

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
2020年度採択研究代表者

2021年度 年次報告書

神野 伊策

神戸大学大学院工学研究科
教授

高効率非鉛圧電薄膜発電システムの実証展開

§ 1. 研究成果の概要

圧電薄膜開発

スパッタ法により作製した Si 基板上の(001)配向 KNN エピタキシャル圧電薄膜のアニール効果に関する検討を行った。650°Cのポストアニールにより正方晶系から斜方晶系への構造変化が起こり、安定な分極方向の反転と共に圧電定数 $|e_{31,d}|$ は 6.4 C/m²とアニール前の 1.4 倍の値が得られた。また、KNN 薄膜の熱力学計算により、約 4×10^{-3} の引張ひずみを与えることにより結晶相変化とともに圧電性の増大する結果が得られ、今後、極薄膜および超格子薄膜による応力制御により検証を行う。この他、ゾルゲル法による PZT 薄膜のエピタキシャル成長に成功し、高い圧電定数 ($|e_{31,d}|=8.9 \sim 11.6$ C/m²)を実現することができた。

圧電振動発電素子

ステンレス箔上 PZT 薄膜を用いたフレキシブル発電素子を試作、大変形においても安定な出力を確認した。カード型圧電発電素子を試作し、折り曲げ変形により最大 66 μ W の出力および LED10 個の点灯に成功した。また、生体内発電を目的とした有機圧電薄膜 P(VDF/TrFE)圧電素子を試作し心臓モデルにおける拍動発電量を測定した。パリレン蒸着素子により疑似生体環境下において約 1V_{pp} の安定な電圧出力が確認できた。

微小発電システム開発

タイヤ加速度から発電、情報収集、無線送信するシステム構築に関する実証実験を行った。直列接続 PZT 薄膜 MEMS 発電素子により高電圧化を達成、タイヤ接地に伴う 200 Hz で出力振幅の増大が確認できた。

微小発電システム蓄電素子として用いる全固体アモルファス薄膜リチウムイオン電池を試作、評価した。紫外線硬化樹脂でセル表面を封止することで大気環境下において比較的安定な充放電が達成できた。ポリイミドを基板とする薄膜セルでは初期放電容量が 8.8 μ Ah/cm²となった一方 30 サイクル後では容量が 60%程度に減少しており、今後そのメカニズム解明と積層化による容量増大に取り組む。

§ 2. 研究実施体制

(1) 神野グループ

- ① 研究代表者： 神野 伊策（神戸大学大学院工学研究科 教授）
- ② 研究項目
 - ・PZT および KNN 系圧電薄膜の作製および圧電特性向上
 - ・有機強誘電体薄膜を用いたフレキシブル振動発電素子
 - ・無機強誘電体薄膜を用いたフレキシブル振動発電素子
 - ・アモルファス薄膜全固体リチウムイオン電池の作製

(2) 前中グループ

- ① 主たる共同研究者： 前中 一介（兵庫県立大学大学院工学研究科 教授）
- ② 研究項目
 - ・タイヤ加速度から発電、情報収集、無線送信するシステムの構築
 - ・上記に対応する複数種のデータ収集・管理システムの構築
 - ・耐衝撃性の高いハーベスタの構造・プロセスの検討と初期試験
 - ・非定常気流に対応する発電デバイスの提案と試作、評価

(3) 吉村グループ

- 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
 - ・非定常振動に対応した多自由度型振動発電素子の開発
 - ・Si 上への BiFeO₃ 薄膜のエピタキシャル成長
 - ・エピタキシャル BiFeO₃ 薄膜を用いた圧電 MEMS 振動発電素子の開発

(4) 山田グループ

- ① 主たる共同研究者： 山田 智明（名古屋大学大学院工学研究科 教授）
- ② 研究項目
 - ・KNN 薄膜の熱力学現象論モデルの構築による圧電特性向上指針の確立
 - ・KNN 薄膜の圧電特性向上に向けた Si 上バッファ層の開発
 - ・Pb 系極薄膜のドメイン構造の解明と圧電特性の向上

【代表的な原著論文情報】

- 1) R. Harada, N. Iwamoto, S.-H. Kweon, T. Umegaki, I. Kanno, "Finger flexion power generators made of piezoelectric lead zirconate titanate thin films on stainless steel foils", *Sensors and Actuators A: Physical*, **322**, 112617 (2021).
- 2) G. Jikyo, K. Onishi, T. Nishikado, I. Kanno, K. Kanda, "Piezoelectric unimorph microcantilevers for measuring direct and converse piezoelectric coefficients", *Journal of*

Applied Physics, **130**, 074101 (2021).

- 3) K. Ueda, S.-H. Kweon, H. Hida, Y. Mukouyama, I. Kanno, "Transparent piezoelectric thin-film devices: Pb(Zr,Ti)O₃ thin films on glass substrates", Sensors and Actuators A: Physical, **327**, 112786 (2021).
- 4) K. Kanda, T. Koyama, T. Yoshimura, S. Murakami, and K. Maenaka, "Characteristics of Sputtered Lead Zirconate Titanate Thin Films with Different Layer Configurations and Large Thickness", IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, **68**, 1988–1993 (2021).
- 5) Y. Ehara, D. Ichinose, M. Kodera, T. Shiraishi, T. Shimizu, T. Yamada, K. Nishida, and H. Funakubo, "Influence of Cooling Rate on Ferroelastic Domain Structure for Epitaxial (100)/(001)-oriented Pb(Zr, Ti)O₃ Thin Films under Tensile Strain", Japanese Journal of Applied Physics, **60**, SFFB07 (2021).