

平成 26 年 5 月 29 日

公益信託 NEXCO 関係会社高速道路防災対策等に関する支援基金

受託者 三菱 UFJ 信託銀行株式会社 御中

## 研究概要書

研究課題：高速道路の防災に資する電池レス無線センサの開発

研究代表者：東京大学大学院工学系研究科 教授 鈴木 雄二

研究分担者：鳥取スター電機 植田 誠

はじめに

地震などの災害への対応や不慮の事故を未然に防ぐために、低い人的コストで高速道路における各種設備を維持管理するための、自立電源を用いた電池レス無線センサが注目され、一部、具体的な検討が始まっている<sup>[1]</sup>。このようなシステムの実現をはかるため、環境のエネルギー、特に機械的振動を吸収して持続的に発電するマイクロデバイスの検討を行った。

### 1. 研究の目的

本研究では、研究代表者らがこれまで進めてきた、エレクトレットを用いたマイクロ振動発電デバイス<sup>[2]</sup>と、新しい電源管理回路、超低消費電力無線回路を組み合わせることによって、高速道路の橋脚、標識、トンネル内壁に設置可能な超小型の電池レス無線センサのプロトタイプを開発することを最終目標としている。エレクトレットは、絶縁体に電荷を打ち込んだものであり、半永久的に外部に電場を形成することができる。この外部電場の中で電極を振動させることによって、静電誘導による発電が可能である。本年度は、電源管理回路の初期的な検討と、MEMS（マイクロマシン）技術を用いて、楕歯電極を持つエレクトレット振動発電器のプロトタイプ試作を行った。

### 2. 電源管理回路の初期的検討

振動発電器の出力は交流であり、かつエレクトレット型の場合には一般に出力電圧が高いので、整流および降圧が必要である。図 1 に試作した AC/DC 降圧スイッチング回路の概要を示す。エレクトレット発電器からの交流出力を全波整流し、1次コンデンサに一旦蓄えた後に、スイッチングコンバータで低電圧に変換する。スイッチングコンバータの発振回路の電力は、1次コンデンサから供給する。スイッチング周波数は 16 Hz、ON 時間は 8 ms とした。この回路により、交流出力  $67 \mu\text{W}$  に対し、2.8 V 出力で  $16 \mu\text{W}$  の電力供給が得られた。しかし、変換効率は 23.9 % と低く、特に発振回路の消費電力が大きいことが判った。

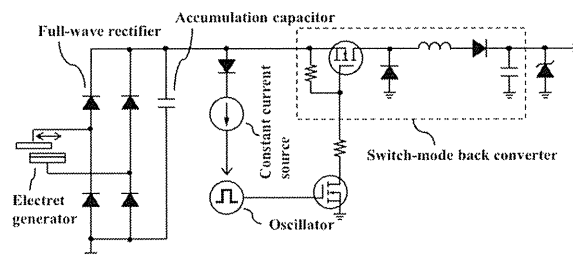


図 1 AC/DC 降圧スイッチング回路

### 3. 櫛歯電極を持つ MEMS エレクトレット振動発電器

櫛歯型電極の側壁にエレクトレット膜を形成した、「垂直エレクトレット」を持つ MEMS 振動発電器の開発を行った。図 2 に MEMS プロセスを示す。

8  $\mu\text{m}$  厚の  $\text{SiO}_2$  層 (BOX 層), 70  $\mu\text{m}$  厚のデバイス層を持つ SOI ウェハを用い, Si の深掘りエッチングにより櫛歯電極, ばね構造を形成する。その後, HF 蒸気により BOX 層を除去し, 構造体をリリースする。そして, 1.5  $\mu\text{m}$  厚の parylene-C をエレクトレット膜として成膜した。そして, 2 組の櫛歯電極間にバイアス電圧を印加しながら軟 X 線<sup>[4]</sup>を照射し, 櫛歯電極上の parylene-C に荷電を行った。ケルビン力顕微鏡による測定によって, 櫛歯電極上に均一な表面電位が得られたことを確認した。

図 3 に試作デバイスを示す。260Hz, 2 g の振動条件で 1.6  $\mu\text{W}$  の発電出力を得られた<sup>[5,6]</sup>。出力とし

