

超精密ステージ開発 ～第3報～

| | |
|-------------|--|
| (有)熊本テクノロジー | : 江頭義也, 小坂光二, 馬場哲郎, 岩渕哲也 |
| 太平洋セメント(株) | : 宮田昇, 山川孝宏, 渡邊雅幸 |
| (株)日本セラテック | : 森山司郎, 佐々木俊一 |
| (株)アラオ | : 荒尾淳, 井上知行, 高木宏司 |
| オオクマ電子(株) | : 大隈義信, 大隈恵治 |
| 熊本県工業技術センター | : 高橋孝誠, 井戸泰男, 坂本博宣 |
| 熊本大学 | : 小磯公房, 古川博之, 遠藤泰史, 橋口弘幸, 原田崇, 永本恵市, 森園靖浩, 中田明良, 久保田弘 |
| 長岡技術科学大学 | : 大石潔 |
| 東北大学 | : 大見忠弘 |

1. はじめに

熊本県地域結集型プロジェクトのコアテーマで開発を進めている超精密高速ステージは、12 インチウエハ世代の半導体製造技術の要求を満たすために、高速移動が可能であり、かつ、ナノメートルオーダーでの位置制御が出来ることを目標としている。この目標を達成するためには精密かつ高速に駆動するための駆動源が必要となる。開発中のステージ駆動源は、従来の回転型/リニア型電磁モータ等とは異なり、圧電アクチュエータにより構成している。この非共振型超音波モータ (NRUSM: Nonresonant ultrasonic motor) の動作原理は1対のアクチュエータを基本単位としており、最適な伸縮・剪断動作をさせることにより、変位限界数 μm である圧電アクチュエータを用いた長ストロークの連続移動が可能となる^[1]。これまでの研究により、オープンループ駆動特性においては最高速度327mm/s、リニアスケール/エンコーダ(ソニープレジジョンテクノロジー:BS76/BD15-T22)とPID制御法を用いた制御分解能0.69nmのクロズドループ駆動特性として、相対位置決め精度 $\pm 0.69\text{nm}$ @平均追い込み時間290ms、連続移動時の2nm/sの速度差識別などの性能が確認されている^[1]。本開発を実用化させることが最終目標であるが、信頼性評価の一つとして連続走行距離200kmを初期の目標としている。本報では耐久試験の経過について報告する。

2. 駆動耐久試験

NRUSMの耐久性評価には、アクチュエータの圧電材料の性能耐久性と、発生変位を摩擦によって伝達する接触部分(アクチュエータ先端チップとステージ側ガイドプレート)の耐久性に大別することが出来る。接触部分の耐久性に関しては材料の組合

表 1. 耐久試験条件と結果

* H14.12.5 現在

| 実験 | ブラシ | 駆動方法 | 駆動時間 (h) | 概算距離 (km) |
|----|-----|---------|----------|-----------|
| 1 | 無 | オープンループ | 36 | 2 |
| 2 | 有 | オープンループ | 723 | 65 |
| 3 | 有 | クロズドループ | 続行中 | 150* |

せにより改善が見込まれるため、まずはアクチュエータの圧電性能耐久に着目して評価を開始した。表1にNRUSM評価用ステージ(ストローク:100mm, 可動部重量:1.2kg)を用いて実施した耐久試験の結果を示す。なお、接触部分は全実験を通して先端チップ/ガイドプレート共にアルミナセラミックスを使用している。

実験1はNRUSMをステージ側面に取り付け、ステージ送り速度並びに加速/減速を全く制御せず一定電圧印加(オープンループ制御)により評価したものであるが、走行距離約2kmで駆動停止した。ガイドプレート表面にセラミック粉塵が確認されたことから、アクチュエータ発生変位が確実に伝達出来ていないことが停止原因であると推測された。そこでガイドプレート表面に付着した粉塵を除去するために、ブラシ機構を装備して評価したのが実験2である。アクチュエータ発生変位が $1\mu\text{m}$ 程度^[2]であることから、発生粉塵が駆動に大きな影響を及ぼすことが説明でき、それが反映された結果となった。いずれの評価実験においても、アクチュエータの圧電特性は評価開始前と比較して劣化していないことから、実験2の駆動停止原因は先端チップもしくはガイドプレート側に原因があることが考えられる。両接触部分の表面形状計測の結果、ガイドプレートに局所的な磨耗が発生しており、特にステージ駆動

