

論文内容要旨 (和文)

平成14年度入学 大学院博士後期課程 システム情報工学専攻

学生番号 02522308

氏名 宗石 猛



論文題目 圧電モータを用いたナノメートルオーダ高精度リニアステージの研究

レーザや電子線による半導体の露光微細化及びその評価技術は、市場の要求に追いつけない状況に陥りつつある。その主原因は、露光光源の短波長化により新たに発生する課題の解決に多大な時間がかかっていることである。その課題のひとつに半導体製造の基幹部材であるウェハ搬送用リニアステージの位置決め、定速性、停止安定性といった高精度化も非常に重要なポイントとして位置づけられている。

本研究は、半導体製造業界の要求を整理した上での「圧電モータを用いたナノメートルオーダ高精度リニアステージ」に関する研究である。すなわち、上記リニアステージの駆動源としての圧電モータと電磁モータの比較を行い、圧電モータの長所短所を検討し、長所を生かしながら短所に改良を加え実用化を実現することを目的としている。圧電モータの具体的な長所は、小型、耐特殊環境性は勿論のこと、位置決め精度、定速性は電磁モータと同等である上に、非駆動時のステージ停止安定性が電磁モータを大きく凌いでいる点である。逆に短所は、摩耗、発熱、高額な位置又は速度の測定器が必要であること、の3点である。

本論文は、上記研究の背景及び目的をふまえ、摩耗、発熱や効率の観点から圧電モータを検討した。また、本研究では、市場の幅広い要求に応えるべく、圧電モータを非共振型圧電モータと、共振型圧電モータに分類し、各々の長所を生かし短所を改良することを研究の基本に据えた。

まず、非共振型の圧電モータでは、最大の問題は、駆動周波数の低さを原因とするステージ及び周辺機器との共振であり、その共振により圧電モータの特徴を生かしステージを制御することが出来なくしていた。この点に注目し、(1) 2方向の振動振幅量が互いに干渉し、制御性が悪化することを抑制する圧電モータ構造、(2) 圧電モータの駆動電圧波形の改良、を中心に研究を行い、さらに、長時間駆動の安定性も確認している。

そして、共振型の圧電モータにおいては、ステージ停止時の安定性を改善することを最大の課題とし、さらに、摩耗と発熱の低減を目指した。これらの点に留意し、(1) 2方向の振動の独立性を高める様な構造を検討、(2) 摩耗の観点からの高速駆動用圧電モータの最高出力及び速度を検討、(3) ステージ停止時の安定性を確保する構造及び直列電圧印加により停止安定性の確保を検討し、さらに、長時間駆動の安定性も摩耗及び発熱の点からも確認している。

そして、特に製作の難しい共振型圧電モータに関しては、駆動時における周波数変化の確認及び製造方法を検討している。

そして、その評価として、(1) 圧電モータ駆動時の温度上昇計測、(2) 摩擦進行の確認、(3) 最高速度、最高出力、効率、位置決め精度、定速性、ステージ停止時の停止安定性の測定、を実施し、実用化を可能とした。

すなわち、非共振型圧電モータでは、移動重量 100kgf のステージを用い実験し、

- ①最小ステップ量 : 20nm
- ②位置決め精度 : $\pm 0.5\text{nm}$ (3σ)
- ③連続繰り返し再現 : 10000 回

及び、同じステージを用い、移動速度: $1\sim 50\ \mu\text{m}/\text{秒}$ 、の範囲で

- ①ステージ位置偏差 : $4\sim 5\ \text{nm}$ (3σ)、
- ②ステージ振動 : $7.5\ \text{nm p-p}$ 以下、

を達成している。

また、共振型圧電モータでは、移動重量 15kgf のステージを用い実験し、

- ①位置決め時間 : $1\text{s}/100\text{mm}$
- ②位置決め精度 : $\pm 1\ \mu\text{m}$
- ③停止安定性 : 2nm 以下 / 2s
- ④温度上昇 : $1\ ^\circ\text{C}$ (30%)
- ⑤信頼性テスト : 200km (装置 1 年分)

