

「微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出」
平成28年度採択研究代表者

H28 年度
実績報告書

神野 伊策

神戸大学
教授

分極制御非鉛圧電薄膜による高効率 MEMS 振動発電素子の創製

§ 1. 研究実施体制

(1) 神戸大学グループ

① 研究代表者： 神野 伊策（神戸大学工学研究科、教授）

② 研究項目

- ・ Ba 系非鉛圧電薄膜のスパッタ成膜
- ・ PZT エピタキシャル薄膜の作製と圧電特性評価技術開発
- ・ 有機強誘電体薄膜の構造制御

(2) 大阪府立大学グループ

① 主たる共同研究者： 吉村 武（大阪府立大学大学院 工学研究科、准教授）

② 研究項目

- ・ コンビナトリアルスパッタ法による BiFeO_3 エピタキシャル薄膜の成長条件の最適化
- ・ Si 上のバッファ層の作製
- ・ 振動発電応用に適した分極構造の探索
- ・ BiFeO_3 薄膜を用いた振動発電素子の試作、特性評価

(3) 兵庫県立大学グループ

① 主たる共同研究者： 神田 健介（兵庫県立大学工学研究科、助教）

② 研究項目

- ・ 圧電薄膜の多層化による厚膜化・発電エネルギーの向上
- ・ 圧電縦効果等を利用した高出力 MEMS 圧電エネルギーハーベスタの設計試作

(4)大阪府立産技研グループ

① 主たる共同研究者：村上 修一（大阪府立産業技術総合研究所 制御・電子材料科、主任研究員）

② 研究項目

- ・MEMS 微細加工技術の開発
- ・MEMS 発電素子の試作
- ・振動モード解析・発電性能シミュレーション

§ 2. 研究実施の概要

本年度は、来年度以降の連携を本格化させるための準備段階として、本チームを構成する4グループの技術的特長を更に進展させる活動を中心に研究を実施した。研究内容は主に圧電薄膜材料の研究とデバイス化技術に大別される。

圧電薄膜材料に関する研究は、非鉛圧電材料として Sn 添加 BaTiO₃ 強誘電体薄膜、BiFeO₃ (BFO) マルチフェロイック薄膜、および P(VDF/TrFE) 有機圧電薄膜を対象に研究を行った。各非鉛圧電薄膜の圧電特性を明らかにすると共に、特に BiFeO₃ 薄膜および P(VDF/TrFE) 有機圧電薄膜では振動発電素子の試作および評価まで実施した。

図1は今回試作した多層化、平行(//)および垂直(⊥)延伸 P(VDF/TrFE) 膜を用いたカンチレバー型振動発電素子の概略図である。延伸方向の異なる発電素子において明確な発電特性の差異が確認され、また4層積層した素子において約 2.5 μW の高い出力を発生させることが

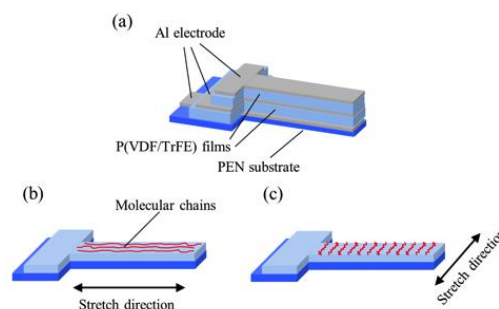


図1 一軸配向有機圧電膜を用いた発電素子構造

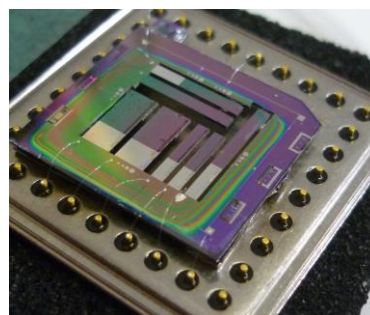


図2 BFO 薄膜を用いた振動発電素子の外観写真

できたり。有機材料の軽量、柔軟性、またウェアラブルデバイスとの親和性の高さ等の特長を生かした応用展開について今後検討を進める予定である。

今回、BFO 薄膜をスパッタ法で成膜、その条件を最適化させることにより高い圧電性能($e_{31,f} = -4.2\text{C/m}^2$)を得ることに成功した。この値は通常報告されている PZT 圧電薄膜の半分程度の圧電性であるが、誘電率の低さから高い発電性能が期待できる。BFO 圧電薄膜の微細加工技術の開発にも取り組み、MEMS 圧電素子の試作を行った²⁾。図2は

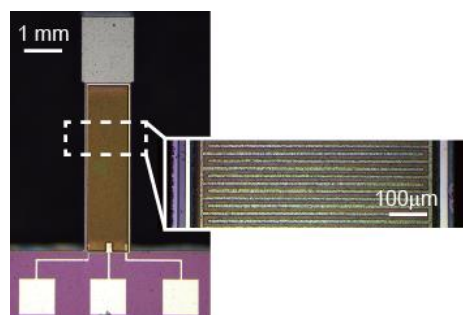


図3 櫛歯電極を用いた PZT 圧電薄膜振動発電素子

(100)配向非鉛 BFO 薄膜の振動発電素子の外観写真である。BFO 圧電薄膜の微細加工条件を確立することにより、素子化に成功した。その発電能力は $1.6 \mu\text{W}/\text{mm}^2/\text{G}^2$ を示し、高い体積効率を有していることが明らかとなった。今後詳細な圧電性能の評価と共に、素子構造の最適化による出力向上に取り組む。

これまでの圧電薄膜振動発電素子は、素子化プロセスの制限により単層圧電薄膜を上部、下部電極で挟み込んだユニモルフカンチレバー構造が主流であったが、圧電縦効果を利用する新しい素子構造の検討を行った。圧電縦効果(33-mode)は、通常利用されている圧電横効果

(31-mode)の約3倍程度の高い圧電性能を有している。今回、PZT 薄膜を用いて図3に示す櫛歯構造の圧電 MEMS 振動発電素子の試作に成功した。今後素子構造の最適化と共に、非鉛圧電薄膜への応用を進めていく。

1) T. Kajihara, Y. Ueno, Y. Tsujiura, Y. Koshiha, M. Morimoto, I. Kanno, K. Ishida, "Piezoelectric vibration energy harvesters with stretched and multistacked organic ferroelectric films", Jpn. J. Appl. Phys., 56 (2017) 04CL04-1

2) M. Aramaki, K. Izumi, T. Yoshimura, S. Murakami, and N. Fujimura, "High efficiency piezoelectric MEMS vibrational energy harvesters using (100) oriented BiFeO₃ films", Proc. MEMS2017, (2017) 829