スパッタ法で作製した PZT 薄膜積層アクチュエータ

PZT multilayer thin films actuator fabricated by sputtering

○岸本 真哉 (神大院工) 辻浦 裕一 (神大院工) 黒川 文弥 (神大院工)
肥田 博隆 (神大院工) 神野 伊策 (神大院工)

Masaya Kishimoto, Kobe University, 1-1 Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe, Japan
Yuichi Tsujiura, Kobe University, 1-1 Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe, Japan
Fumiya Kurokawa, Kobe University, 1-1 Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe, Japan
Hirotaka Hida, Kobe University, 1-1 Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe, Japan
Isaku Kanno, Kobe University, 1-1 Rokkodai-cho, Nada-ku, Kobe, Japan

We fabricated multilayer ceramic actuator (MLCA) composed of piezoelectric layers with SrRuO_3 (SRO) internal electrodes by single sputtering deposition. We deposited approximately 500-nm-thick $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ (PZT) layers on SiO_2/Si substrates through a movable shadow mask. The separated internal SRO electrodes are prepared by sliding the shadow mask and multilayered PZT thin films are deposited on a Si substrate with external electrodes on both sides of the PZT films. The PZT layers of MLCA have perovskite structure. The MLCA with five PZT layers have high-dielectric properties; a relative electric coefficient of approximately 1100 regardless of the number of PZT layers. The piezoelectric displacement of Si cantilever with MLCA increased with the number of PZT layers.

Key Words: MLCA, PZT, multilayer thin films, piezoelectric, sputtering

1. 緒言

近年、電子デバイスの小型化、高性能化に伴い、積層セラミックコンデンサ (MLCC) や圧電積層アクチュエータ (MLCA) などの積層セラミックスの小型化、集積化が求められている。MLCC および MLCA は従来テープキャスティング法により作製されてきたが⁽¹⁾、大きな比誘電率を有する誘電体をサブミクロンオーダーの膜厚で作製することは容易ではない。一方、スパッタ法、Chemical Vapor Deposition (CVD) 法などの気相薄膜成長法は、強誘電性を有する薄膜をサブミクロンオーダーの膜厚で作製することが可能である。さらに Si 基板上に誘電体を成膜できるため、半導体材料への機能性材料の集積化も可能である。しかし交互に配置された内部電極を作製することは容易ではなく、実用的な積層構造作製法は未だ確立されていない。そこで、気相薄膜成長法のみを用いて、外部・内部電極と誘電体層を一括形成する簡易な積層構造作製法の確立が必要である。これまで我々は MLCC 応用を目的としてスパッタ法を用いて誘電体を作製し、その誘電特性について報告してきた⁽²⁾。

今回、積層アクチュエータへの応用を目的として PZT 積層薄膜を Si 基板上に作製し、その結晶構造、電気特性および圧電特性を評価した。

2. 実験方法

PZT 積層薄膜は、RF マグネトロンスパッタリング法を用いて作製した。基板表面に引き出した外部電極の絶縁性を確保するため、 $1\ \mu\text{m}$ の熱酸化被膜に覆われた、厚さ $525\ \mu\text{m}$ の (100)Si 基板を用いた。内部電極が一層ごと交互に一对の外部電極と接続している構造を一括して作製するため、基板上に可動マスクを設置し、PZT 層 ($\text{Zr/Ti}=53/47$) および内部電極の成膜前後にマスクを移動させて成膜した。内部電極として導電性酸化物であり、PZT と同じペロブスカイト構造を有する SrRuO_3 (SRO) を使用した。PZT および SRO の膜厚はそれぞれ $500\ \text{nm}$ および $80\ \text{nm}$ である。なお、SRO の結晶性、密着性を向上させるために、Si 基板上の SRO 電極との界面には Pt を成膜した。今回、PZT 圧電体層数を 1, 3, および 5 層とした各積層薄膜を作製した。作製した積層構造の断面の模式図を Fig.1 に示す。薄膜の結晶性は X 線回析 (XRD) を用い

て評価した。電気特性は LCR メータを用いて比誘電率を評価した。圧電特性評価は、PZT を 1, 3, および 5 層積層した薄膜の Si カンチレバーを作製して行った (Fig. 2)。Si 基板をマスク移動方向と平行に幅 $3.0\ \text{mm}$ 、長さ $20\ \text{mm}$ の短冊状に切り出し、一端を固定しカンチレバーを作製後、外部電極間に負にバイアスした交流電圧を印加した。積層圧電薄膜の積層圧電薄膜の圧電横効果により電極交差部分が面方向に伸縮し、このとき発生するたわみを固定端から $15\ \text{mm}$ 離れた位置においてレーザードップラー振動計で測定した。

Fig.1 Structure of multilayer thin films.

Fig.2 Schematic illustration of the measurement systems for piezoelectric properties.

Fig.3 Photograph of five-layered multilayer PZT thin films on Si substrate.

Fig.4 XRD patterns of multilayer PZT thin films composed of one, three and five PZT layers.

Fig.5 The capacitances per unit area of multilayer thin films composed of single, three, and five PZT layers.

Fig.6 The tip displacement of multilayer thin films composed of single, three and five PZT layers.

3. 結果および考察

作製した PZT 積層薄膜の外観写真を Fig.3 に示す. PZT 層と SRO 層がそれぞれ形成されていることが確認できる. Fig.4 に各積層数における XRD パターンを示す. 各 PZT 積層膜において(001), (111) および(002) 方向のピークが見られ, ペロブスカイト構造を有する PZT 積層膜が形成されていることが確認できた. PZT 積層膜の各層数における単位面積当たりの静電容量を Fig.5 に示す. 単位面積当たりの静電容量は積層数にほぼ比例して増加し, 比誘電率は積層数にかかわらず 1100 程度と一定となった. Fig.6 に各積層サンプルに対して交流印加時の Si カンチレバーの変位を示す. 各積層数の Si カンチレバーにおいて, 電圧の増加とともにカンチレバーの変位量が増加することが確認できた. また, 3, 5 層における先端変位量は 1 層と比較して増加していることが確認できた.

4. 結言

RF マグネトロンスパッタリング法を用いて SRO 電極を有する, PZT 薄膜積層アクチュエータを SiO₂/Si 基板上に作製した. PZT 積層薄膜はペロブスカイト構造を有していた. 比誘電率は積層数によらず 1100 程度となった. 固定端表面に長さ約 1 mm の PZT 積層薄膜を有する, 幅 3.0 mm, 長さ 15.0 mm のカンチレバーについて, 交流印加時の先端変位量を測定したところ, 積層数の増加に伴い変位特性の向上が確認できた. RF マグネトロンスパッタリング法を用いて MLCA が作製でき, 積層数の増加に伴い Si カンチレバーの圧電変位が向上していることが確認できた.

引用文献

- (1) R. E. Mistler, et al., Tape Casting: Theory and Practice. Westerville: The American Ceramic Society, (2000)
- (2) Y. Imamiya, et al., Multilayer Thin-Film Capacitor Fabricated by Radio-Frequency Magnetron Sputtering, Jpn. J. Appl Phys. 50 (2011) 09Na01