712

超伝導磁気浮上搬送装置の開発

九州工業大学

○鴨川元一 小森望充

Development of a levitated transportation conveyer using superconducting magnetic levitation

G. Kamogawa and M. Komori, Kyushu Institute of Technology

Abstract: Pure environments without any very small dusts in chambers of semiconductor devices are needed for high density VLSI process. For these devices, we propose a new transportation conveyer of wafers in a vacuum using superconducting magnetic levitation. This system is characterized by making wafers levitate and reducing wafer vibrations. This paper describes simulation results and experimental ones for the new system.

1. 緒言

現在、半導体製造装置においてはミクロンサイズのごみの存在も許容されないクリーンな真空槽で行う必要がある。

そして真空槽内でシリコンウエハの移動などには無塵のクリーンロボットを用いる必要があり、装置自体から隔離され、密閉された真空室内ですべての工程を完了すべきである。そこで本研究では真空装置内で超伝導磁気浮上により物体の移動を可能にするための外部装置の開発を行う。本年度はその前段階としてシミュレーション、基礎実験を行いそのシステムを検証する。

Fig.1 Equipment outline

2. 装置概要

本システムの装置概要を図1に示す。装置上部に真空槽を配置し、永久磁石の付いた浮上台がある。下部には浮上台を動かすための上昇装置と左右に動かすためのレールを配している。

3. モデル化

シミュレーションを行うために電磁石で制御したピン止め浮上の1自由度モデルを図2に示す。ここで f_m は電磁石による力、 f_d は外力、 k 、 c はピン止め浮上した時に得られるばね定数、減衰係数を示す。

次に図2を表す式を式(1)に示す。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx + f_m - f_d = 0 \quad (1)$$

Fig.2 one-degree model

(1)の電磁石による力を x と $\dot{x}$ のフィードバックにより求める。ここで超伝導体と永久磁石の間を 8mm、コイルの厚さを 5mm として、式中の c 、 k はピン止め浮上させた時永久磁石を加振して得た振動振幅波形より求めた。また永久磁石は直径 24mm、重さ 11g のものを使用した。フィードバックゲインは最適制御を用いて求めた。

4. シミュレーション結果

図3に電磁石による制御を行わないで1Nの外乱を加えた時の振動振幅波形を示す。これは実験的に求めた波形と定性的に一致する。またピン止め効果により制御を加えなくても振動は収まっていくが、収束時間は3秒以上となりかなり時間がかかっていることが分かる。

Fig.3 Impulse response at un-controlling

次に同じ条件で制御を加えた時の振動振幅波形を図4に示す。これにより0.1秒と早く振動が収まっているのがわかった。これにより浮上物体を軽く加振する程度の外乱であれば、ただちに振動は減衰し元に戻るため、この制御が有効であるといえる。

Fig.4 Impulse response by 1N

シリコンウエハー等が乗ったことを想定し、浮上体の上に物体が1秒間乗ってその物体が浮上体に加える力を1Nとした時のステップ応答を図5に示す。ここでは物体が加える力によるギャップの低下を考慮していないため、はじめの永久磁石の位置から約 2.8×10^{-2} m下がったところで安定し物体が取り除かれた後も元の位置に戻っているのでこの結果も有効であることがわかる。

Fig.5 Step response by 1N

5. 実験装置

超伝導体はリング形状で直径が44mm その上にセンサのためのホール素子が乗っており、全体を冷却のため囲んで液体窒素で満たしている。そして、その下に超伝導体とほぼ同じ大きさの制御用のコイルを配置している。制御入力にはホール電圧とコイル電流を用いて計算によりギャップをはかる。そして、PCより得た制御電流をコイルに流すことによって制振する。

Fig.6 Experimental setup

6. 実験結果

ホール素子をギャップセンサに使うために永久磁石からのホール電圧からコイルの励磁電流によるホール電圧を差し引くためにギャップとホール電圧の関係とコイル電流とホール電圧の関係を図7に示す。

次に浮上している永久磁石に外乱を加え、また永久磁石

を加振して制御時と非制御時の波形を読み取った。その実験結果を図8, 9に示す。この結果より減衰時間が3分の1以下になっていることが分かった。また、図10は制御時の制御電圧を示す。

Fig.7 Relationship between coil current and Hall voltage

Fig.8 Impulse response without control

Fig.9 Impulse response with control

Fig.10 Control voltage with control

7. 結言

今回実験機の構造を考える際に2つの移動体(超伝導体)と浮上体(永久磁石)の組み合わせたものを考案した。そしてそれらをモデル化したものに軽い外乱を加えてシミュレーションを行った。シミュレーション結果により外乱が加えられてもすぐに減衰し元の位置に戻った。また、実験においても十分に制御が行われていることが確認でき本システムの有用性を示すことができた。