

厚膜圧電体を用いたマイクロアクチュエータの開発

電子技術課 二口友昭 坂井雄一

富山県立大学 安達正利 産業技術総合研究所 飯島高志

立山科学工業㈱ 山野 博 志貴野メッキ㈱ 江守善雄

1. 緒言

インクジェット技術は、必要な材料を必要な場所に無駄なく形成するものであるため、中小企業が、回路基板や電子部品を多品種少量生産するのに最も適したものであり、IT機器部品製造業において、この技術を自社の新製品の開発に取り入れることが重要であり急務と考えられる。この場合には、これに適したインクジェットヘッドを自社で開発する必要がある。汎用画像出力用ヘッドはセラミックス基板が用いられ、専用規格のみである。産業用では、ガラス基板やシリコン基板が検討され、圧電体も目的によって、様々な製造方法による薄膜、厚膜、バルクの使い分けが検討されている。本事業では、電子デバイス作製用として、多品種少量生産に適したシリコン基板とスクリーン印刷による厚膜圧電体を用いた構造のアクチュエータを開発した。

2. 実験結果

まず「厚膜圧電体の高機能化」に関して材料組成および作製プロセスの検討を行った。過剰PbO量と焼成温度を最適化することで、厚膜圧電体の特性が向上した。図1は、焼成温度900℃において、過剰PbO量を変化させたときのSEM写真を示す。過剰PbO量において空孔の少ない緻密な組織が得られた。焼成温度と残留分極Prおよび過剰PbO量との関係を図2に示す。焼成温度850℃において、過剰PbO量を10 - 25wt%と変化させると、20wt%でPrが最大となった。また、過剰PbOが15、20wt%のものについて850 - 1000℃で焼成すると、20wt%で900℃焼成の時に特性の最大値Pr=9.3 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ を示し、950、1000℃と温度が上昇するにつれて特性は悪くなった。これは、950℃以上では、X線回折によりパイロクロア相が確認された事、EPMAによりPb量の減少が確認された事から、焼成時のPbの蒸発により、組成が変動し、結晶性が低下したためだと考えられる。

次に、シリコン基板と下部電極の密着性の向上の検討を行った。Pt粒子径および添加物ガラス組

成の異なるペーストから得られる下部電極について密着性およびこの上に形成される厚膜圧電体の特性を調べ、さらに特定のPtペーストからなる多層構造も検討した。その結果、Pt粗粉とBaO-SiO₂ガラスからなるペーストとPt微粉からなる多層構造下部電極において、シリコン基板との密着性および厚膜圧電体の特性維持が実現した。

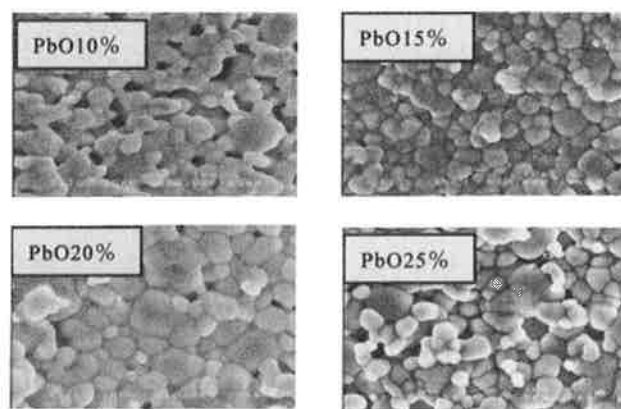


図1 過剰PbO量を変化させたときのSEM写真

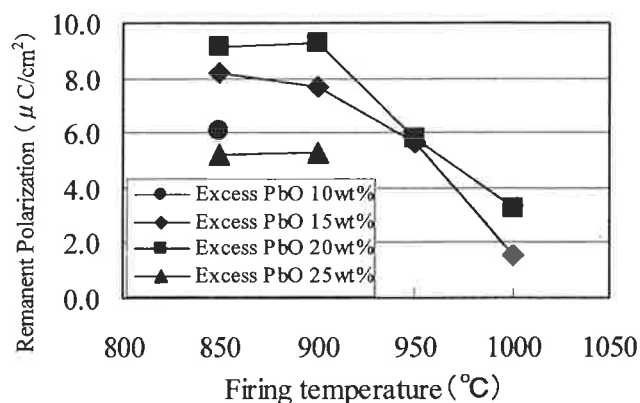


図2 焼成温度と残留分極Prおよび過剰PbO量の関係

次に、「厚膜圧電アクチュエータの作製と評価」を行った。100 - 200 $\mu\text{m} \times 3\text{mm}$ の厚膜が短冊状に並んだ形状の厚膜パターン形成後、Si基板へのレジスト塗布、露光、RIEプロセスにより強誘電体厚膜の真下にSiのダイアフラム構造を形成し、厚膜圧電アクチュエータを作製した。

