

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Fabrication and Application of Micro Diaphragm-type Electromagnetic Actuators Utilizing Thin Film Permanent Magnet
著者(和文)	ZHICHAO
Author(English)	Chao Zhi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9692号, 授与年月日:2014年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:進士 忠彦,香川 利春,北條 春夫,初澤 毅,吉田 和弘
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9692号, Conferred date:2014/12/31, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	ZHI Chao		
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	進士 忠彦	教授	審査員	吉田 和弘	准教授
	審査員	香川 利春	教授			
		北條 春夫	教授			
		初澤 毅	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

論文題目: 「Fabrication and Application of Micro Diaphragm-type Electromagnetic Actuators Utilizing Thin Film Permanent Magnet」

本論文は、「薄膜磁石を用いたマイクロダイアフラム式電磁アクチュエータの製作と応用」と題して、全5章から構成されている。

第1章「Introduction (緒論)」では、小形、大変位のダイアフラム式マイクロアクチュエータが、マイクロポンプや触感ディスプレイで求められており、電磁力方式が、低電圧駆動、大変位が得られる点で有望であると述べている。しかし、現状のダイアフラム式電磁力アクチュエータの多くは、機械加工した焼結磁石と鉄心入り電磁石から構成され、小形化、集積化には適していない。本論文では、上記の問題解決のため、スパッタ成膜された高性能薄膜ネオジム磁石(以下、TFPM)とマイクロ平面コイルからなるMEMSプロセスに適したダイアフラム式電磁力アクチュエータ(以下、Micro DEMA)の設計・製作手法を開発することを最終目的としている。TFPMは、通常の焼結磁石と比べ、代表寸法に対する厚みの割合を示すアスペクト比が極めて小さい特徴を有している。また、本研究では、TFPMを用いたMicro DEMAの応用先としてマイクロポンプを想定している。

第2章「Micro DEMA utilizing TFPM and its application to prototype pump (薄膜磁石を用いたマイクロダイアフラム式電磁アクチュエータとその試作ポンプへの応用)」では、シリコーンゴムの一種であるPDMS膜に、円形加工されたTFPMを接着したダイアフラムを、機械加工された鉄心コアを有する電磁石により駆動するMicro DEMAの実現と、マイクロダイアフラムポンプへ適用した結果について述べている。はじめに、TFPMの縁に沿って磁束を集中させるように設計した電磁石が、駆動力の向上に有効であることを、磁場の数値解析から明らかにしている。ついで、スパッタ時の温度の問題から、PDMS膜に直接TFPMを成膜できないため、一旦、耐熱性のあるニオブフィルムにTFPMを堆積し、そのフィルムを円形に成形後、PDMS膜に接着する方法を提案している。PDMSシート上に試作したMicro EDMAの直径は7mm、厚み80 μ mで、 $\pm 500\mu$ mの変位が発生可能なことを示している。最後に、この試作したMicro DEMAをバルブレスマイクロダイアフラムポンプとして実装し、ポンプ動作を確認している。

第3章「MEMS process integration of TFPM with flexible diaphragm (薄膜磁石とフレキシブルダイアフラムのMEMSプロセスによる一体化)」では、Micro DEMAのさらなる小形化、集積化のた

め、MEMS プロセスに適用可能な PDMS 膜と TFPM の接着法の開発について述べている。はじめに、MEMS 加工性や耐熱性に優れたシリコン基板に、TFPM を堆積、成形加工し、ついで、PDMS 膜を形成、最後に、シリコン部をドライエッチングにより除去する手法を提案している。PDMS 膜への影響が少ないエッチングガスとして二フッ化キセノンを用いたところ、当初、エッチング時の発熱反応が原因で、PDMS 膜の残留変形や TFPM の減磁が発生した。このため、エッチング中のシリコン基板の温度を計測しながら、二フッ化キシノンのガス圧を調整する方法を開発し、温度上昇を抑えながらも、シリコンのエッチングレートを大きく低下させないプロセスの実現に成功している。これにより、劣化や損傷を与えず PDMS 膜と TFPM を接着する MEMS プロセス法を確立したとしている。

第4章「Development of high force/energy density planer micro electromagnetic actuators and their applications to a flexible MEMS pump (高力・エネルギー密度平面マイクロ電磁アクチュエータの開発とフレキシブル MEMS ポンプへの応用)」では、発生する磁束密度を向上させるため微細加工した TFPM と、その形状に合わせた特殊形状の平面マイクロコイルからなる平面電磁アクチュエータを開発し、ポンプへ実装した結果について述べている。はじめに、TFPM の小アスペクト比を原因とした反磁界の影響から、第2章で試作したアクチュエータの出力が不十分であることを述べている。その対策として、TFPM を短冊状もしくは格子状に細分化することで、アスペクト比を高め、その複数に分割した TFPM の周辺を平面配線で囲む電磁アクチュエータ構造を提案している。また、TFPM 下面からの漏れ磁束の低減のため、パーマロイ膜を TFPM 下面に設けることも提案し、電解メッキで形成する手法を検討している。つづいて、本手法を適用したアクチュエータを試作し、TFPM を分割しないものと、格子状に分割し、パーマロイ膜を施したものの単位体積当たりの発生力を比較すると、約7.8倍まで力密度が増大していることを確認している。最後に、本アクチュエータを実装し、流体回路も含め PDMS 製の全体がフレキシブルな構造となる MEMS ポンプを試作し、動作検証を実施して、問題点を把握している。その結果、TFPM とコイルのアライメント向上やダイアフラムの傾きの微調整などによる所期発生力の確保が重要課題であるとしている。

第5章「Conclusion and future work (結論)」では、本論文で得られた研究成果を総括するとともに、今後の課題を述べている。

以上要するに、本論文は、TFPM と PDMS 膜を用いたダイアフラム式電磁マイクロアクチュエータの小形化、高出力化のための MEMS プロセスに適した設計法および製作法を提案し、その有用性を示したもので、工学上、工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は、博士(工学)の価値あるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。