

積層セラミック磁気回路を用いた MEMS ブラシレスモータの開発

Development of MEMS Brushless Motor Using a Multilayer Ceramic Magnetic Circuit

○前角和明¹, 鈴木啓太¹, 横関裕司¹, 遠藤弘彬¹, 高藤美泉¹, 齊藤健¹, 内木場文男¹

Abstract: In this paper, we propose a magnetic motor using a multilayer ceramic technology for a magnetic circuit. The magnetic motor has problem that the magnetic circuit of the three-dimensional structure is difficult to miniaturize. Therefore, many researchers have used the spiral pattern coil for the miniature magnetic motor. However, the spiral pattern coil requires is difficult to miniaturize. In this study, the multilayer ceramic technology that are used for the miniature electric components are applied for the miniature magnetic circuit. This technology can realize the miniature three-dimensional structure coil. The size of the magnetic motor is 11mm, 11mm and 7.48mm, respectively.

1. はじめに

半導体製造プロセスを応用した Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) 技術の発展に伴い、機器の小型化、特にアクチュエータの小型化が進められている。MEMS 技術を用いたアクチュエータとして、平面的な構造をもつ静電モータが多く研究されているが[1]しかし、静電モータは高電圧消費であることに加え単体での発生トルクが小さいといった問題がある。出力効率が良く汎用性において優れているアクチュエータとして、電磁モータが一般的である。電磁モータはマクロなサイズにおいて一般的に使用されているが、高性能化の為に立体的な磁気回路を用いることから MEMS 技術を用いた小型化が困難であるという問題がある。そのため、平面的なスパイラル構造の磁気回路を用いた電磁モータの研究がされている[2]。スパイラル構造の磁気回路は MEMS 技術でも形成可能であるが、配線パターンが径方向に延びるため効率が悪い。小型で高性能な電磁アクチュエータにはヘリカル構造をもつ磁気回路が必要である。

小型のヘリカルコイルを形成する技術として積層セラミック技術がある。積層セラミック技術は小型電子部品を作製する技術であり、多くの小型機器の回路基板に用いられている。また積層セラミック技術は、セラミック材料に磁性材料を用いることで内部にコアを持つ小型磁気回路を得ることができる。

本研究では積層セラミックコイルを用いた小型磁気回路と MEMS 技術により小型ブラシレスモータを作製し回転実験を行ったので報告する。

2. MEMS ブラシレスモータの設計

図 1 に考案した MEMS ロータリーアクチュエータの模式図を示す。モータの駆動方式は電磁式とし、摩擦を最小限にする為に三相交流を用いたブラシレスモータ

とした。また回転子の極数は 2 極、磁気回路の個数は 6 スロットとし、低背化のためにアキシアルギャップ型として設計した。回転子および構造躯体は MEMS 技術を用いて作製、小型磁気回路は積層セラミック技術を用いて作製する。MEMS ブラシレスモータの外形寸法は縦 11 mm、幅 11 mm、高さ 7 mm として設計した。また、回転子として外径 8 mm、内径 2 mm、厚さ 0.5 mm、ネオジウム磁石を用いた。磁気回路は三角形で単相の 2 つのコイルを対向して対になるように直列で接続し、60°ずらして 6 つ配置することで三相交流型となるように設計した。

構造躯体は、回転子固定上層、回転子固定中層、回転子固定下層、磁気回路固定層の全 4 種類で構成した。回転子固定中層は 800 μm の部品を 5 層重ね、回転子と磁気回路の隙間が 500 μm となるように配置した。

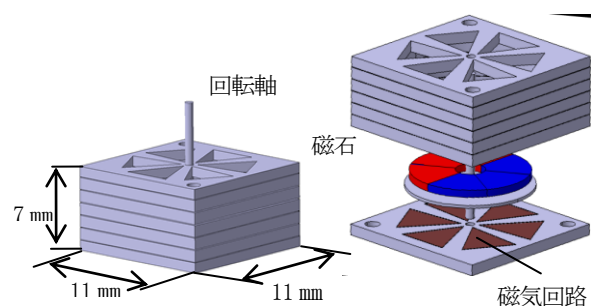


図 1 MEMS ロータリーアクチュエータの模式図

3. 積層セラミック磁気回路

図 2 に積層セラミック磁気回路の模式図を示す。磁気回路の形状は作製の容易さとコイルの断面積から 3 角形のものを選択した。コイルパターンは 1 層につき 15/16 回巻を形成し、コイル層と電極層を合わせて全 33 層を積層することで 30 回巻のコイルとして設計した。引き出し線は導電性ペーストにより磁気回路の側面に塗布することでコイルの下より取り出せるように設計した。

1: Department of Precision Machinery Engineering, CST, Nihon-U.

