

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ソフト電磁マイクロアクチュエータの開発
Title(English)	Development of Soft Electromagnetic Microactuators
著者(和文)	QiChao
Author(English)	Chao Qi
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12529号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:進士 忠彦,初澤 毅,吉田 和弘,佐藤 千明,西迫 貴志
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12529号, Conferred date:2023/9/22, 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	QI Chao	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	進士 忠彦	教授	西迫 貴志	准教授
	審査員	初澤 毅	教授		
		吉田 和弘	教授		
	佐藤 千明	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Development of Soft Electromagnetic Microactuators」と題し、全6章から構成されている。

第1章「Introduction」では、マイクロ流体チップのポンプやバルブ、マイクロロボットなどで用いられるソフトマイクロアクチュエータの各種駆動方式を概観し、ソフト電磁マイクロアクチュエータ(SEMMA)は、低電圧駆動、高応答などの利点があると述べている。一方、SEMMAは、構造材料であるポリジメチルシロキサン(PDMS)への高性能磁石の高温での直接成膜や柔軟性のあるコイル形成が困難であること、検査チップなどのマイクロポンプに応用する場合に、生体試料と接触するSEMMAの一部を使い捨て部とするため構造単純化や製造簡略化などの要求があることを述べている。このような背景から、本論文では、SEMMAのPDMSを柔軟構造部とした使い捨て部の構造単純化や製造簡略化、また、柔軟性と高い磁石としての機能を同時に満たす単一材料を用いた駆動部の構造単純化を目的として、研究を実施している。

第2章「A SEMMA utilizing an impact-driven membrane based on a cylindrical NdFeB magnet」では、PDMS膜に磁石やコイルを形成することなく、円柱磁石の衝突により複数のPDMS膜を駆動するアクチュエータを提案している。複数の円柱磁石は、回転する多極リング磁石間に働く吸引・反発力により、同時に位相をずらし上下駆動される。この複数の膜振動を拍動ポンプの駆動に活用し、使い捨て部がPDMS膜のみで構成できる構造が単純なマイクロポンプの実現可能性を、試作、実験により示している。

第3章「A SEMMA utilizing segmented NdFeB bonded magnets」では、セグメント化されたNdFeBボンド磁石を利用したSEMMAを提案している。まず、樹脂と粉体磁石を均一に混合して製作した従来の磁石膜では、反磁界が大きく、発生する磁束密度、電磁力、変位が小さいことを示している。この問題を解決するために、PDMS膜にアスペクト比の高いスリットを複数設けて、そこに粉体磁石とワックスの混合物を加熱し、圧力を加えて磁石として成形することで、高い表面磁束密度を発生することに成功している。また、試作SEMMAでは、従来手法で製作した磁石膜と比較して、発生力が大きく、かつ柔軟性を保つことで大変位の発生を実現している。

第4章「A SEMMA utilizing a flexible coil」では、導電性高分子複合材料を用いて、PDMS膜上に柔軟なコイルを形成したSEMMAを提案している。配線は、酸素プラズマで表面処理をした膜上に、スクリーン印刷により形成されている。膜の基板からの引き剥がしや配線の多層印刷時に発生する圧縮、引張、曲げひずみにより、配線抵抗の増加が確認され、抵抗値を印刷直後と同等レベルに回復するため、アニーリング処理温度を探索している。その結果、120~160°Cの処理で各種ひずみを与えない状態と同程度に配線抵抗を回復できることを明らかにしている。最後に、直径30mmの円形PDMS膜上に渦巻状のコイルを形成し、固定部の永久磁石から静磁場を印加したSEMMAを試作している。コイルにステップ電圧入力時の膜変位を計測したところ、時定数が数ミリ秒程度の電磁力によるステップ応答に加え、時定数が数秒程度で電磁力より変位の大きいコイルのジュール熱による熱変形応答を確認している。

第5章「A SEMMA utilizing a FePt film as a magnetically structural material」では、柔軟な構造材料と磁石材料としての特性を有するFePt膜単体からSEMMAの可動部を製作する方法を提案、評価している。最初に、パルスレーザー堆積法で数十 μm 厚に成膜したFePt膜から、マイクロ試験片を放電加工機で製作し、引張試験により、その縦弾性係数や破断ひずみを計測している。試作したFePt膜の縦弾性係数は、磁石材料やポリシリコンの6分の1以下、破断ひずみは、ポリシリコンの7倍、磁石材料の100倍以上であり、柔軟構造材料として有望であることを示している。更に、磁気特性はSmCo磁石と比べ、保磁力は多少劣るものの、残留磁束密度は同等であることを示している。FePt膜を短冊状に加工し、レーザー加熱と静磁場により局所着磁し、外部から変動磁場を与え、端部を固定した状態で変位の周波数応答を計測している。レーザー局所加熱により着磁箇所を変更することで、同じ振幅・分布の外部磁場を与えても、各振動モードの振幅を変化可能で、構造、製法が単純なSEMMAの実現可能性を示している。

第6章「Conclusions and outlook」では、本論文で得られた結果を総括し、今後の課題を述べている。

以上を要するに、本論文は、ソフト電磁マイクロアクチュエータ(SEMMA)の構造単純化や製造簡略化のための新たな手法を提案、その有効性や課題を明らかにしたもので、工学上ならびに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)の学位論文として十分な価値が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。