

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	MEMS応用を目指した永久磁石の微細加工と微細着磁
Title(English)	
著者(和文)	藤原良元
Author(English)	Ryogen Fujiwara
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10271号, 授与年月日:2016年6月30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 海二,吉岡 勇人
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10271号, Conferred date:2016/6/30, 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

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		藤原 良元	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	進士 忠彦		教授	審査員	吉岡 勇人	准教授
	審査員	初澤 毅		教授			
		吉田 和弘		教授			
		佐藤 海二		准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、「MEMS 応用を目指した永久磁石の微細加工と微細着磁」と題し、全 5 章から構成されている。

第 1 章「緒論」では、磁力を用いた従来の微小電気機械システム（以下、磁気 MEMS）の研究開発を概観し、磁気 MEMS のさらなる小形化、高性能化、高機能化のために、ネオジム磁石などの希土類磁石の付加および除去加工両面からの微細加工技術と、微小領域への多極形成のための微細着磁技術の深化が不可欠であることを述べている。本論文では、希土類系で、スパッタ法やパルスレーザ堆積法で成膜する磁石（以下、スパッタ磁石、PLD(Pulse Laser Deposition)磁石）、ボンド磁石および焼結磁石を挙げ、これらに対する微細加工・微細着磁法の研究開発とその MEMS 応用を目的としている。

第 2 章「MEMS 応用を目指した永久磁石の微細加工」では、基板に対する希土類磁石の付加加工が可能な PLD 磁石と異方性ボンド磁石を対象として、従来の焼結磁石の機械加工では困難な、縦横数十〜数百 μm 、厚み数〜数百 μm レベルの微細磁石の形成法を検討している。また、従来の限界を越える薄形化を目指し、厚み 100 μm を目標とした、磁気特性の劣化の少ない、焼結磁石からの基板の切り出し方法を検討している。

PLD 磁石加工では、成膜時に生じる数十 μm の表面粗さを改善するため、微細溝を有する基板上に PLD 磁石材料の堆積後、余剰部を研磨する手法を適用し、幅 100 μm 、厚み 50 μm の微細構造を実現している。また、微細溝を用いた異方性ボンド磁石の加工では、1) 磁石粉の結合剤である熱可塑性樹脂の流動性向上のための熱、2) 磁石粉の磁化容易軸を配向する磁場および 3) 成形のための荷重、を同時に与える必要があり、一対の高耐熱性サマリウムコバルト磁石の発生磁場と吸引力を利用して、ボンド磁石材料を配向しながら、微細溝に圧入する方法を提案し、幅 400 μm 、厚み 400 μm の微細構造を実現している。

焼結磁石からの厚み 100 μm の基板の切り出しでは、加工面残留応力の小さいワイヤ放電加工を選択し、さらに、極間電圧の低下により熱の影響も抑えることで、最大エネルギー積 240kJ/m³ を有する母材の磁気特性の低下を 11%以下に抑えることに成功している。

第 3 章「MEMS 応用を目指した永久磁石の微細着磁」では、スパッタ磁石、PLD 磁石、等方性ボンド磁石および焼結磁石の微細多極着磁の実現を目的としている。まず、はじめに、従来技術の限界を見極めるため、厚み数 μm のスパッタ磁石に対し、時定数の低減により通電時間を短縮した微細パルス着磁回路を試作している。微小コイルによる幅 500 μm の多極着磁を達成したが、コイルの溶断により、これ以下の狭ピッチ化や任意形状の着磁が困難であることを示している。これに対し、レーザ走査を利用した加熱により、磁石の保磁力を局所的に低減させ、その領域のみを外部から印加する静磁場により着磁するレーザアシスト微細着磁法を提案、実証している。

はじめに、厚み数 μm のスパッタ磁石に対して、パルス着磁では不可能な幅 100 μm のレーザアシストによる微細着磁が実現可能なことを示した。次に、本手法を、厚みが約 10 倍の PLD 磁石やボンド磁石、約 100 倍の焼結磁石に対して適用するには、熱の横方向への拡散を制限する必要がある。そこで、PLD 磁石とボンド磁石ではガラス、焼結磁石ではスリットで、磁石内の熱伝導を遮断し、PLD 磁石とボンド磁石では厚みが 50 μm 、幅 100 μm 、焼結磁石では厚み 500 μm 、幅 500 μm の高アスペクトな微細多極着磁を実現している。

第 4 章「微細着磁磁石を応用した MEMS」では、微細加工・微細着磁した希土類磁石を利用した磁気 MEMS の実現を目的としている。提案、製作した MEMS リニアモータは、幅 500 μm のパルス多極着磁を施した厚み 6 μm のスパッタ磁石を含む 4mm 角のシリコン製スライダ、すべり案内、2 相のミランダ配線から構成され、MEMS 技術にて製作している。また、摩擦低減のためダイヤモンドライクカーボンをスライダ、案内の摺動面に成膜している。駆動実験では、外部に設置するレーザ変位センサにより検出するスライダ位置をもとに、2 相コイルへの印加電圧を制御し、ストローク 36mm、最高速度 1,300mm/s、最高加速度 35.5m/s² を実現している。また、PID 制御による位置決め駆動を実現している。

第 5 章「結論」では、本論文で得られた研究成果を総括し、今後の課題を述べている。

以上要するに、本論文は、磁気 MEMS の小形化、高性能化、高機能化に有用な高性能ネオジム磁石などの微細加工・微細着磁技術を提案・実証したもので、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、東工大リサーチリポジトリ(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。