等を確認されている。

また本論文では、リニアステージ全体としての価格を考慮した検討も行っている。すなわち、圧電モータを単純に採用しただけでは、電磁モータを駆動源に採用した場合よりも安価にならないことに注目した。この原因は、電磁モータであるリニアモータやボールネジ+サーボモータには駆動源と直結した安価で正確な速度又は位置測定器が存在しているが、摩擦駆動の圧電モータにはそれが存在しないこと、並びに圧電モータの特長であるナノメートルレベルの測長器が非常に高額であることである。そこで、筆者は摩擦駆動の特長を生かしたステージ停止安定性を制御する安価な新しい測長方法を検討し、そのリニアリティを高額の市販品リニアスケールと対比し、評価した。更に、その新しい測長方法の長所を引き出す為に安価で分解能 $1\ \mu\text{m}$ 程度の測長器の検討を行い、圧電モータを用いたリニアステージを価格的な面からも研究し、市場に対する圧電モータの活用を促進した。

論文内容要旨 (英文)

平成14年度入学 大学院博士後期課程 システム情報工学専攻

学生番号 02522308

氏名 宗石 猛



論文題目 Study on Nano-Meter Order High Precision Linear Stage Using Piezoelectric Linear Motor

In the semiconductor industry, the microfabrication and the evaluation technology of LSI is falling into the situation in which it cannot catch up with marketing needs, because there are a lot of various problems. Making a linear stage for the wafer transportation that is the key equipment of the semiconductor manufacturing highly accurate is an important problem. The purpose of this research examines good and bad points of a piezo-electric motor as driving source of a linear stage, and added the improvement to the weak point while making the best use of the merit. The merit of the ultrasonic linear motors is that they are completely nonmagnetic, compact and can be operated in vacuum, and they generate a holding force that maintains the stage position without consuming electric power additionally. The weak point is to have heat generation oppositely in no small way, and not to obtain the reliability of long-term use by wear-out.

In this research, while considering these backgrounds, we examined the piezoelectric motor from the view of wear-out and heat generation. To satisfy a wide demand of the market, we classified the piezoelectric motor into non-resonance type and a resonance type. So we make the best use of each merit and have improved the weak point.

We examined the improvement of the structure of each motor etc. , improved each feature, and obtained the following results.

Concretely, Amount of minimum step:20nm, Positioning accuracy : ± 0.5 nm, Stage following error : 4~5 nm , Stage vibration : 7.5 nm p-p, Stage stability : 2nm, Heat generation : less than 1 $^{\circ}$ C (30%)

We confirmed the performances are satisfied, after using these motors for a long term, nevertheless the wear-out and heat generation.

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成17年 2月 7日

理工学研究科長 殿

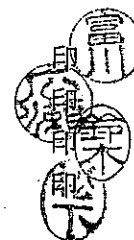
課程博士論文審査委員会

主査 富川 義朗

副査 広瀬 精二

副査 鈴木 勝義

副査 松下 浩一



学位論文の審査及び最終試験の結果を以下のとおり報告します。

1. 論文申請者

専攻名 システム情報工学 専攻
氏名 宗石 猛

2. 論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

圧電モータを用いたナノメートルオーダー高精度リニアステージの研究

3. 学位論文公聴会

開催日 平成17年 1月26日
場 所 山形大学工学部9号館300-2室

4. 審査年月日

論文審査 平成17年 1月26日 ~ 平成17年 1月31日
最終試験 平成17年 2月 1日 ~ 平成17年 2月 7日

5. 学位論文の審査及び最終試験の結果 (「合格」・「不合格」で記入すること。)

- (1) 学位論文審査 合格
(2) 最終試験 合格

6. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200字程度)

