

K6-21

PZT 圧電薄膜を用いた音響発電デバイスの発生電力に対する電極製作プロセスの影響

Influence of electrode production process on generation electric power of sound power generation device with PZT piezoelectric thin film

○辻本恭平¹、富岡峻悟²、飯泉智司²、木村脩²、西岡泰城³

Tsujimoto Kyohei, Tomioka Shungo, Izumi Satoshi, Kimura Shu, Nishioka Yasuhiro

MEMS energy harvesters integrable on silicon integrated circuits have been strongly demanded. Horowitz et al. have recently reported on a MEMS acoustic energy harvester using a PZT thin film as a diaphragm. Shinoda et al. also reported on similar acoustic energy harvesters with improved performances fabricated using sol/gel PZT thin film processes, and suggested that the PZT acoustic energy harvester may be suitable for use as a possible power source for silicon integrated circuits. This paper presents further improved power generation performances of PZT MEMS acoustic energy harvesters fabricated using improved PZT thin film fabrication processes.

1. はじめに

近年、CMOS集積回路にMEMSデバイスなどを集積化することで付加価値を与えようとする試みが始まっている。我々はPZT強誘電体薄膜からなるダイヤフラムに音波を与えることで振動させ、圧電効果により発電デバイスを報告したS. B. Horowitzの研究に着目している。

昨年の研究において、デバイスを作製プロセス時の上部電極を作成する際にAlエッチング液を用いてエッチングするとPZT膜が曝露され発生電力に影響を与えていることがわかった。そこで本研究では上部電極作成時にAlエッチング法とAlエッチング液を使用せずマスクパターンを用いた蒸着法の2つの製法で発生電力の比較、評価を行なったので報告する。

2. 原理

PZT(チタン酸ジルコン酸鉛)は強誘電体であり、応力を加えると歪によって電気分極が生じる圧電効果という特徴を持っている。今回我々が作製したデバイスの概略図を図1に示す。両面が酸化膜に囲まれたSi基板上にTi/Pt/PZT/Alの順に製膜した構造となっており、下部の一部を除去することでダイヤフラム部を成形している。この作製したダイヤフラム部に音波を当てることによって振動させることでPZT層を歪ませ、圧電効果によって電気分極の状態が変化することにより発電する構造となっている。

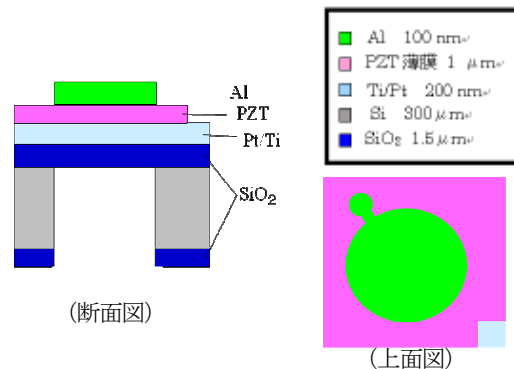


図1 作製したデバイスの概略図

3. デバイスの作製工程

図2にデバイスの作製工程を示す。まず基板として両面酸化膜SiO₂(1.5 μm)に覆われたSiチップ(300 μm)を用いる。①酸化膜の上からスパッタリング法により下部電極であるTi/Pt(200 μm)を製膜する。②その後ゾルゲル法によりPZT薄膜(1 μm)を製膜する。③さらにその上から真空蒸着法によって上部電極であるAlを製膜する。④上部電極を作製するためにパターンニングを行いAlエッチングにより上部電極を作製する。⑤次に下部電極を取り出すためにパターンニングを行い、BHFを用いてPZT膜の一部を除去し下部電極のPtを取り出す。また裏面はフォトリソグラフィを用いて、キャビティを作製するためのパターンニングを行う。⑥最後にICPドライエッチング装置を用いSiを削りキャビティを製作した。

今回の改善方法としては図2-④のAlエッチング液によるPZT薄膜の曝露を防ぐためにAlエッチング液を使用せずにマスクパターンを用いることで上部電極を製膜した。(図3)

