

Title	次世代高密度バイオチップのためのPZTアクチュエータ アレイの開発
Author(s)	志村, 礼司郎
Citation	
Issue Date	2018-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/10119/15329
Rights	
Description	Supervisor:高村 禪, マテリアルサイエンス研究科, 博士

次世代高密度バイオチップのための PZT アクチュエータアレイの開発

高村(禪)研究室 1540007 志村 礼司郎

研究の背景および目的

近年、遺伝子診断や再生医療等の先端医療の発展は目覚ましく、様々なアプローチが研究・提案されている。先端医療の発展には生体内の構造や科学現象、細胞間の信号伝達機構等の解明が必要不可欠であり、これら生命の仕組みを解明する研究が急がれている。その中でも1細胞解析の研究分野は、生体組織の最小単位である1細胞の mRNA や代謝物を詳細に解析するため、その生体組織内における細胞間の複雑なネットワークを介して発生する生命現象を解析できると期待されている^[1,2]。また、微量な物質を分取・検出する技術に長けた微小流体デバイスや MEMS を用いた1細胞解析の研究が活発に行われている^[2]。ここで、研究対象の1細胞が生体組織内のどの位置に存在するかを厳密に知りつつ、その細胞から mRNA や代謝物を直接入手し分析することは、複数の細胞のネットワークを介して発現する生命現象を解析するのに大いに役立つものであると考えられる。しかし、そのような手法は確立されていない。そこで本研究グループではマイクロマシンの技術を用いて、生体組織中の各細胞の位置情報と共にその中の1細胞に内包される mRNA や蛋白質を分析することを可能にする、次世代高密度バイオチップの開発を目指している。次世代高密度バイオチップは1細胞を接触させ、ポンプの陰圧により細胞膜を破壊して mRNA や蛋白質を抽出するものである。マイクロポンプによって抽出された mRNA または蛋白質はマイクロ流路を通じて装置のサンプル排出口まで運搬され、必要に応じてカプセル化など処理した後に装置から取り出される(図1)。そして取り出されたサンプルは次世代シーケンサーや質量分析機器により分析される。この装置の構成は、抽出口および抽出物を送液す

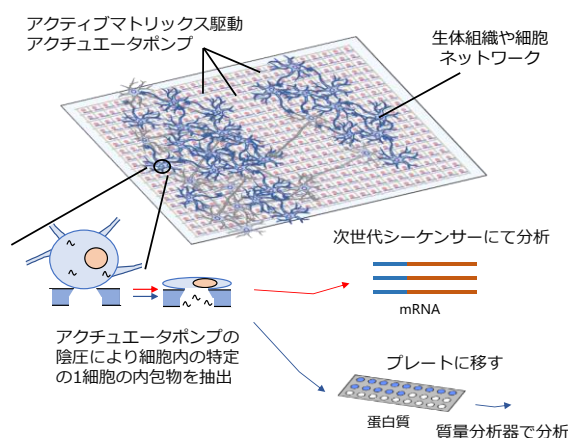


図1 次世代高密度バイオチップの構想

る流路を備えたポンプ用マイクロ流路、ポンプの動力源であるチタン酸ジルコン酸鉛(PZT)アクチュエータアレイ、そのアクチュエータを制御する制御素子を搭載したアクティブマトリックストランジスタの3層に大別される(図2)。このうちマイクロ流路およびトランジスタは本大学の既存の技術で作製可能であるが、PZT アクチュエータアレイおよびアクチュエータとトランジスタとの集積という課題を解決する必要がある。

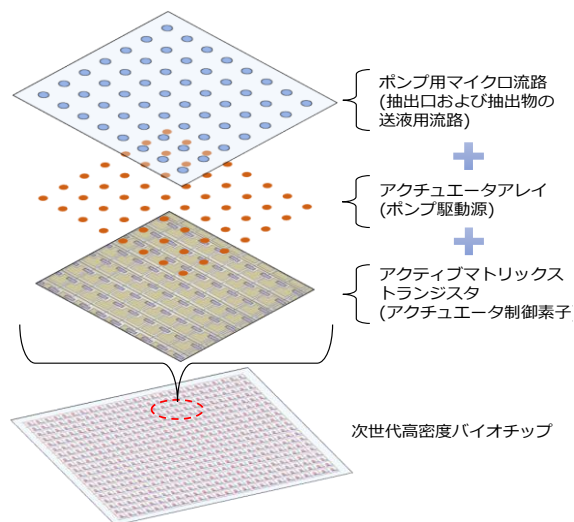


図2 次世代高密度バイオチップの構造

そこで本研究ではアクティブマトリックストランジスタと集積することを前提にデザインされたPZT アクチュエータアレイの作製を目的とする。

実験結果および考察

PZTは優秀な圧電性^[3]をもち、強誘電体メモリーや圧電アクチュエータなどに用いられている。PZT膜の作製にはスパッタ法など真空装置およびガスを用いる手法と、溶液を用いる手法が存在する。このうち溶液を用いる手法は低コストかつハイスループットな膜の作製や加工を大面積に行うことを可能にするため本研究の装置の作製手法に適している。しかし、従来法では600℃以上で焼成する必要があるためトランジスタの耐熱限界温度(500℃)を超えてしまい、集積が困難であった。本研究ではサンプルに紫外線(UV)とオゾン(O₃)を照射しつつ加熱する、UV/O₃加熱処理を用いることで450℃で良質なPZT膜を作製することに成功した。誘電特性を測定したところ、残留分極(P_r)が23.6 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 、抗電界(E_c)が109.6 kV/cmであり、

