

MEMS技術を用いた静電アクチュエータに基づくマイクロ搬送システムに関する研究

PHAM HONG PHUC

本論文は、静電アクチュエータを駆動源としたラチェットメカニズムによって力を伝達し、マイクロコンテナを搬送するシリコンマイクロ搬送システム (MTS, Micro Transportation Systems) の設計、製作、評価、および工業応用を目指したポリマー材料による静電アクチュエータのホットエンボス加工の基礎研究についてまとめたものである。

本論文で新たに提案したマイクロ搬送システムは、医療、生化学、ナノテクノロジー分野において顕微鏡下でのマイクロ・ナノ寸法の検体の検査、測定において移送、分類に供することを目的としている。本研究マイクロ搬送システムは外形 $450\mu\text{m}$ (長さ) $\times 210\mu\text{m}$ (幅) $\times 30\mu\text{m}$ (厚さ) のマイクロコンテナを、櫛歯電極形静電アクチュエータで駆動するラチェットメカニズムにより、線形および曲線の軌道を制御された速度で搬送し、 $6\times 6\text{mm}^2$ 寸法を一単位とした、直線モジュール、回転モジュール、スイッチモジュールを組み合わせ、複雑な軌道経路を組織することができるシステムである。本論文ではマイクロコンテナがアクチュエータの駆動方向と並行方向に移動する並行駆動型と、直交方向に移動する直交駆動型の2種の駆動法を提案し、その設計および性能評価結果を示している。

本研究マイクロ搬送システムは、SOI (Silicon on Insulator) 基板を使用し、使用するフォトマスク1枚のみのD-RIE (Deep Reactive Ion Etching)およびHF 蒸気エッチングを組み合わせたMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 製造技術により製作される。本研究によって試作したマイクロ搬送システムの直線搬送速度は駆動電源周波数に比例し駆動電圧190V、1Hz~40Hzで $0.01\text{mm/s}\sim 0.71\text{mm/s}$ を得ることができた。また 90° 回転および2値分類が可能なスイッチ構造を提案することができた。

本研究マイクロ搬送システムをはじめMEMSの更なる工業応用・普及を図るために一桁以上の低コスト化が可能な材料、製法としてポリマー材料によるホットエンボス加工を取り上げ、ホットエンボス装置の開発、シリコンによる金型製作および成型法の基礎研究を行い、PMMA材料を用い最小幅 $2\mu\text{m}$ で高さ $30\mu\text{m}$ 、アスペクト比 15 の微細構造体の加工を達成し、量産化の見通し得ることができた。

論文は以下の8つの章から構成される。

第1章では本論文の概要と従来のマイクロ搬送システムについて概説する。

第2章では静電駆動の理論と櫛歯電極型アクチュエータの原理を述べる。

第3章では第一タイプとして並行駆動型のシリコンマイクロ搬送システムのシミュレーション、設計、動作原理を述べる。

第4章では第二タイプとして直交駆動型のシリコンマイクロ搬送システムのシミュレーション、設計、動作原理を述べる。

第5章ではシリコンマイクロ搬送システムのMEMS技術に基づく製作プロセスについて述べる。

第6章ではシリコンマイクロ搬送システム2つのタイプの性能評価について述べる。

第7章では、ポリマー材料のマイクロ構造を製作するためのホットエンボス装置の開発、シリコン金型の製作プロセス、ホットエンボスの基礎実験結果について述べる。

最後に第8章では、本研究をまとめ、結論および今後の課題について述べる。