

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	MEMS用永久磁石への微細磁気パターンの着磁と一括転写に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	永井慧大
Author(English)	Keita Nagai
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12689号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:進士 忠彦,岡村 哲至,吉田 和弘,石田 忠,土方 亘
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12689号, Conferred date:2024/3/26, 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	永井 慧大	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	進士 忠彦	教授	土方 亘	准教授
	審査員	岡村 哲至	教授		
		吉田 和弘	教授		
石田 忠		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「MEMS 用永久磁石への微細磁気パターンの着磁と一括転写に関する研究」と題し、全6章から構成されている。

第1章「緒論」では、従来の磁気を用いた Micro Electro Mechanical Systems (磁気 MEMS) の研究開発を概観し、その高性能化のため、構成要素である板状、膜状永久磁石から発生する表面磁束密度を向上するための技術課題を述べている。また、磁気 MEMS で用いる板状、膜状の磁石を一方向に着磁するよりも、磁石の厚さと着磁幅が同寸法程度に多極着磁することで、磁石内に発生する反磁界を低減し、広い範囲でより高い表面磁束密度分布を同じ形状の磁石から得られることを述べている。さらに、デバイスの小形化のため、磁石の厚さがサブミリメートル以下になると、それと同寸法の幅で多極着磁することは従来のパルス着磁法では困難であり、微細な磁気パターンを効率よく形成する新たな手法の開発が求められていることを示している。このような背景から、本論文では、レーザビーム走査により一方向着磁した磁石を局所加熱し、外部磁界により加熱箇所を選択的に磁化反転する微細多極着磁手法の開発を目的として、特に、先行研究で用いられた加工の手間のかかる磁極間の断熱スリットをなくし、微細多極着磁を実現することを目指すこと、さらに、その手法で形成した微細磁気パターンを転写元として、別の磁石に磁気パターンを一括転写する量産性に優れる着磁法の実現も目指すこと、最後に、これらの着磁法を多極マイクロアキシアルフラックスモータに応用した例を示すことが目的であるとしている。

第2章「レーザアシスト局所加熱によるスリットレス微細多極着磁」では、一方向着磁された永久磁石表面をレーザ走査で局所加熱し、保磁力を低下させ、外部磁界と加熱領域の隣接部から発生する漏れ磁束によって、加熱部を磁化反転させる微細多極着磁法を提案している。従来は、レーザ加熱時の横方向への熱の広がりを磁石にスリットを設けることで抑制し、微細な磁気パターンを形成していたが、磁石の磁気特性やレーザ加熱条件の探索、外部磁場印加法の工夫により、スリットレスでもスリット加工時と同等の微細多極着磁の実現が可能であることを示している。

第3章「加熱による磁気パターン一括転写法」では、前章で実現した微細多極磁気パターンを、樹脂などを用いる MEMS プロセスで許容可能な 200°C 以下の温度環境で、別の磁石に一括転写する手法を提案している。本手法が、前章の微細多極着磁法において、着磁面積の増加に伴いレーザ走査時間が増大する問題を解決し、大量生産にも適したものであることを述べている。耐熱性の高い転写元の磁石を、耐熱性の低い磁石に重ね合わせ加熱した場合、転写元の発生磁場は維持され、転写先の保磁力が低下することで、磁気転写を実現していることを明らかにしている。また、磁気パターン転写時の加熱温度や、転写元、転写先の磁石の磁気特性を探索することで、転写された磁石から発生する表面磁束密度は、同磁石が理想的に着磁された状態の 70% 弱まで発生可能であることを示している。

第4章「MEMS 応用を目指した等方性磁石に対する微細ハルバツハ配列着磁」では、厚膜化が可能で、耐熱性が高く、MEMS プロセスに適用しやすいパルスレーザ堆積磁石 (PLD 磁石) を対象に、その等方性磁石である弱点を補うため、磁石の片面に表面磁束密度を集中・増加する微細ハルバツハ着磁法を提案し、その有効性を検討している。具体的には、レーザ局所加熱着磁法や磁気パターンの転写法を、隣接する磁極方向が 90° ずれるハルバツハアレイの着磁に拡張し、実験により着磁の

実現性を確認している。レーザ局所加熱法では、理想的な着磁時の表面磁束密度の 53.8%，磁気転写法で 23.9%と前章と比べ低い結果が得られた。これは、等方性磁石の角形比が異方性磁石と比較して低いいため、不可逆熱減磁の影響が大きく働いたためと考察している。

第5章「微細多極磁石マイクロアキシアルフラックスフラットモータ」では、磁石表面と垂直方向に微細多極着磁されたリング磁石をロータとするマイクロアキシアルフラックスフラットモータを提案，試作している。また，このモータの適用先としてスマートフォンカメラ用絞り機構を挙げ，その絞り羽根の開閉駆動のデモンストレーションを実施している。具体的には，レーザ局所加熱による外径 9.6mm，内径 7mm，厚さ 0.3mm のネオジムリング磁石の 80 極の着磁に成功し，開閉径 7～0.8mm，厚さ 0.8mm のスマートフォンカメラ用絞り機構に組み込み，絞りの開閉駆動の実現が可能であることを確認している。

第6章「結論」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。

以上要するに，本論文は，磁気 MEMS の高性能化に不可欠な永久磁石に関する微細磁気パターンの着磁法と一括転写手法を提案し，その有効性を実験的に検証するとともに，実際にマイクロモータの製作に適用したもので，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。