K6-26

小型ボールベアリングを用いた電磁誘導式 MEMS エアタービンの開発

Development of Electromagnetic Induction Type MEMS Air Turbine with Miniature Ball Bearing

○横関裕司 [1], 三島海斗 [2], 高藤美泉 [3], 齊藤健 [3], 内木場文男 [3]
*Yuji Yokozeki[1], Kaito Mishima[1], Minami Takato[1], Ken Saito[1], Fumio Uchikoba[1]

This paper proposed a MEMS air turbine with a miniature ball bearing. The designed air turbine is used for a miniature electromagnetic induction type generator. To achieve the high output power of the MEMS air turbine generator, the high speed and stable rotational motion is required. Therefore, the designed turbine was employed the ball bearing in a rotational structure. The dimensions of the width, length and height of the fabricated MEMS air turbine were 4.18mm, 4.17mm and 3.35mm, respectively. The fabricated turbine was not showed the rotational motion. In the future work, an alignment mark will be designed on the turbine for high-accuracy assembly.

１．はじめに

スマートフォンやノートパソコンなどの携帯電子機器は我々の生活の必需品となっており，リチウムイオン二次電池などの電池を内蔵することで動作している．二次電池の発達によって携帯電子機器の小型化が進んだ一方で，充電時間が必要なことや，充放電を繰り返すことによって起こる劣化，電子機器の高性能化に伴う消費電力の増加に対して電池容量の増加が理論的限界に達しつつあることなどの課題が挙げられる [1]．それら二次電池の課題に対し，小型な電源の分野では Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)によって作製される超小型発電機の研究が盛んに行われている [2]．MEMS とはフォトリソグラフィプロセスに代表される集積回路など半導体素子の作製技術を応用して作製される微小な電気機械システムのことであり，MEMS 作製技術によって従来の機械加工では作製困難な微小構造を持つ機械が作製可能となる．MEMS 発電機が注目されたきっかけとなった研究が Massachusetts Institute of Technology (MIT) の Epstein らから 1997 年に発表されたルトラマイクロガスタービン(UMGT)のプロジェクトである [3]．UMGT は直径 4 mm，厚さ 3mm，重さ 1g と小型でありながら, 10～20W の出力を見込めるとされたが，ガスタービンの燃焼機構の問題などにより実用には至っていない [4]．

以上の背景から，我々は燃焼機構を用いない圧縮空気で動作させるエアタービンの研究を行っている[5]．これまでの研究では，気体軸受の開発を主に進めてきたがロータの偏心運動の問題により高回転数が困難であった．そこで，偏心運動抑制のための新しいアプローチとして，ボールベアリングを導入する．回転体の中心は外円部に比べて摩擦が小さいため，軸に固定されたボールベアリングに発生する摩擦は軽微である．本稿では，小型ボールベアリングを内蔵したエアタービンの開発を行ったので報告する．

２．設計および作製工程

Figure 1 にタービンの模式図を示す．タービンは，シリコンによる筐体とボールベアリング，超硬合金の軸，磁石で構成され，圧縮空気によりロータに固定された磁石を回転させる界磁回転型とする．回転駆動用の空気流路をタービン上部に配置し，ロータに固定された磁石がタービン底面になるべく近くなるような設計とする．これは，磁石から発生する磁束は距離が離れるほど発散することから，タービン下部に配置される予定のコイルにより多くの磁束を鎖交させるためである．タービンの翼列はステータ側が静翼列，ロータ側が動翼列となっており，静翼列の外周を囲うように動翼列が配置されることで，ロータおよび磁石の直径の大型化を図る．これにより，より磁束密度の高い磁石を採

