

審査の結果の要旨

氏名 馮躍

環境発電とは、環境の中に薄く広く存在するエネルギーから微小電力を取り出す技術であり、長期間持続可能な無線センサネットワークのためのメンテナンスフリーの持続型電源などとして、大きな期待が寄せられている。特に、環境振動発電は、航空機、橋脚や構造物の健全性監視、居住空間における空調のきめ細かい制御、農畜産業での個体管理などへの応用が期待されているが、環境の振動は周波数帯が 100Hz 以下と低く、電磁誘導や圧電素子の性能を十分活かすことができない。本論文では、小容積において最も効率良く電氣的エネルギーを取り出す方法と考えられるエレクトレットを用い、MEMS 技術を用いたハニカム樹脂ばね構造とそれに荷電をすることによって得られる圧電ポリマー構造を持つ新しいマイクロ振動発電器を提案したものである。

第 1 章では、まず、従来のエレクトレット、PVDF などの圧電ポリマー材料を概観した後、多孔質のポア内壁に荷電をすることによって圧電性を持たせる多孔質圧電ポリマーについて述べ、延伸法などを用いたこれまでの製作方法ではポアの寸法、分布が均一でないために圧電係数が低い値に留まっていたことを説明している。また、近年の微細加工技術を用いた試みも散見されるが、原理的に重ね合わせる層の数を増やすことができないという問題を指摘し、本研究の目的である、トレンチ埋込み技術を用いた新しいハニカム樹脂ばね構造を持つ圧電ポリマーの提案について述べている。

第 2 章では、パリレン埋込み技術を用いた、圧電性を示すハニカム樹脂ばね構造の設計とその試作手法について述べている。まず、ポリマー層空気層とポリマー層を重ねた 1 次元モデルによって、ポリマー材料の比誘電率によって、最適な空気層とポリマー層の厚みの比が決定されること、圧電係数が表面電荷密度の 2 乗に比例することを示している。また、本論文で用いる軟 X 荷電の場合、荷電終了時にポリマー層の両側に絶対値の等しい異符号の電荷が打ち込まれることを解析的に示し、実際に荷電実験によってそれを確認している。また、パリレン樹脂がばね材料としてもエレクトレット材料としても適していることを示している。さらに、振動方向のばね定数が小さく垂直方向の剛性が高い、高アスペクト比ハニカム構造を提案し、シリコン基板の深掘りエッチング、パリレン樹脂によるトレンチ埋込み、XeF₂ ガスによるモールド Si の除去による、パリレン樹脂のハニカム構造の試作を行っている。

第 3 章では、実際に MEMS 技術を用いて、ハニカム樹脂ばね構造を持つ圧電デバイスを試作し、140 Hz 程度の低い共振周波数を実現している。また、軟 X 線による荷電後、外部振動によって 150-200 mV/g の大きな電圧出力が得られることを示し、MEMS 技術に

基づく本論文の圧電ポリマー構造が、従来の圧電ポリマーに比べて高い性能を示すことを明らかにしている。一方、圧電係数に大きな影響のある表面電位は、軟 X 線荷電の際の電界の強さによって決まるが、初期プロトタイプでは多数のハニカム構造全体にバイアス電圧を印加していたため、14V と低い値に留まることを指摘している。

第 4 章では、表面電位を向上させるため、パリレンばね内部の空隙に導電性ポリマーを表面張力によって流し込み、ハニカム構造内部に電極を埋め込むプロセスについて検討をしている。これによれば、荷電時の電場を増大させ、出力を最大 2 桁向上させることができると見積もっている。そして、試作サンプルを用いて、50V 程度の表面電位を実現し、本手法による圧電性能向上の実現可能性を示した。

第 5 章では、本研究で得られた結論をまとめている。

以上要するに、本論文は、トレンチ埋込みプロセスによるハニカム樹脂ばね構造を用いた圧電ポリマーの提案と試作、軟 X 線荷電による圧電ポリマーの形成とその評価、ばね空隙内への導電性ポリマーの導入、振動発電実験などにより、低共振周波数、大振幅を実現しうる、環境振動発電のための新たな MEMS デバイスの提案を行ったもので、環境発電技術、センサ工学、マイクロ・ナノ工学などの進展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上