またセラミック材料として透磁率 900 の低温同時焼成フェライトを用いることで磁束を取り込みやすい設計とした。

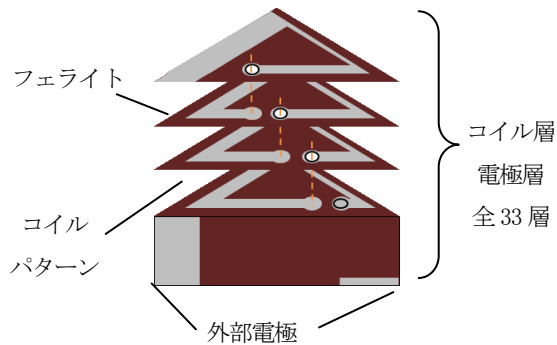


図2 積層セラミック磁気回路の模式図

4. MEMS ブラシレスモータの評価

作製した MEMS ブラシレスモータを図 3 に示す回転子の外径寸法が 8.59mm, 回転子固定中層の内径が 10mm であり, 各 부품の寸法誤差は $\pm 10\mu\text{m}$ 以内であった。よって回転子と躯体の隙間は十分であり, 回転の妨げにならないと考えられる。また回転子固定上層の軸孔の寸法は $619\mu\text{m}$ であり, 使用した軸の直径寸法は $600\mu\text{m}$ であった。よって軸との隙間は $19\mu\text{m}$ の隙間バメとなった。また磁気回路と回転子の隙間は $500\mu\text{m}$ であるため, 回転子が磁気回路に接触することなく回転する事ができるといえる。

積層セラミック技術を用いて作製した磁気回路を図 4 に示す。磁気回路は焼成後平均して底辺約 3.45mm, 高さ約 3.52mm, 厚み約 1.460mm の形状を得た。また, 反りは平均して約 $12\mu\text{m}$ であり, 最大約 $19\mu\text{m}$ であった。MEMS パーツと組み合わせた結果, ブラシレスモータの寸法は $11\text{mm}\times 11\text{mm}\times 7.48\text{mm}$ となった。

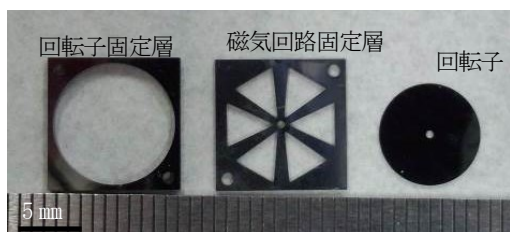


図3 作製したシリコンパーツ

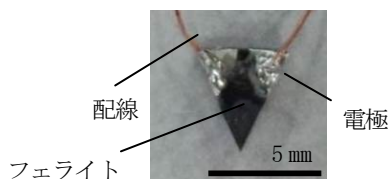


図4 作製した積層セラミック磁気回路

図 5 に作製した MEMS ブラシレスモータの 0.03 秒ごと回転動作について示す。作製した MEMS モータの

回転数は印加電圧 0.42V, 電流 0.84A の時 480rpm であった。

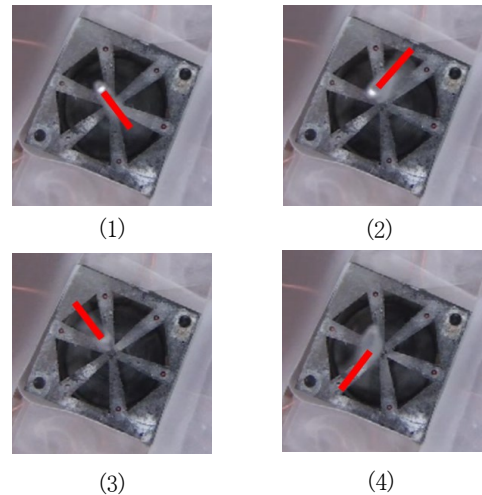


図5 作製した MEMS ブラシレスモータの回転動作

5. 考察

回転実験の際 500rpm 以上の回転ではモータの同期が取れず回転が止まってしまう事があった。原因として磁気回路のインダクタンスに個体差がある為回転が不安定である点, 軸孔とのクリアランスが大きすぎる為軸が偏心してしまった点が考えられる。より高速での回転を実現するためにホール素子を用いたドライブ回路の作製, および軸の偏心を軽減するための軸受け機構が必要であると考えられる。

6. 結論

積層セラミック技術と MEMS 技術により $11\text{mm}\times 11\text{mm}\times 7.48\text{mm}$ の MEMS ブラシレスモータを作製した。積層セラミック技術を用いることで 3 ミリ角の磁気回路を実現した。また, 作製したモータは三相交流により消費電流が 0.84A のとき回転数 480rpm で駆動可能であった。

参考文献

- [1]Y-C. Tai, et al., “IC-Processed Micro-Motors: Design, Technology, and Testing,” Proc. of Micro Electro Mechanical Systems 1989, pp. 1-6, 1989
- [2]S. Merzaghi, et al., “Development of a Hybrid MEMS BLDC Micromotor,” IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 47, No. 1, pp. 3-11, 2011