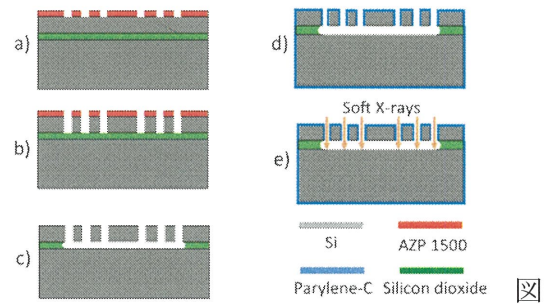
ては, 目標値よりも小さいが, 振動子の質量, 振幅, 振動条件から定まる発電量の機械的限界値<sup>[7]</sup>に対する比は 57% であり, 従来のエレクトレット発電器よりも極めて高い値が実現できていることが明らかになった。従って, 振動子の質量, 振幅を増大させる設計を行うことによって, さらなる出力向上も可能であることが判った。また, バネ構造の変更, 周波数変換機構の導入によって, より低い共振周波数も可能と考えられる。

### 4. まとめ

エレクトレット発電器用の電源管理回路の検討, および MEMS エレクトレット発電器の試作と評価を行った。回路については, ディスクリート回路では効率が低く, より高い変換効率のためには, LSI を用いた電源回路の利用を検討する必要があることが判った。試作した発電器は, 初期プロトタイプであるものの, 57% の高い変換効率が得られた。さらなる構造の最適化, 低共振周波数などにより, 道路モニタリングのための無線センサ電源として極めて有望であることが明らかになった。

### 参考文献

- [1] 藤原, 環境発電による道路モニタリングシステム, 環境発電ハンドブック (監修 鈴木雄二), エヌティエス, pp. 314-319.
- [2] Suzuki, Y., "Recent Progress in MEMS Electret Generator for Energy Harvesting," IEEJ Trans. Electr. Electr. Eng., Vol. 6, No. 2, pp. 101-111 (2011).
- [3] 植田 誠, 鈴木 雄二, 「エレクトレット振動発電器を用いた無線センサノードの性能評価」, 第



2 MEMS 技術を用いた試作プロセス

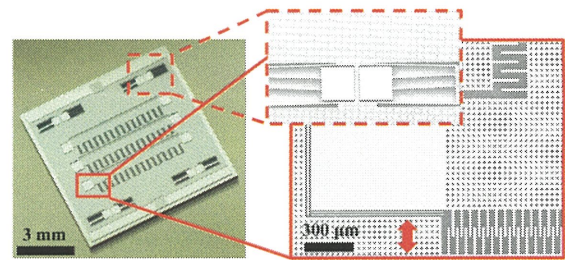


図 3 MEMS エレクトレット発電器プロトタイプ

5回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 仙台, 6PM3-PMN-010, (2013).

[4] Hagiwara, K., Goto, M., Iguchi, Y., Tajima, T., Yasuno, Y., Kodama, H., Kidokoro, K., and Suzuki, Y., "Electret Charging Method Based on Soft X-ray Photoionization for MEMS Applications," *Trans. IEEE, Dielectr. Electr. Insul.*, Vol. 19, No. 4, pp. 1291-1298 (2012).

[5] Fu, Q., and Suzuki, Y., "Large-Dynamic-Range MEMS Electret Energy Harvester with Gap-closing/Overlapping-area-change Electrodes," 13th Int. Workshop on Micro and Nanotechnology for Power Generation and Energy Conversion Applications (PowerMEMS 2013), London, pp. 542-546, (2013).

[6] Fu, Q., and Suzuki, Y., "MEMS Vibration Electret Energy Harvester with Combined Electrodes," 27th IEEE Int. Conf. Micro Electro Mechanical Systems (MEMS'14), San Francisco, pp. 409-412, (2014).

[7] P. D. Mitcheson, E. M. Yeatman, G. K. Rao, A. S. Holmes, and T. C. Green, "Energy Harvesting from Human and Machine Motion for Wireless Electronic Devices," *Proc. IEEE*, Vol. 96, pp. 1457-1486, (2008).