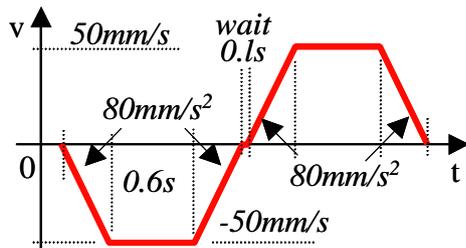


図 1. クローズドループ制御の駆動プロファイル

方向の反転するプレート端部では $0.2\mu\text{m}$ 以上の磨耗が確認された。これはオープンループ制御による駆動方向反転時の急加速/急減速が原因と考えられる。そこで加速/等速/減速の駆動全体を完全に制御されたクローズドループ制御による駆動が有効であることが考えられる。

図 2 にクローズドループ制御における 100mm ストロークステージの往復の駆動プロファイルを示す。この駆動プロファイルにてステージを駆動した時のサーボモニタ電圧 (Max 値: 10V) を観測することで、アクチュエータの駆動状態を予測できる。同じ駆動速度を維持するためにより高い電圧印加が必要となれば、駆動性能が低下していると判断できる。図 2 の上部グラフは、実験 2 と同じセットアップにてクローズドループ制御で駆動した時の駆動後 1 分以内のサーボモニタ電圧を重ね合わせたものであるが、時間と共にサーボ電圧が高くなっていることが分かる。アクチュエータの表面温度が駆動後 1 分で 23°C の温度上昇が起きていることから、この駆動性能低下は圧電素子の発熱によるものであると考えられた。この性能低下のメカニズムは、圧電素子発熱→圧電素子の積層間接着剤軟化→アクチュエータ先端での合成変位減少→駆動性能低下と予測している。圧電材料の発熱は材料固有の損失成分 $\tan\delta$ (誘電正接) により決定される。そこでこれまで使用してきた圧電材料 (A 材: $\tan\delta=2.0\%$, $d_{15}: 1010 \text{ pm/V}$) よりも損失成分が小さい材料 (B 材: $\tan\delta=0.5\%$, $d_{15}: 580 \text{ pm/V}$) によりアクチュエータを構成し駆動を試みた。図 2 の下部グラフは B 材型アクチュエータの、クローズドループ制御での駆動後 10 分以内の状態を示したものであるが、サーボモニタ電圧に変化は見られず、安定した駆動が得られている。この時の素子表面の温度上昇は 1°C 以内に抑えられており、低損失材料が圧電アクチュエータに有効な材料であることが分かる。

実験 3 (表 1) は低発熱材料である B 材で構成さ

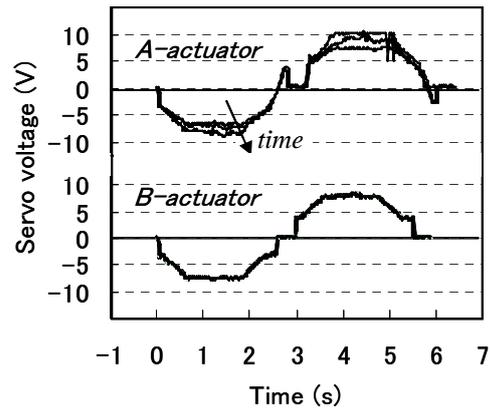


図 2. クローズドループ制御駆動時のサーボモニタ電圧 (A-actuator: $\tan\delta=2.0\%$, B-actuator: $\tan\delta=0.5\%$)

れたアクチュエータを用いた耐久試験の経過を示したものであるが、走行距離が大幅に伸びており、目標走行距離に近づきつつある。

3. まとめ

NRUSM の耐久試験の実施により下記の課題が明らかとなった。今後は信頼性評価項目を追加し、早期実用化を目指した開発を進める。

- (1) アクチュエータとステージ接触部分の最適材料の選択
- (2) 磨耗減少のための最適駆動条件導出
- (3) 圧電素子の積層間接着の改善
- (4) 低損失 ($\tan\delta$) かつ高圧電定数 (d_{15}) を有する圧電材料の開発

4. 謝辞

本研究を開始するにあたり、原理発案と有益な御助言を頂いた青山学院大学魚住清彦教授に心より感謝いたします。本研究は、科学技術庁熊本地域結集型事業により行われたものである。

参考文献

- [1] Yoshiya Egashira, et al.: Japanese Journal of Applied Physics, Part 1, Vol. 41, No. 9, pp. 5858-5863, 2002.
- [2] 江頭義也, 他: 2002 年度精密工学会春季大会, 講演論文集, 119 頁.

連絡先

有限会社熊本テクノロジー
 熊本県上益城郡益城町田原 2020-3
 テクノインキュベーションセンターA-2
 Tel : 096-287-1260, Fax : 096-287-1261