1: 日本理工・学部・精機 2: 日本理工・院・精機 3: 日本理工・教授・精機

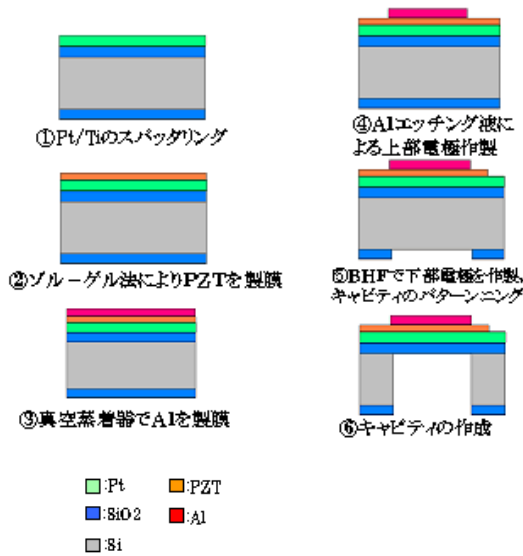


図 2 従来のデバイス作製工程

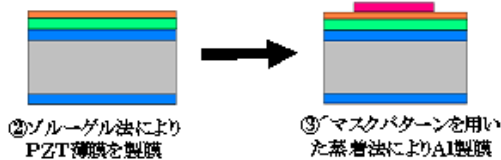


図 3 A1 蒸着法の改善法

4. 評価方法

今回作製したデバイスの発電量は音をスピーカーから出力し、デバイスに当て発生電力を測定した。PZTは歪が大きいほど大きな電圧が生じるので共鳴振動を行なっているときに最大と考え、歪が最大となる共鳴周波数で測定した。また、周囲の騒音などの環境音の振動を利用することを目的にしたため 20Hz ~ 20kHz の周波数で共振するように設計を行なった。出力測定装置の概略図を図 4 に示す。

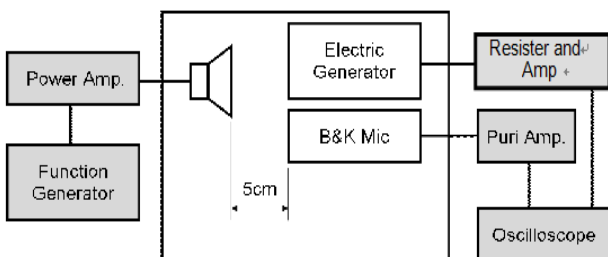


図 4 出力測定装置の概略図

5. 結果

図 5 に上部電極作製において 2 種類の作製プロセスを用いた時の PZT 発電デバイスの発生電力を比較したものを示す。

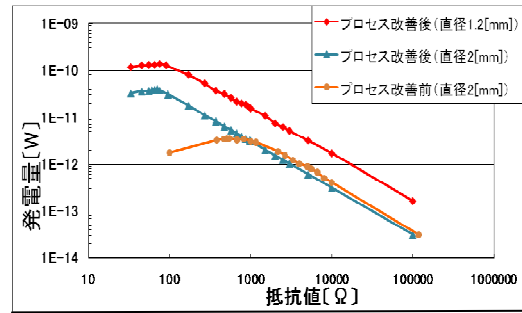


図 5 発生電力の比較

A1 エッチング液を用いた改善前の発電量が最大となる負荷抵抗は約 500Ω と大きいことが分かる。それに比べて改善後は明らかに負荷抵抗が小さいのに対し発電量は大きく、ダイヤフラム直径 1.2mm のデバイスにおける最大発生電力は $11.39 \times 10^{-10} \text{W}$ 、直径 2mm のデバイスで $4.0 \times 10^{-11} \text{W}$ を得た。ここで改善後と比べ改善前が小さい理由として A1 エッチング液が PZT 薄膜を侵食していることによる可能性が高いと考えている。

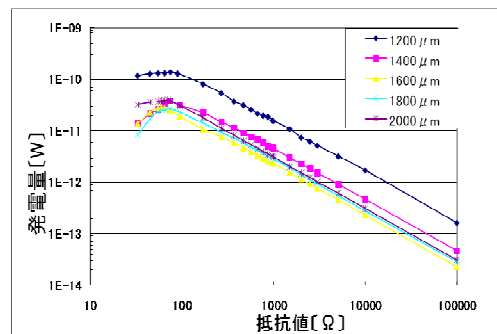


図 6 発生電力の負荷抵抗依存性

図 6 に各ダイヤフラム直径の負荷抵抗依存性を比較したものを示す。1200μm ~ 2000μm までの発電量を測定したものがダイヤフラム直径が小さくなるにつれて発電量が大きくなっていることがわかる。また、過去のデバイスの負荷抵抗は 550Ω や 1000Ω だったのに対し本研究で得た発電デバイスの負荷抵抗値が 75Ω と約 1/7 まで減少しており、これによりエネルギー密度は劇的に改善され、発電量の増加につながったと考えている

6. 参考文献

[1] S. B. Horowitz, M. Sheplak, N. Cattafesta III, T. Nishida, J. Micromech. Microeng, "A MEMS acoustic energy harvester", 16 (2006) S174-S181.
 [2] Shinoda, et al., Jpn. J. Appl. Phys, 49 (2010) 04DL21