RIE（反応性イオンエッチング）は、通常のMEMSプロセスにおけるシリコンの深堀に用いられる条件であり、あまり大きな問題なく形成することができた。厚膜圧電アクチュエータの動作に対する、FEM（有限要素法）によるシミュレーションを行った。これより、厚膜圧電アクチュエータの構造において、その動作に最も大きな影響を与えるのは、シリコンの振動板であることがわかり、この厚みが薄いほど、アクチュエータの変位量は大きくなることがわかった。また同時に数種類のシリコン厚みの異なる試料を作製し、その変位量を測定した。

図3は、試料の断面SEM写真を示す。Pt下部電極の上に厚膜圧電体が形成され、さらにその上にAu上部電極が全てスクリーン印刷にて形成されている。厚膜圧電体の真下のシリコンが完全にエッチングされ、圧電アクチュエータが形成されているのが確認された。サンプルを駆動させ、XYステージとレーザー Doppler 振動計からなる測定システムにより変位の分布を測定した。図4は30V、4kHzで駆動した際の振動分布を示す。最大で約 $0.05\mu\text{m}$ の変位が観察され、FEMで得られた最大変位量 $0.04\mu\text{m}$ と比較的よく似た値を示した。

さらに、より低コストで厚膜圧電アクチュエータを作製するために、ウェットエッチングによる作製プロセスの検討も行った。Pt下部電極を形成し、Si基板を加工後に、厚膜パターンを形成するプロセスを新たに確立し、作製されたサンプルの変位の分布を測定したところ、ドライプロセスで作製されたものと同様の動作が確認された。

また、このマイクロアクチュエータを用いてインクジェットヘッドが試作された。

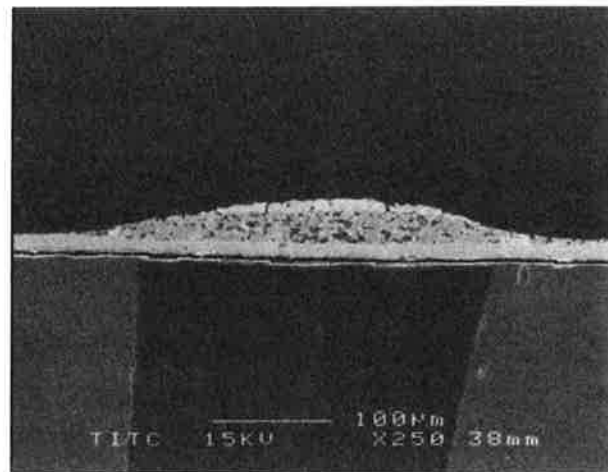


図3 試料の断面SEM写真

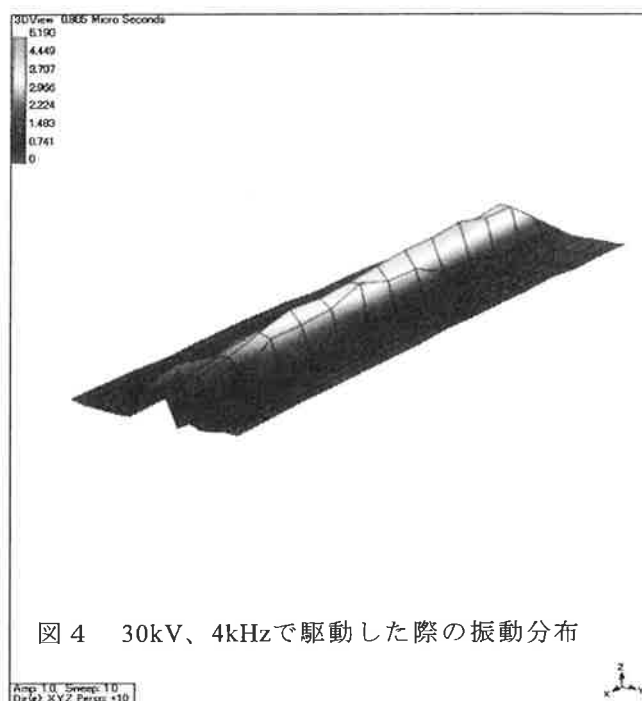


図4 30kV、4kHzで駆動した際の振動分布

キーワード：厚膜圧電体、アクチュエータ、チタン酸ジルコン酸鉛、シリコン基板、インクジェットヘッド

Development of Micro-Actuator Using Piezoelectric Thick Film

Tomoaki FUTAKUCHI and Yuichi SAKAI (Toyama Industrial Technology Center)

Masatoshi ADACHI (Toyama Prefectural University)

Takashi IJIMA (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)

Hiroshi YAMANO (Tateyama Kagaku Ind.Co.,Ltd.) Yoshio EMORI (Shikino Mekki Co.,Ltd.)

Piezoelectric micro-actuators with the dimensions of $100 - 200\mu\text{m} \times 3\text{mm}$ were developed on Si substrates that have cavities fabricated by the dry-etching or the wet-etching process. Piezoelectric thick films, Pt bottom electrodes and Au top electrodes were all prepared by screen printing methods. The displacement of the center of the actuator was $0.05\mu\text{m}$ at the applied voltage of 30V and the frequency of 4kHz.