

超小型ネットワークノードのためのマイクロ・エレクトレット発電器の開発 (061203006)

Development of Micro Electret Genrator for Ultra-Small Network Node

研究代表者

鈴木 雄二 東京大学

Yuji Suzuki, The University of Tokyo

研究分担者

坂根 好彦

Yoshihiko Sakane

旭硝子株式会社

Asahi Glass Co. Ltd.

研究期間 平成 18 年度～平成 20 年度

概要

近年、低消費電力の短距離無線通信技術の開発が進んでおり、通常の電池で 1 年間程度の動作が可能とされている。しかし、センサネットワークで要求されるより長期間の動作は難しく、廃棄時には電池に含まれる重金属などによる環境負荷が問題となる。本研究では、グリーンエネルギー源として、人体の運動、移動体の振動、風のゆらぎなど、環境に存在する振動から電力を取り出す、振動型マイクロ発電器の開発を目的とし、MEMS 技術を用いて低周波数から微小電力を得る高性能エレクトレット発電器のための基礎研究を行った。特に、ポリマー・エレクトレット膜として極めて高い表面電荷密度を実現するための新しいアモルファスフッ素樹脂の開発、環境の振動を効率良く吸収して発電器内の振動子に伝えるためのポリマーMEMS 構造の開発を行い、マイクロ振動型発電器プロトタイプを開発して評価を行った。

Abstract

In the present study, in order to replace button batteries used for sensor network nodes, we carried out basic research on 'green' energy source from environmental vibration such as human body motion, structural vibrations, and air flow fluctuations. We aim at high-performance MEMS generator that can extract small amount of electricity from low-frequency vibrations. We have developed a novel amorphous polymer electret material with extremely-high surface charge density and polymer MEMS structures for efficient conversion of external vibration into internal mass motion. We have also integrated a MEMS electret generator prototype and evaluate its performance.

1. まえがき

近年、自立的に情報を取得して無線で送信するセンサネットワークが注目され、生活支援システム、省エネルギー・システム、環境テレメータシステム、災害予知システム、農業などへの応用が期待されている。本研究では、人体の運動、移動体の振動、風のゆらぎなど、環境に存在する低周波数の振動から電力を取り出す、ネットワークノードのための振動型マイクロ発電器の開発を目標とする。

従来、振動型発電器としては、電磁誘導や圧電効果を用いたものが提案されているが、低周波数では出力電圧・電力が低いことから LED ライトなど極めて限られたアプリケーションで用いられるのみであった。一方、エレクトレット発電は静電誘導を用いた発電であり、周波数が低い小型の発電器では電磁誘導よりも原理的に優れており、出力電圧も高い。本研究では、著者らが研究を進めてきた高分子ポリマー・エレクトレットを用い、MEMS 技術を用いて環境に存在する低周波数振動から微小電力を得る高性能エレクトレット発電器の開発を行う。特に、ポリマー・エレクトレット膜として極めて高い表面電荷密度を実現するための新しいアモルファスフッ素樹脂の開発を行うとともに、環境の振動を効率良く吸収して発電器内の振動子に伝えるためのポリマーMEMS 構造の開発を行って、グリーンエネルギー源であるマイクロ振動型発電器を実用化するための具体的指針を得ることを目的とした。

2. 研究内容及び成果

2. 1 新しいエレクトレット膜の開発

半導体微細加工技術と親和性のあるエレクトレット材

料として、旭硝子社製 CYTOP、および米国 Du Pont 社製 Teflon AF が知られている。これらは、構造骨格中の水素原子がフッ素に全て置換されたパーフルオロ樹脂でありながら、その骨格構造に環構造を有することから非晶質となるために特定のフッ素系溶媒に溶解し、スピンコートやディップコート法などによる薄膜コーティングが可能である。著者らによって、すでに CYTOP と Teflon AF の性能比較がされており、CYTOP は同じ厚みの Teflon AF の約 3 倍の表面電荷密度を有することが分かっている。本研究では、CYTOP をベースに新たなより性能の高いエレクトレット材料の開発を目的とした。

