

空気圧ベローズで駆動する微動ステージのナノ位置決め

○水野智国*, 藤田壽憲*

Nanoscale Positioning of Fine Motion Stage Driven by Pneumatic Bellows

Tomokuni MIZUNO*, Toshinori FUJITA*

The semiconductor industry requires accurate stage positioning, in the order of nanometers, for many fabrication processes. In addition, the demand for precision positioning of nanometer-order is increasing with the progress of nanotechnology. Currently, such precise positioning is realized using a stage driven by a piezoelectric element. However, the piezo-electric element has disadvantages of low durability and short stroke. These disadvantages can be removed by the use of a pneumatic bellow actuator instead of a piezoelectric element. In this study, a stage for fine movement has been developed with air bearing driven by pneumatic bellows, and the positioning control method has been examined. Consequently, the positioning accuracy is 0.01 ± 0.9 [nm] and the positioning resolution is 1 [nm] with good positioning repeatability, when feed forward and proportional-integral (PI) control was performed. It is concluded that the developed stage has precise positioning accuracy of nanometer-order and can be applied to many cases where the use of a piezoelectric element cannot be realized.

Key Words : Pneumatics, Position Control, Nanoscale, Bellows, Stage

1. 緒言

半導体産業を中心に超精密位置決めに対する需要は年々増加する傾向にある。特に露光や三次元実装などの装置においてはナノメートルオーダーの超精密位置決めに対する需要はますます高まっている。

ナノテクノロジーの進展に伴い、特に半導体産業を中心に超精密位置決めに対する需要は高まっている。特に露光や三次元実装などの装置においてはナノメートルオーダーの精度が求められている。

この精度を実現するアクチュエータとして、圧電素子が多く利用されている。しかしながら、その変位は積層形としても高々50[μm]と小さく、積層する際に使用される接着剤の耐久性も問題となっている。一方、空気圧では微動アクチュエータとしてベローズが用いられてきた。その変位は圧電素子と比較して100倍以上も大きく、容易に数ミリ程度の変位が得られる。また金属製ベローズではすでに耐久性が明らかにされ信頼性も確立されている。空気圧ベローズによりナノメートルの位置決めが実現できれば、圧電素子の欠点を克服できる空気圧ベローズが圧電アクチュエータの代替と成り得る。

このような背景から、本研究では静圧軸受案内で支持されたステージを空気圧ベローズにより駆動する微動ステージを構築し、ナノメートルの超精密位置決め制御を実現することを目的とする。

2. ベローズで駆動する微動ステージ

Fig.1に構築した微動ステージを示す。ステージには空気圧ベローズが対向して設置されている。これらの気圧ベローズに差圧を発生させ、ステージを駆動する。差圧を発生させる制御弁にはノズルフラップ型サーボ弁を用いた。一般的なノズルフラップ型サーボ弁では小孔による固定絞りと組み合わせて構成されている。この絞りで発生する高速流が弁内で減衰する際に、流体ノイズとなりステージを振動させることがわかった。そこで本研究では、すきま流れを利用した絞りに置き換え、粘性流れにより弁内への流速を抑制し、流体ノイズを低減した低流体ノイズサーボ弁を採用している。ステージ変位は半導体レーザを用いた格子干渉方式のリニアエンコーダ（以下、レーザスケールと呼ぶ）で計測した。最小分解能は62.5[pm]である。

ステージの制御アルゴリズムをFig.2に示す。ベローズはばね特性を有するため制御対象は定位性を有し、P制御だけではオフセットを生じる。これを補償するためにフィードフォワード制御を行った。さらにベローズやサーボ弁特性によるヒステリシスの補償のためにPI制御を加えている。フィードフォワードゲインはステージ特性から決定し、比例ゲインと積分時間は位置決め精度を重視しながら試行錯誤により決定した。

3. 位置決め制御結果

Fig.3にステージの位置決め精度を調べた結果を示す。(a)が中心付近での結果であり(b),(c)が中心から $\pm 600[\mu\text{m}]$ の位置での結果である。 $\pm 600[\mu\text{m}]$ の位置はステージのストローク端付近である。位置決め精度はか

* 東京電機大学

(〒120 - 8551 東京都足立区千住旭町 5)

(E-mail: 13kmm38@ms.dendai.ac.jp)

