

神野 伊策

神戸大学工学研究科  
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
  - ・ KNN 系非鉛圧電薄膜のスパッタ成膜
  - ・ PZT, KNN 薄膜の圧電特性, 構造評価技術
  - ・ 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  $\text{BiFeO}_3$  エピタキシャル薄膜の成長
  - ・  $\text{BiFeO}_3$  薄膜の分極構造の評価
  - ・  $\text{BiFeO}_3$  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
  - ・ 高出力 MEMS 圧電エナジーハーベスタの設計試作

### (4) 大阪産業技術研究所グループ

- ① 主たる共同研究者: 村上 修一 (大阪産業技術研究所電子・機械システム研究部 主任研究員)

② 研究項目

- ・MEMS 微細加工技術の開発
- ・発電評価系構築

## § 2. 研究実施の概要

非鉛圧電薄膜の圧電定数向上の戦略として、圧電薄膜の分極軸の回転、もしくは応力・電界誘起相転移による圧電効果を PZT と同程度以上に引き上げることが主眼としている。その目的を実現する手段として、特に無機圧電薄膜において非熱平衡的なプロセスでかつ量産展開が可能なスパッタ成膜法を中心に検討を進めている。

今年度は特に圧電効果による結晶構造および分極構造の微視的観察を重点に研究を進めた。分析の手法として、X 線回折(XRD)により圧電結晶ひずみ、および正圧電応答顕微鏡による微視的分極構造観察を用いて、PZT 薄膜および BiFeO<sub>3</sub> 薄膜を中心に検討を行った<sup>1)</sup>。今回、シンクロトロン放射光(SPring-8, BL19B2)を用いて測定したエピタキシャル PZT 薄膜の面外 XRD パターンの印加電圧依存性を測定し、その結果を図 1 に示す。電圧印加に伴い回折ピークが大きくシフトしていることが確認され、格子定数の変化量から圧電定数を見積もった結果は巨視的なカンチレバー法で測定した圧電定数とほぼ同じ値を示すことがわかった。非鉛材料の研究対象の一つである KNN 薄膜については、スパッタ法によりエピタキシャル作製した。良好な c 軸配向膜を作製できた一方、現時点ではリーク成分が大きく電圧印加による結晶格子ひずみの観察には至っておらず、来年度以降の課題である。

BiFeO<sub>3</sub> の圧電性については、エピタキシャル薄膜を用いて分極構造を精密に決定し、同一領域で得た正圧電応答顕微鏡の結果と比較した。図 2 に示す通り 71°ドメイン壁が存在する領域で大きな正圧電応答を示すことが明らかになり、今後圧電定数を向上させるための結晶制御の指針が得られた。一方、低融点金属の Bi の膜組成を精密に制御するためコンビナトリアルスパッタ法を用いて 200nm の膜厚の BFO 薄膜の薄膜組成を最適化した結果、振動発電性能指数(FOM)が本研究の目標値(15GPa)に迫る 13GPa の大きな値が得られた。この原因を探るため X 線逆格子マッピング測定を実施した結果、膜厚の増加とともに正方晶から菱面体晶に変化していくことが明らかになり、結晶構造の揺らぎに起因することを示唆している。

有機圧電薄膜に関しては、P(VDF-TrFE)とイオン液体 ([EMIM][TFSI])とを混合させた P(VDF-TrFE)/ILゲルを作製し、圧電性の向上を検討した。P(VDF-TrFE)/ILゲルと電極間に固体 P(VDF-TrFE)薄膜を挟み込んだ三層構造デバイスを作製し、その強誘電特性および逆圧電特性の評価を行った結果、通常の P(VDF-TrFE)薄膜の 10~40 倍の変位量が得られ、特に P(VDF-TrFE)分率が小さな方が、大きな逆圧電変位を示す傾向が得られた。今後、ゲル組成やインピーダンス特性、詳細な正圧電特性の調査を進め、有機圧電薄膜における発電特性の増大

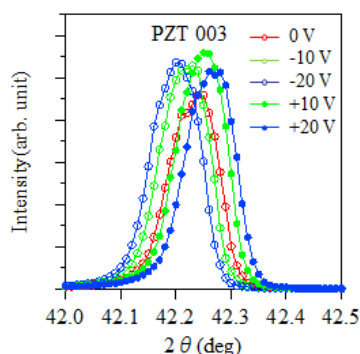


図 1 エピタキシャル PZT 薄膜の XRD パターン : DC 電圧印加依存性

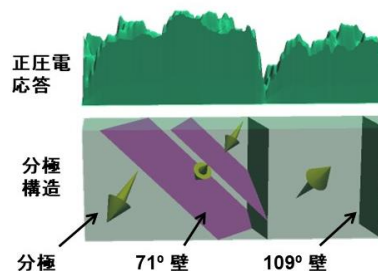


図 2 分極構造と正圧電応答の関係

を目指す。

- 1) H. Cheng, J. Ouyang, and I. Kanno, "Probing domain switching dynamics in ferroelectric thick films by small field  $e_{31}$  piezoelectric measurement", Appl. Phys. Lett., 111 (2017) 022904.
- 2) Y. Tsujiura, E. Suwa, T. Nishi, F. Kurokawa, H. Hida, I. Kanno, "Airflow energy harvester of piezoelectric thin-film bimorph using self-excited vibration", Sens. Actuators A, 261 (2017)295-301.
- 3) H. Hida, T. Hamamura, T. Nishi, G. Tan, T. Umegaki and I. Kanno, "Piezoelectric characterization of  $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$  thin films deposited on metal foil substrates by dip coating", Jpn. J. Appl. Phys., 56 (2017) 10PF08.