市販の CYTOP としては、基材との密着性を得るための重合末端基の種類により、A タイプ (-COOH 末端) および M タイプ (-Si(OR)₃ 末端; R はアルキル基) があり、まず末端基の影響を調べた。15 μm 厚でスピンコート後にコロナ放電により荷電して、A タイプ、M タイプ、官能基のない S タイプの表面電位の測定を行った。すると、導入した官能基の種類により荷電特性が大幅に向上し、M タイプの場合には、安定時の表面電荷密度が S タイプのおよそ 5 倍に向上することが判った。そこで、より効率的に-Si(OR)₃を導入するため、A タイプに直接アミノシランを添加しコーティング後に加熱して末端基である -COOH と反応させたところ、アミノシランの添加量約 3.0% で、本研究で目標とした 1.5 mC/m² 以上の高い効果が得られることが分かった(図 1)。また、TSD(Thermally-Stimulated Discharge)法を用いた測定により、表面電荷密度だけでなく、電荷の耐熱性も同時に向上可能であることが明らかとなった。また、液体中での電荷の減衰を抑制

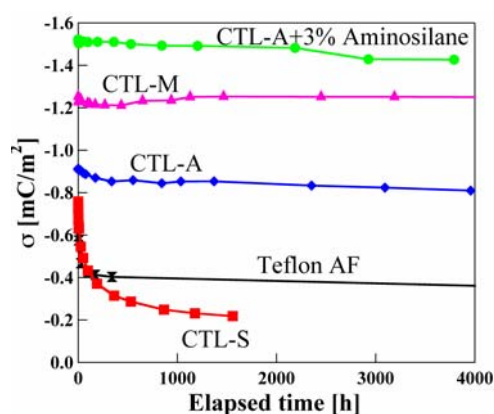


図1 CYTOP ベースの材料のエレクトレット性能

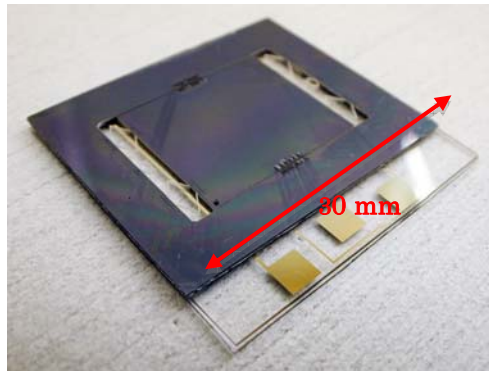


図2 MEMS 技術を用いた一体型発電器プロトタイプ

するコーティング材料についても様々な材料を試し、テトラデカンの浸漬に耐える適切な材料を得ることができた。

また、開発したエレクトレット膜を用いて、強制振動による発電実験を行った。アライメント機構を用いて、エレクトレット基板と対向電極基板の精密に平行となるように固定し、電極間隔は高精度レーザー測定器を用いて計測した。電極・エレクトレット間のギャップを $40\mu\text{m}$ に固定し、振幅 1.2mm 、振動周波数 20Hz の振動を与えて外部負荷を変化させ、外部抵抗 $2.5\text{M}\Omega$ において 0.7mW の出力を達成した。出力電圧は 168Vp-p であり、高電圧出力が得られることが判る。

さらに、発電器のモデル化を行って、設計指針の抽出を行った。強制振動発電実験において、周波数を変化させた場合、振幅を変化させた場合のいずれにおいても、実験データと数値解析は非常に良く一致しており、解析モデルが発電器の挙動を良く表現していることが明らかになった。

2.2 エレクトレット発電器の試作

環境振動は低周波数であるため、振動子を支えるバネは柔軟である必要がある。本研究では、Parylene-C の高アスペクト比バネを製作する MEMS プロセスを新たに構築した。まず、DRIE により深溝をシリコン基板に形成する。そして Parylene-C を蒸着し、酸素プラズマによるエッチバックと Parylene-C の再蒸着により、初期蒸着において深溝内部に形成される数 μm 幅の空隙を埋める。そして、バネ構造周囲のシリコン基板を酸素プラズマにより露出させ、 XeF_2 ガス中でエッチングする。従来は、Parylene バネをシリコン基板に埋め込むためには、シリコン基板両面からの加工が必要であったが、片面からの加工により目的の構造を形成する新たなプロセスを設計し、振動子の試作を行うことによってその有効性を実証した。それに基づき、一体型エレクトレット発電器の製作プロセスを開発し、実際に試作を行った。振動子側にもエレクトレット膜をパタニングし、電極を配置した。