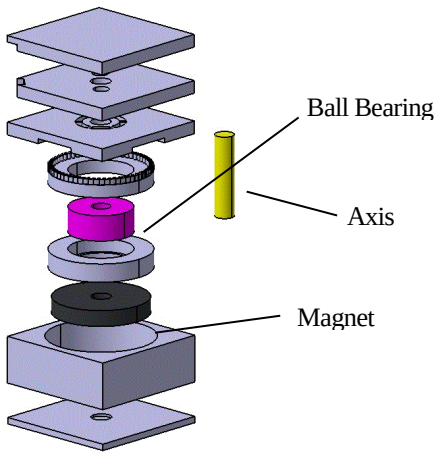

Figure 1. Design of air turbine

1：日大理工・院・精機　2：日大理工・学部・精機　3：日大理工・教員・精機

用できる．また，ロータ直径は 3.2mm とし，磁石は，外径 3.2mm，厚さ 0.5mm，磁束密度 1.4T のネオジム磁石を使用する．

３．作製工程

本研究で用いたシリコンの加工工程についてを示す．Figure 2 はシリコン加工のためのフォトリソグラフィプロセスの工程図である．まず Al を真空蒸着装置によりウェハ上に成膜し，次に液体レジストをスピンコータにより第一段階回転数 300rpm，5s，第二段階回転数 3000rpm，30s の条件で塗布した．プリベークは 110℃で 20 分行い，露光はコンタクトアライナーを使用し，マスクパターンをレジストに転写した．現像は，現像液を用いて 90s 行い，ポストベークを 120℃で 30 分行った．そして，Al の薄膜を混酸アルミエッチング液(りん酸，硝酸，酢酸，水)により，ウエットエッチングを行い Al をパターニングした．パターニングした Al やレジストを保護膜として ICP ドライエッチャでドライエッチングを行い，また，ボッシュプロセスにより翼列部分の深掘りを行った．

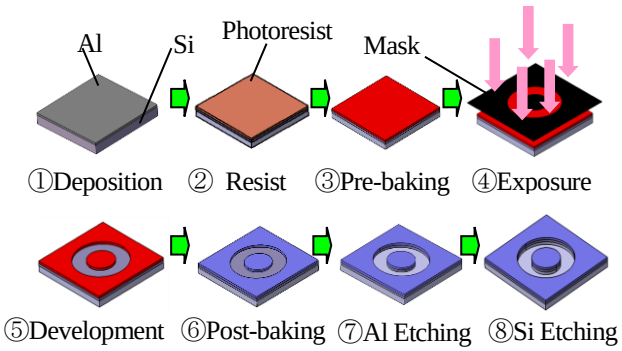

Figure 2. Schematic illustration of photolithography process

４．結果および考察

Figure 3 に作製したシリコンパーツの写真を示す．

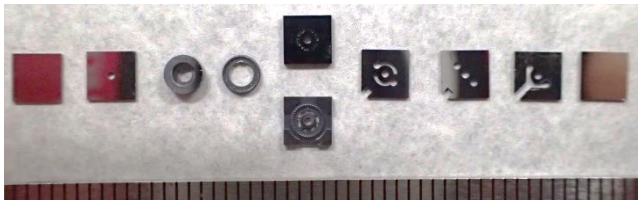

Figure 3. Photograph of air turbine parts

Figure 4 に作製したエアタービンの写真を，Figure 5 に金属顕微鏡によるロータ翼列の写真を示す．

回転実験を行った結果，良好な回転は得られなかった．この理由として，超硬合金の軸の加工，およびロータと軸の固定が手作業であり精度が不十分であったことが考えられる．今後は，アライメントピンの設計を行うことで，組み立て精度の向上を目指す．

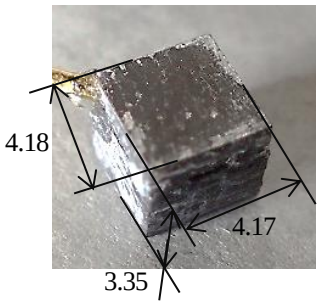

Figure 4. Photograph of air turbine

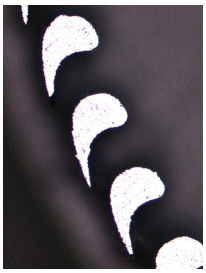

Figure 5. Photograph of blade

５．まとめ

本稿ではボールベアリングを導入した圧縮空気で動作させるエアタービンの開発を行った．回転実験を行った結果，良好な回転は得られなかった．その原因として組み立て精度が不十分であったことが考えられるため，今後は，アライメントピンの設計を行うことで，組み立て精度の向上を目指す．

６．参考文献

[1] 尾崎 浩一：「マイクロエネルギー技術の現状と展望」，日本機械学会，情報・知能・精密機器部門講演会，No.02-183，2002

[2] 田中 秀治：「パワー微小電気機械システム」，電気学会論文誌 E，Vol.122-E，pp1-9，2002-1

[3] A. H. Epstein, and S. D. Senturia : “Macro Power from Micro Machinery”, Science, 276, pp.1211, 1997.

[4] A. H. Epstein, S. A. Jacobson, J. M. Protz, and L. G. Frechette : “Shirtbutton-sized Gas Turbines: The Engineering Challenges of Micro High Speed Rotating Machinery”, Proc. 8th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, Honolulu, Hawaii, 2000-3

[5] 飯塚 茜：「積層セラミック技術を応用した MEMS マイクロ発電機の開発」，電気学会研究会資料，MSS，マイクロマシンセンサシステム研究会，pp11-16，2011

謝辞

本研究は日本大学マイクロ機能デバイス研究センターの支援を受けた．