16 カウントであり、これは各係数や目標位置精度、使用したステージの精度が影響していると考察した。

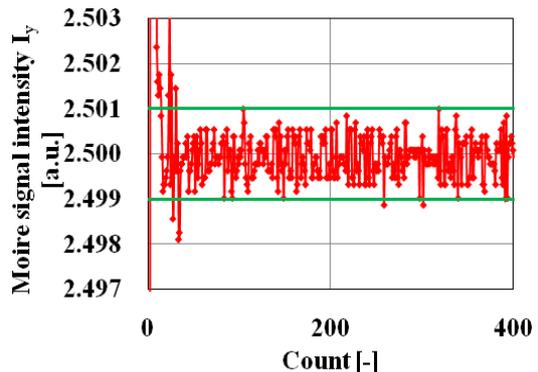
図3に角度自動位置決め結果の一例を示す。角度位置決めにおいては、標準偏差 X軸 6×10^{-9} radとなった。センサ部の取り付け精度の影響もあり XY軸変位自動位置決めと比較して精度は劣る結果となったものの、急激な角度変化に対しても素早く制御が働いていることを確認した。

(3)位置センサの評価の一例として、目標位置を円周状に1度ごとに変化させ、自動制御した場合の実験結果の一例を図4に示す。制御円の半径を3種類としたときの結果であり、これより真円度 6 - 10nmの結果が推定された。これは目標位置の設定により精度向上が見込まれる。これより位置センサとしての可能性を確認した。

(4)自動位置決め装置の実験結果より到達目標精度である標準偏差 X軸 0.07nm、Y軸 0.23nm、X軸 6×10^{-9} radでの安定した位置決め装置の開発を実験室レベルで実現した。これにより半導体製造の有効な道具となる。さらにこの技術を応用した位置センサにおいては、その有効性を確認した。これにより半導体の製造工程だけでなく、微細化が進む



(a)X軸



(b)Y軸

図2 自動位置決め結果(変位)

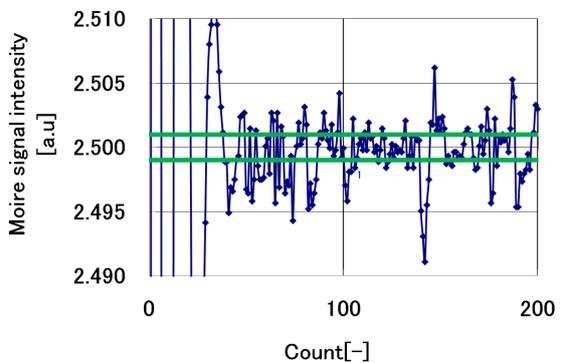


図3 自動位置決め結果(角度)

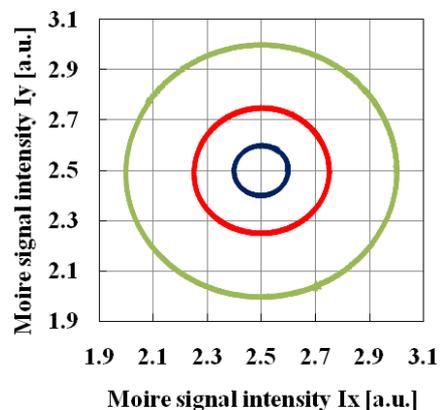


図4 円制御結果

MEMS、NEMS などの製造工程への応用も可能である。

以上よりナノレベルでの作製、制御、応用と全てにおいて有効な精密位置センサとなり得る。今後、実用レベルでの実証実験により位置センサの実現が待たれる。したがって、今後のナノテクノロジー技術分野の更なる発展に大いに役立つと期待できる。

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3件)

Saburo Uchida, Yoshihisa Uchida, et al., Zooming effect of three-dimensional shape measurement system using projection method, Proc. of SPIE, 査読有, Vol. 7506, 2009, pp.750606-1 - 750606-8

Li Jiang, Yoshihisa Uchida, et al., Blue Spectral Shift of P3HT Organic Film by KrF Excimer Laser Ablation, Proc. of SPIE, 査読有, Vol.7509, 2009, pp.75090F-1-75090F-9

Katsumi Tsujioka, Yoshihisa Uchida, et al., Three-Dimensional Whole Circumference Shapes Measurement System Using Optical Patterns Projection Technique, Proc. of SPIE, 査読有, Vol.7156, 2008, pp.71560C-1-71560C-6

[学会発表](計15件)

Tomoya Higuchi, et al., Micro-nano position control system using interferometric phenomena, EUSPEN Conference Proceedings 2011, 2011年5月27日, Como, Italy

樋口智哉, 内田敬久, 回折モアレ光を用いた微小角度変位センサ, 平成23年電気学会全国大会, 2011年3月16日, 大阪大学(大阪)

Rei Asai, et al., Morphology control of organic film using excimer laser, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies, 2010年12月19日, Hawaii, USA

樋口智哉, 内田敬久, 回折モアレ光を用いたXY軸自動位置決め装置の開発, 第53回自動制御連合講演会, 2010年11月6日, 高知城ホール(高知県)

Tomoya Higuchi, et al., Development of Non-Contact Micro-Nano Displacement Sensor using Interferometric Phenomena, EUSPEN Conference Proceedings 2010, 2010年6月2日, Delft, Netherlands

樋口智哉他, 回折モアレ型変位センサの開

発, 平成22年電気学会全国大会, 2010年3月18日, 明治大学

樋口智哉他, 回折光を用いた非接触微小変位計測, 日本機械学会, 2009年8月4日, 北海道大学(北海道)

Xiaohui Bao, et al., Blue Spectral Shift of Organic Film by Excimer Laser Ablation, International Workshop on Nanotechnology and Advanced Functional Materials, 2009年7月10日, Pune, India

Yoshihisa Uchida, Characteristics of Interferometric Measuring System for Sub-Nanometer Positioning, EUSPEN Conference Proceedings 2009, 2009年6月4日, San Sebastian, Spain

Yoshihisa Uchida, et al., Image Data Processing in Three-Dimensional Whole Circumference Shapes Measurement System using Optical Patterns Projection Technique, Proceedings of the 6th Lux Pacifica, 2009年4月24日, Bangkok, Thailand

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内田 敬久 (UCHIDA YOSHIHISA)
愛知工業大学・工学部・准教授
研究者番号: 20367626

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: