T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	メカノマイクロ工学　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士　（　工学　） Doctor of
学生氏名： Student's Name	藤原 良元	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	進士 忠彦
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	－

要旨（和文 2000 字程度）
Thesis Summary（approx.2000 Japanese Characters ）

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 100μm 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 100μm，厚み 50μm 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 400μm，厚み 400μm の微細構造を実現している．

焼結磁石からの厚み 100μm 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 500μm 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 100μm 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 50μm，幅 100μm，焼結磁石では厚み 500μm，幅 500μm 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 500μm のパルス多極着磁を施した厚み 6μm 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相のミア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．

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

（博士課程）
Doctoral Program

論 文 要 旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	メカノマイクロ工学　　専攻	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of　（　工学　）
学生氏名： Student's Name	藤原 良元	指導教員（主）： Academic Advisor(main)	進士 忠彦
		指導教員（副）： Academic Advisor(sub)	–

要旨（英文 300 語程度）
Thesis Summary（approx.300 English Words ）

In chapter 1, the background and purpose of this study were described. Microelectromechanical systems (MEMS) technologies are good at fabricating multi-functional micro-devices at low cost. Nevertheless, practical magnetic micro-devices use bulk permanent magnets fabricated by conventional machining, such as cutting and drilling. Therefore, to use permanent magnets in MEMS, new MEMS-compatible integration technologies were required. So, the purpose of this work is to develop MEMS-compatible micromachining and micro-magnetization technologies, and to develop MEMS using developed technologies. Sputtered magnet, PLD magnet, bonded magnet and sintered magnet were chosen as candidate magnets due to its high magnetic properties and its MEMS-compatibility.

In chapter 2, micromachining of PLD magnet, anisotropic bonded magnet and sintered magnet were examined, which had not been realized yet. PLD magnet and anisotropic bonded magnet was embedded in micro-grooves in glass substrates and polished, and a few hundred μm size micro-structures were realized. For sintered magnet, a few hundred μm thick magnet substrate was realized using wire electrical discharge machining reducing the magnetic property degradation.

In chapter 3, micro-magnetization of sputtered magnet, PLD magnet, isotropic bonded magnet and sintered magnet were examined. Different from conventional millimeter order micro-magnetization, a few hundred μm wide magnetization were realized using partial laser heating under external magnetic field for sputtered magnet. For thick magnets, such as PLD magnet, isotropic bonded magnet and sintered magnet, thermal insulation methods using low thermal conductivity material and slits were used to realize partial laser heating of magnets.

In chapter 4, a MEMS linear motor utilizing micro-magnetized sputtered magnet was designed, fabricated and evaluated. The linear motor consists of moving slider including the magnet, fixed coil and linear guideway. In the driving experiments using external laser displacement position sensor for the feedback control, fabricated linear motor realized 36 mm stroke, 1,300 mm/s maximum speed, 35.5 m/s^2 maximum acceleration and positioning using PID controller.

In chapter 5, summary and future works are described.

備考 ： 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).