* Tokyo Denki University

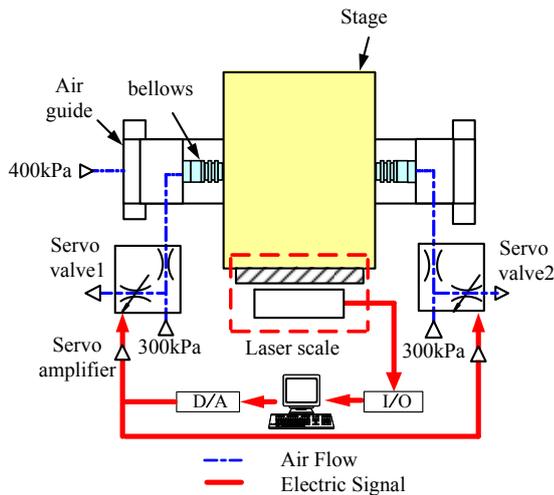


Fig.1 Schematic diagram of stage drive system

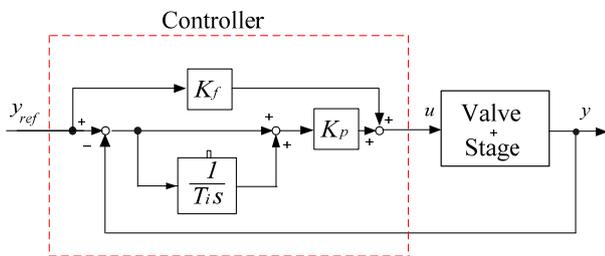


Fig.2 Control algorithm of stage drive system

たより e とばらつき σ を用いて $e \pm 3\sigma$ で評価される. 図に示したステップ応答の整定後のデータからこれらを求めた. その結果, 中心付近で位置決め精度は $0.01 \pm 0.9[\text{nm}]$ となった. これに対し $+600[\mu\text{m}]$ の位置では $0.03 \pm 0.9[\text{nm}]$, $-600[\mu\text{m}]$ の位置では $0.05 \pm 1.2[\text{nm}]$ の結果となり, 中心付近の精度と比べて若干, 劣っている結果となった. しかし, 変位センサの分解能や実用性を考慮すると中心付近以外でも位置決め精度は良好であると言える.

位置決め分解能を調べた結果を Fig.4 に示す. (a) が中心付近, (b), (c) が中心から $\pm 600[\mu\text{m}]$ の位置からステップ幅を $1[\text{nm}]$ として 3 秒間隔でステップ信号を階段状に与えたときのステージの応答である. 入力したステップ幅で変位を得られれば, その幅の分解能を得ることができる. Fig.4 において毎回のステップ信号に対し, $1[\text{nm}]$ 毎に目標値に追従しており, $1[\text{nm}]$ の分解能を有していることが確認できる. 弾性ヒンジのステージに比べ位置決め分解能も大幅に向上することができた. またデータとしては示さないが再現性も良好であった.

4. 結論

本研究では空気圧ベローズで駆動する静圧案内で支持されたステージの超精密位置決め制御を行った. そ

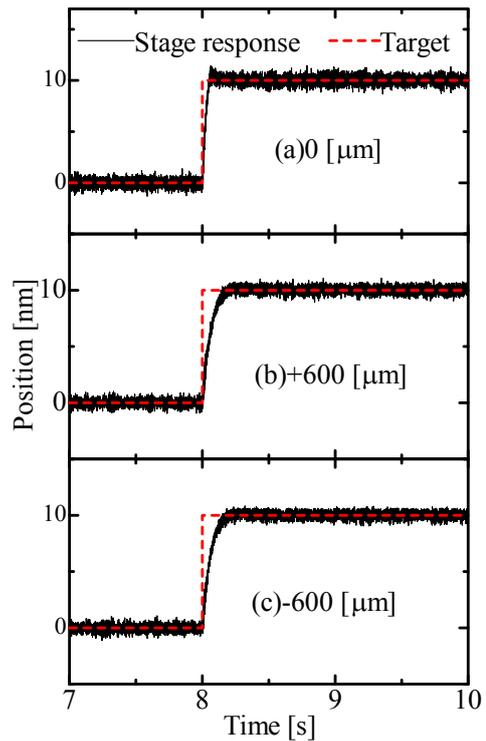


Fig.3 Positioning accuracy of stage

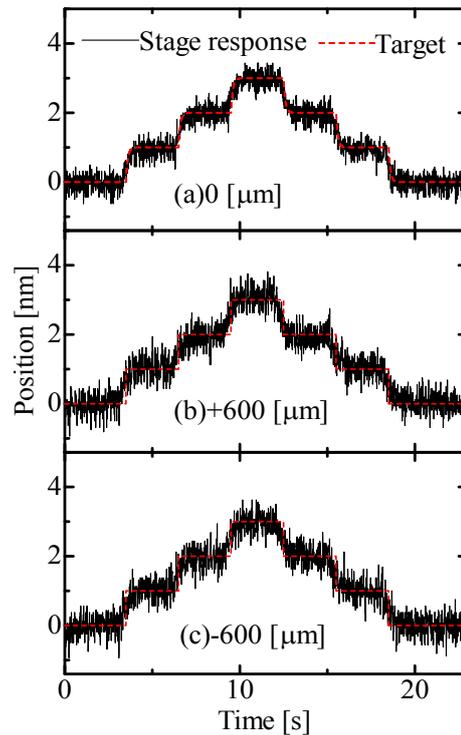


Fig.4 Positioning resolution

の結果, 良好な再現性を保ちながら $0.01 \pm 0.9[\text{nm}]$ の位置決め精度と $1[\text{nm}]$ の分解能を実現することができた.

なお, 本研究は JSPS 科費費 基盤研究(C) 22560251 の助成を受けたものです.