別紙のとおり

7. 最終試験の結果の要旨

別紙のとおり

別紙

専攻名	システム情報工学専攻	氏名	宗石 猛
学位論文の審査結果の要旨			
<p>レーザや電子線による半導体の露光微細化及びその評価技術は、市場の要求に追いつけない状況に陥りつつある。その主原因は、露光光源の短波長化により新たに発生する課題の解決に多大な時間がかかっていることである。その課題に半導体製造の基幹部材であるステージの位置決め、定速性、停止安定性等の高精度化も挙げられている。本研究は、半導体関連製造業界の要求を整理して、ステージの駆動源として圧電モータの適用を検討したものである。すなわち、本モータと他モータとの比較を行い、圧電モータの特長を活用し、産業や工学への寄与を図ることを目的としている。また、本論文では、市場の幅広い要求に応えるべく、圧電モータを非共振型モータと、共振型モータに分類し、各々の長所を生かし短所を改良することを研究の基本に据えている。論文の内容は以下の通りである。</p> <ol style="list-style-type: none">1. 市場要求と圧電モータの特長整理 圧電モータの特長である、ステージの小型化、耐特殊環境性、位置決め精度、停止位置安定性等を活用する為に、市場要求及び圧電モータの特長を対比、検討した。特に、半導体産業の根幹となる電子ビームを使用した装置に対する圧電モータの効果を他の駆動系との比較に基づき述べている。2. 非共振型圧電モータによるステージ制御 非共振型圧電モータの主たる特長として、ナノメートルオーダーでのステージ制御の可能性が示唆されている。非共振型モータは、ステージ等の周辺機器との共振という課題をもつが、モータ構造と駆動電圧波形に改良を加えて、市場要求でもあるナノメートルオーダーでのステージ制御を実現した。さらに、その安定性や信頼性を長期間駆動テストにより検証した。3. 共振型圧電モータによるステージ制御 共振型圧電モータの実用化への最も重要な課題として、ステージ停止時の位置安定性向上があげられる。その課題解決には、モータ保持の高剛性化が必要である。本論文では、モータの各振動の独立性を高める構造を検討し、効果を確認した。また、摩耗の観点から圧電モータの最高出力及び速度を考察し、長期駆動テストを実施した。そして、位置安定性、発熱、摩耗面の変化を確認し、性能面だけでなく信頼性からも市場要求を満足できることを検証した。4. 位置安定性測定器及び速度測定器 圧電モータによるステージ系、つまり、ステージ本体、駆動源、位置又は速度測定器等を含む系が、他の駆動源が使用される場合と比較して高価となることも実用化への課題としてあげている。そして、その差異は安価な位置又は速度測定器の有無に起因するとして、圧電モータに直結した測長器を検討し、試作した。すなわち、これと市販品との比較テストを実施し、遜色の無いことを検証した。 以上、様々な角度より圧電モータの実用化への課題の認識、改善を行い圧電モータの有用性を検証すると共に、将来の展望についても論じている。本研究の成果は、強誘電体応用に関するシンポジウムや国際会議で本人自らが2回の発表を行った。また、学術雑誌へは2報（1報、英文）が掲載されている。また、本研究に関する国内特許も4件出願されている。これらの研究成果は、学術的、工学的に価値ある知見を多く含んでおり、よって博士論文として十分なものとして認め、合格と判定する。			

最終試験の結果の要旨

宗石猛氏が専攻する「圧電モータを用いたナノメートルオーダ高精度リニアステージの研究」に関して、(1) 圧電振動に関する基礎知識の習得とその圧電モータへの適用、(2) 実問題への適応能力が面接により確認出来た。さらに、語学力に関しては、(3) 圧電モータに関する論文2編(1編英文)、国際会議において1件の発表を行っている。これにより、宗石猛氏は研究者としてのレベルに達していると認められる。加えて、(4) 公聴会における適切な対応により、博士に相当する学力と見識が認められた。これらを総合し、最終試験は合格と判定した。