K6-69

積層セラミック技術を用いた電磁誘導式 MEMS マイクロ発電機の作製プロセス

Process of MEMS Electromagnetic Induction type Micro-Generator Using Multilayer Ceramic Technology

〇西達也²,飯塚茜¹,高藤美泉¹,金子真人²,齊藤健³,内木場文男³ Tatsuya Nishi², Akane Iizuka¹, Minami Takato¹, Masato Kaneko², Ken Saito³, Fumio Uchikoba³

Abstract: This paper is described about process for the MEMS electromagnetic induction type micro-Generator using with multilayer ceramic technology. Our research has been focused on the electromagnetic induction type generator to obtain high current property. The planer structure coil can be implemented using multilayer ceramic technology. We fabricated the MEMS turbines by photolithography process and the planar structure coil by multilayer ceramic technology. They were combined into micro-generator with $1.92 \mu VA$ output. The dimensions of the generator were $3.6 \times 3.4 \times 3.5$ mm.

1. はじめに

携帯機器の小型化に伴い、小型な電源への要求が高まり つつある.そこで新たな電源として Power MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)が注目されている.Power MEMS は高いエネルギ密度を得ることができる高性能な 電源として期待されている.Power MEMS を用いた発電機 の発電方式は一般的に静電方式がよく用いられる.静電 方式は高い発電量を得るのは難しいが MEMS 加工が平面 構造を基本とすることから,作製が容易なためである.一 方大型発電機に用いられる電磁誘導方式は高い発電量を 期待できる.しかし,電磁誘導式で用いられる磁性金属の 加工や巻線の立体構造は MEMS には不向きである.その ため MEMS では電磁誘導式が用いられてこなかった.そ こで我々は高い発電量を得られる電磁誘導方式の MEMS マイクロ発電機の実現を目指した.磁気回路部分は積層セ ラミック技術を用いることで作製を試みた.タービン部分 はフォトリソグラフィプロセスを用いて作製を行い、それ らを組み合わせることでMEMSマイクロエアタービンを 作製した.以下に電磁誘導式 MEMS マイクロ発電機の設 計と作製工程について報告する.

2. MEMS マイクロ発電機の設計概要

発電機は,上部はガスを送ることにより磁石を回転させ るタービン部分と下部はコイルが配線された磁気回路で 構成した.タービン部分の作製にはフォトリソグラフィプ ロセス用いシリコンを加工した.Figure 1(a)にタービン部 分の構造を示す.タービン部分は7層で構成され,ガスを送 るための流路を上下にわけて上部1層から4層は回転駆 動用の流路,5層から7層はロータの摩擦を減らすための 空気軸受用の流路を構成した.外形寸法は3×3×3mm とし た.タービンの動翼であるロータの直径は1590μm, 翼の 高さは 200µm,枚数は 20 枚とした.ロータの下部には外形 1.5mm,内径 0.4mm,厚さ 0.37mm、磁束密度 150mT の径方 向に着磁したサマリウムコバルト磁石を装着した.各層に は組み立てのアライメント用に,ガイドピンとガイドホー ルを設けた.

磁気回路部分は磁性体に比透磁率 900 のフェライトを 用い,シート工法で作製した.内部導体には銀を用い た.Figure 1(b)に構造図を示す.形状は磁束を取り込みやす い馬蹄形とした.外形寸法は3.5×3.5×1.2mm,層数は全24層 とし,コイル配線した層が 10層,その上部と下部に 10層と 4層ずつの磁性体層で構成した.コイルは左右2ヶ所に約9 回巻ずつ,計 18 回巻きとした.フェライトは焼成すると収 縮や,反り等の歪みが発生するため大きめに設計し,はめ 合いの幅は 200um 余裕を持たせた.