試作したプロトタイプの写真を図 2 に示す。エレクトレットの幅は $150\mu\text{m}$ 、エレクトレットと電極の間隔は $170\mu\text{m}$ である。共振点における設計発電出力は $10\mu\text{W}$ である。振動実験により測定された共振周波数は 37Hz であり、エレクトレットの表面電位は $\sim 500\text{V}$ 程度である。振幅 $2\text{mm}_{\text{p-p}}$ 、外部負荷 $100\text{M}\Omega$ の条件で発電実験を行ったところ、出力は設計値の $10\mu\text{W}$ よりも低い、 $0.28\mu\text{W}$ の発電に留まった。しかし、当初の目標としていた、パリレンバネを持つ振動型発電器のプロトタイプとして、発電を実現することができた。出力の低い理由としては、振動子が回転してしまい、短冊形状のエレクトレットと電極同士が平行に振動していないと考えられ、設計の改善を現在進めている。

3. むすび

本研究では、CYTOP をベース材料とした新しい高性能エレクトレット膜の開発、および、MEMS 技術を用いた振動型エレクトレット発電器の開発を行った。エレクトレット膜について当初の目的を達成することができ、性能向上の具体的な指針も得ることができた。CYTOP は我が国固有のフッ素材料であり、CYTOP をベースとした高性能エレクトレット材料は、発電器だけに留まらず、エレクトレットマイクロフォンなどの音響機器、静電アクチュエータなど他の分野にも応用展開されることが期待され、我が国の産業競争力の向上にも貢献すると考えられる。

MEMS 技術を用いた振動型エレクトレット発電器については、目標値より小さいながらも、一体化した発電器として初めて有意な電力を取り出すことに成功した。今後、発電器構造の改良によってさらに大きな出力が得られれば、構造ヘルスモニタリングに用いるセンサノード用電源などとして、実用化に向けて大きく前進すると考えられる。

今後は、これまでの成果を踏まえ、電源管理回路も含めた発電システムとして構築し、ボタン電池代替電源としての開発を進めていきたい。

【誌上発表リスト】

- [1] Tsutsumino, T., Suzuki, Y., Sakurai, N., Kasagi, N., and Sakane, T., "Nano-metal Ink Based Electrode Embedded in Parylene Structures with the Aid of the Capillary Effect," IEEE Int. Conf. MEMS 2007, Kobe, 2007.1.21-25.
- [2] Sakane, Y., Suzuki, and, Kasagi, N., "Development of High-performance Perfluorinated Polymer Electret and Its Application to Micro Power Generation," *J. Micromech. Microeng.* Vol. 18, No. 10, (2008), 104011 (6pp).
- [3] Miki, D., Suzuki, Y., and Kasagi, N., "Effect of Nonlinear External Circuit on Electrostatic Force of Micro Electret Generator," 15th Int. Conf. Solid-state Sensors, Actuators, Microsystems (Transducers '09), Denver, 2009.6.21-25, 発表予定.

【申請特許リスト】

- [1] 鈴木、笠木、堤野、坂根、「金属導電層形成方法、導電性ばね形成方法及び導電性ばね」、日本、平成 19 年 1 月 19 日出願
- [2] 鈴木、坂根、「エレクトレット及びこれを備える静電誘導型変換素子」、日本、平成 19 年 3 月 22 日出願
- [3] 鈴木、坂根、「エレクトレット及びこれを備える静電誘導型変換素子」、日本、平成 19 年 11 月 22 日出願

【受賞リスト】

- [1] Journal of Micromechanics and Microengineering 2008 Highlights (受賞者：坂根好彦、鈴木雄二、笠木伸英、受賞日：平成 20 年 10 月 1 日)