

MEMS デバイス向け厚膜 PZT/PZT バイモルフ構造

Thick film PZT/PZT bimorph structure for MEMS device

兵庫県大工¹ JST² ○^(B)井上 純一¹, 神田 健介^{1,2}, 斎藤 誉司², 藤田 孝之^{1,2}, 前中 一介^{1,2}Univ. Hyogo¹, JST² ○^(B)J.Inoue¹, K.Kanda^{1,2}, T. Saito², T. Fujita^{1,2}, K. Maenaka^{1,2}

E-mail: eo09v007@steng.u-hyogo.ac.jp

1. はじめに

圧電型 MEMS アクチュエータは、磁気回路などの複雑な周辺回路を必要とせず小型化が容易であり、静電型に比べ低電圧で大きな変位が得られるという利点がある。代表的な圧電材料として、PZT (チタン酸ジルコン酸鉛) があり、大きな変位が得られることから、バルク PZT 焼結体を用いたバイモルフ構造のアクチュエータが広く使われている。小型化のため、PZT 薄膜の MEMS 応用も行われており、接合プロセスを含まない薄膜 PZT を用いたバイモルフ構造の先行研究[1]も報告されている。しかしながら、その PZT 膜は薄く、構造体を支えることが可能な厚い薄膜 PZT バイモルフ構造を作製することは、クラックや圧電特性の劣化等の理由で従来困難であった。

本研究では MEMS への応用を目的とし、厚膜 PZT バイモルフ構造の成膜条件最適化および諸特性の評価を行った。

2. スパッタ PZT 薄膜の成膜

良好な圧電特性とクラックのない厚膜を両立させるため、成膜条件を最適化した。図 1 の SEM 像に示すように、熱酸化した 4 インチ Si ウェハ上に、1 層 2.7 μm の PZT 層と、その上下及び中間に電極層の成膜を行った。上下層の電極は Pt/Ti であり、中間電極層は Pt/Ti/Pt である。SEM 像から、PZT 膜それぞれがクラックなく緻密に柱状成長している事がわかる。上層 PZT は、下地の影響を受けることはよく知られており、本研究では表面粗さに着目し、中間電極を厚膜とすることで表面粗さを減少させて成膜を行った。図 2 に、AFM を用いて測定した各種中間電極の表面粗さを示す。ここで中間電極 Pt/Ti (100/10 nm)、Pt/Ti/Pt (100/10/100 nm)、Pt/Ti/Pt (200/10/100 nm) をそれぞれ条件 A、B、C とした。図より、厚膜化により表面粗さが減少することが分かる。

条件 C により成膜した PZT 薄膜の結晶構造について、XRD により評価した結果を図 3 に示す。図のピークは圧電特性を有するペロブスカイト結晶構造と Pt を示し、圧電特性を持たないパイロクロア結晶構造のピークは見られず、良質な膜であることがわかる。

3. カンチレバーの試作

幅 100 μm 、単層厚み $h = 2.7 \mu\text{m}$ 、長さ $L = 0.2\text{--}1 \text{ mm}$ の PZT バイモルフカンチレバーを試作し、電気的および圧電特性の評価を行った。図 4 に分極と電界のヒステリシスループを示し、表 1 に電気的特性の測定結果を示す。これより、上下層の PZT 膜において、よく一致した特性が得られていることがわかる。図 5 に 500 Hz の正弦波を印加したときの長さ $L = 1 \text{ mm}$ のカンチレバー先端の振幅を示す。ユニモルフ駆動に比べバイモルフ駆動は、2 倍程度の変位を示しており、どちらの駆動もきわめて線形的な変位が得られている。先端の振幅 δ と印加電圧 V から圧電定数 d_{31} を算出すると、

$$\delta = -\frac{3d_{31}L^2V}{4h^2}$$

より[2]、-40 pm/V となった。先行研究[2]の 1 層 1.5 μm のバイモルフ構造カンチレバーでの d_{31} (=13 pm/V) に比べ、3 倍程度の値の PZT 膜が得られた。また、長さ 1 mm のカンチレバーの共振周波数の理論値は 2829 Hz である。ドップラー振動計で測定した値は 2869 Hz と、ほぼ同等となった。Q 値は 100.6 となった。

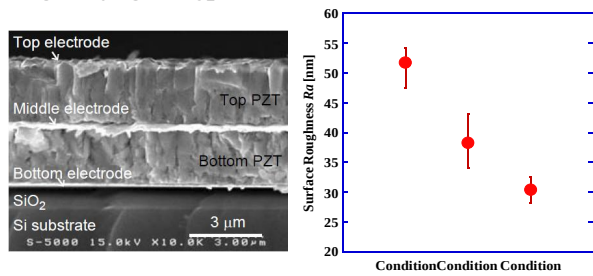


図 1 断面図

図 2 表面粗さ

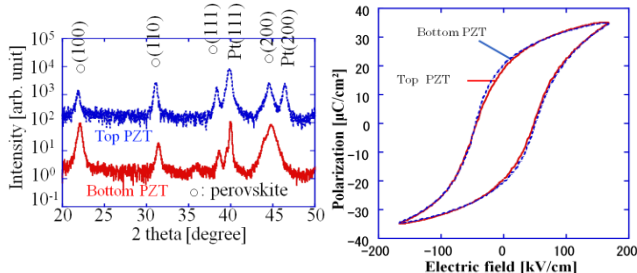


図 3 XRD 解析結果

図 4 分極-電界 ヒステリシス

表 1 測定結果

Layer	Dielectric loss	ϵ_r	2Pr [$\mu\text{C}/\text{cm}^2$]	2Ec [kV/cm]
Top PZT	0.026	968	39.0	101.5
Bottom PZT	0.024	1018	40.5	105.2

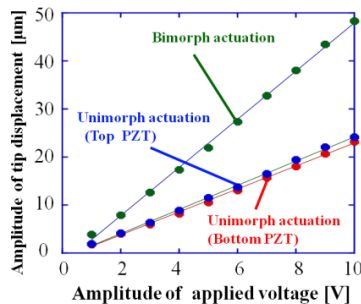


図 5 正弦波印加による先端変位

4. まとめ

厚膜 PZT を用いたバイモルフ構造を実現した。上下層の PZT 層は良質な圧電特性を示しており、よく一致した特性が得られた。試作したカンチレバーから測定した結果、圧電定数 d_{31} は約 -40 pm/V である事が確認できた。得られた諸特性より、MEMS への応用が可能である。今後、再現性の検証、MEMS デバイスの作製を行う。

5. 参考文献

- [1] J. Tsaur, L. Zhang, R. Maeda, S. Matsumoto and S. Khumpuang, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 41, pp. 4321-4326, 2002.
- [2] K. Kanda, J. Inoue, T. Saito, T. Fujita, K. Higuchi, K. Maenaka, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 51, 09LD12, 2012.