

非鉛強誘電体薄膜を用いた MEMS 振動発電

MEMS Vibration Energy Harvesting Using Lead-free Ferroelectric Films

阪府大院工¹, 大阪府立産技研² °吉村 武¹, 村上修一², 藤村紀文¹

Osaka Pref. Univ.¹, TRI Osaka², °T. Yoshimura¹, S. Murakami², N. Fujimura¹

E-mail: tyoshi@pe.osakafu-u.ac.jp

【はじめに】環境中の微小エネルギーを対象とした発電技術の開発が進められている。振動などの運動エネルギーを利用する発電素子は、ZnO ナノワイヤーを用いたナノジェネレータ¹や共振型発電素子²などの発表を契機に 2005 年頃から研究が活発化している³。時間的あるいは空間的に偏在する一方で高いエネルギー密度を得ることも可能な光や熱が、再生可能エネルギーとしても期待されるのに対し、運動エネルギーは環境中に広く安定に分布して存在しているという特徴がある。そのため kW クラス以上の発電は難しいが自立型センサノードなどの小型電子デバイスの電源としての適性を有する。共振を利用しない発電素子もあるが、本研究では高い変換効率が得られる共振型に焦点を当てている。

【圧電 MEMS 振動発電】運動エネルギーからの発電には電磁誘導などのいくつかの方式がある。その中で圧電方式は、電気機械結合係数が定数で与えられる線形素子である、出力電圧が 1-10V で電子回路との整合性が良い、発電機構が単純で MEMS 技術による小型化が可能である等の特徴を有する。そのため他の方式に比べて数 10Hz 以上の比較的高い周波数の機械振動を利用する共振型の発電素子において優位性がある。高い電気機械結合係数を有する圧電体としては PZT などの鉛系強誘電体が代表的であるが、鉛の毒性のために振動発電での利用は限定される。そこで我々は、圧電体薄膜の電気機械結合係数が比誘電率に反比例することに着目し、強誘電体としては低い 100 程度の比誘電率を有する BiFeO₃を採用している⁴。BiFeO₃の配向膜やエピタキシャル膜を作製し成長方位を制御することで、PZT 薄膜と同等の電気機械結合係数が得られることを報告している^{5,6}。

また、BiFeO₃配向膜を用いた片持ち梁構造の圧電 MEMS 振動発電素子を作製したところ、10.5 $\mu\text{W}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{G}^{-2}$ の発電特性が得られた⁷。錘の質量(m)、機械的品質係数(Q_m)、共振周波数(ω)、振動源の加速度($A_{(peak)}$)を用いて $mA^2Q/8\omega$ で与えられる振動発電素子の最大理論発電量と比較すると、得られた発電量特性はその 80%に相当し、高い発電効率を達成できている⁷。このように圧電方式の振動発電素子は、理論限界に近い発電効率を実現することが可能であり、また線形デバイスであることから、その設計も比較的容易である。一方で、様々な種類の環境振動に対応できる実用的な素子を開発するには、BiFeO₃薄膜を含めた現在の圧電体薄膜の特性では不十分であり、その向上が必要となっている。本講演では、高効率の圧電 MEMS 振動発電の実現に向けた素子設計および物質開発の現状について述べる。

【謝辞】本研究は NEDO 平成 23 年度先導的産業技術創出事業および JST CREST の支援を受けて行われた。

参考文献

1. Z. L. Wang *et al.*, Science **312** (2006) 242.
2. S. P. Beeby *et al.*, Meas. Sci. Technol. **17** (2006) R173.
3. G. Kim *et al.*, MRS Bulletin, **37** (2012) 1039.
4. T. Yoshimura *et al.*, Appl. Phys. Exp., **6**, (2013) 051501.
5. K. Ujimoto *et al.*, APL, **100** (2012) 102901.
6. K. Kariya *et al.*, JJAP., **53** (2014) 09PA14.
7. 「エネルギーハーベスティングの設計と応用展開」桑野博喜、竹内敬治監修、シーエムシー出版(2015)