Figure 1. Schematic drawing of component

3. 作製工程

3.1. タービン部分の作製

Figure 2(a)に本研究で用いたフォトリソグラフィプロ セスを示す.高アスペクト比や 200µm 以上の深堀エッチ ングの場合はまず Al を成膜した.低アスペクト比のエッ チングの場合はローム&ハース社製の S1830 を使用し,ス ピンコータで第一段階 500rpm,5s,第二段階 3000rpm,30s の 条件で塗布した.高アスペクト比や深堀エッチングの場合 は東京応化工業社製の OFPR800LB を使用しスピンコー タで第一段階 300rpm,5s,第二段階 3000rpm,30s の条件で塗

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

布した.S1830 は 90℃で 20 分,OFPR800LB は 110℃で 20 分プリベーク行った.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S1830に はローム&ハース社製の MF-319,OFPR800LB には東京応 化工業社製の NMD-W の現像液を用いて 60s,その後,ポス トベークを 120℃で 30 分行った.Al は混酸アルミエッチン グ液(りん酸,硝酸,酢酸,水)を用いてウエットエッチング を行い Al 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 ングを行った.各層は,1~6層とロータが3回,7層が2回の フォトリソグラフィプロセスを行うことによって得た.各 層はガイドピンとガイドホールを合わせて積層し,樹脂を 用いて接着することでタービン部分を完成とした.



(a)Photolithography process (b) Multilayer ceramic process Figure 2. Flow chart of fabrication

3.2. 磁気回路の作製

Figure 2(b)に本研究で用いた工程を示す.合成したフェ ライト粉体を使って泥状のセラミック原料であるスラリ ーを作製した.作製にはフェライト粉体,分散剤,可塑剤,有 機溶剤を投入してボールミル法を用いて24時間混合した 後、バインダを投入して 24 時間の混合を行いスラリーの 完成とした.次にドクターブレード法を用いてスラリーを シート状に成形した.この時、ドクターブレードのギャッ プを 300µm,移動速度を 10mm/s とした.得られたシートに 上下層の導通をとるためのスルーホールを直径 350µm で 形成した.その後、スクリーン印刷法を用いて銀ペースト による配線及びスルーホールへの充填を行った.積層では 馬蹄形を得るためにダイシングと積層のプロセスを繰り 返した.Figure 3 に馬蹄形作製の手順を示す.まずコイルパ ターンが施された層である2層から10層までのソレノイ ドコイル部分を一軸熱プレスを用いて仮積層を行った. 条件は圧着温度 70℃,圧力 6MPa,圧着時間 60s で行った. その後,CIP を用いて本積層を行った.条件は圧力 10MPa で、圧着時間90sで行った.本積層した試料のダイシングを 行い,2 つのソレノイドコイルと底面の1層で仮積層を行 った.さらに、磁性体層を組み合わせて仮積層・本積層を行 った.このときの CIP の条件は、圧力 10MPa で 75s 保持し

た後に,圧力20MPaで15s圧着を行った.最後に電気炉を用いて焼成をおこない磁気回路の完成とした.



Figure 3. Process of magnetic circuit

4. 結果及び考察

Figure 4 にタービンに磁気回路を実装した発電機を示 す.Figure 5 にロータの走査型電子顕微鏡(SEM)画像を示 す.





Figure 4. Fabricated micro air turbine generator

Figure 5. The etched structure observed by SEM

焼成後の磁気回路の外形寸法は 3.38×3.55×1.16mm であった.また,18 回巻のコイルを作製できた.磁気回路にター ビンを実装したときの 外形寸法は 3.6×3.4×3.5mm であっ た. Figure 5 よりブレード部分もほぼ垂直加工されている ことがわかる.その他のパーツもほぼ設計とおりに作製で きた.また,作製した発電機にガスを送るとロータの回転 が確認でき,最大出力電力 1.92μVA が得られた.

5. まとめ

積層セラミック技術を用いて電磁誘導式MEMSマイク ロ発電機を作製した.タービン部分はフォトリソグラフ ィプロセスを用いて作製し,ほぼ設計とおりの寸法で作 製することができた.磁気回路はシート工法を用い,平面 構造のコイルを作製することができた.タービン部分と磁 気回路を組み合わせることで,3.6×3.4×3.5mmの電磁誘導 式 MEMS マイクロ発電機の作製することができた.

6. 参考文献

 Takahashi T and Takaya M: "Laminated Electronic Parts and Process for Making the Same", USP, 4322698, 1974
Bhardwaj J K, et al: "Advanced Silicon Etching Using High Density Plasmas", Proceedings of SPIE, 1995

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.本研究は科研費 22560254 の助成を 受けたものである