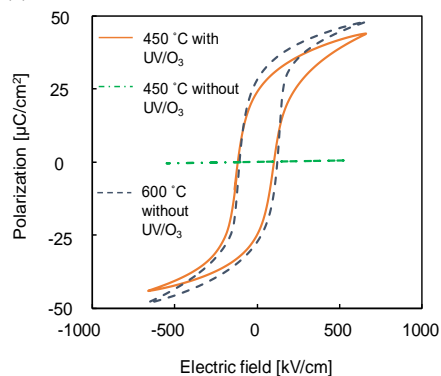


図3 各PZT膜の誘電特性

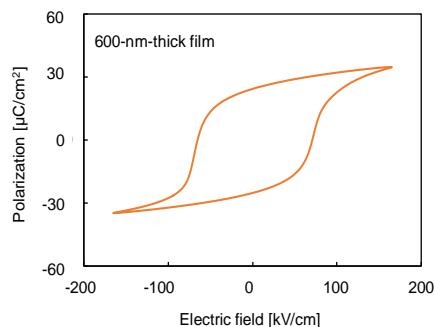


図4 積層させたPZT膜の誘電特性

UV/O₃ 加熱処理を用いずに低温で作製された PZT 膜と比較して明らかに良好であった(図 3)。また、従来法の高温焼成で作製された場合と比較して遜色ない特性であり、UV/O₃ 加熱処理を用いることで従来法の PZT 膜に匹敵する PZT 膜を低温で作製できることが示された。この結果から本研究の PZT 膜はトランジスタ上に直接作製可能であり、集積が容易であることが示唆された。また、この PZT 膜を積層させることで 150 nm (1 層)の膜厚を 600 nm(4 層)まで増加させたが、誘電特性に劣化は見られなかった(図 4)。よってこの結果から本研究の PZT 膜はアクチュエータの用途やデザインに合わせて膜厚を調整させることも可能であり、圧電素子としてアクチュエータに利用できることが示唆された。

そこでこの低温作製された PZT 膜を用い、アクティブマトリックストランジスタに集積するためのアクチュエータアレイを設計・作製した(図 5)。このアクチュエータアレイは各アクチュエータの上部電極を配線で繋ぐ構造に設計した。作製したアクチュエータアレイの動作確認をしたところ、アクチュエータが動作していることを確認でき、印加電圧に対して変位が増加する傾向が確認された。以上の結果から、トランジスタと集積するためにデザインされた PZT アクチュエータアレイの作製に成功したと結論付けた。

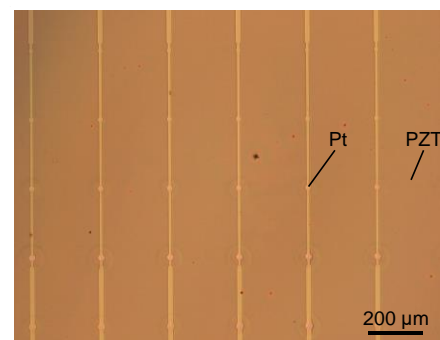


図 5 アクチュエータアレイの上部電極

参考文献

- [1] K. Klepárník et al., *Anal. Chim. Acta*, 800 (2013) 12–21.
- [2] S. J. Lo et al., *Int. J. Mol. Sci.*, 16, 8 (2015) 16763–16777.
- [3] N. Setter et al., *J. Appl. Phys.* 100 (2006) 051606.

論文目次

第 1 章 緒言	4
第 2 章 溶液法による PZT 膜の低温プロセスの開発	14
第 3 章 低温焼成 PZT 膜によるアクチュエータの作製とその評価	47
第 4 章 PZT アクチュエータアレイの作製	65
第 5 章 総括	84
参考文献	85

研究業績	91
謝辞	96

主な研究業績

(1) 学術雑誌等に発表した論文、著書：

1. Effect of ultraviolet/ozone treatment on the structural and electrical properties of solution-processed piezoelectric thick-film lead-zirconium-titanate (PZT), P. T. Tue, R. Shimura, K. Fukada, K. Satou, J. Li, T. Shimoda, and Y. Takamura, International Journal of Nanotechnology, 2017.
2. Solution-based process with thermal UV treatment for fabrication of piezoelectric PZT films for an actuator array at temperatures under 450 °C, R. Shimura, P. T. Tue, Y. Tagashira, T. Shimoda, Y. Takamura, Sensor and Actuator A, 267 (2017) 287-292.

(2) 学術雑誌等又は商業誌における解説、総説：

1. 熱分解 GC/MS および MALDI-MS とサイズ排除クロマトグラフィー分取システムを用いた高分子材料の組成・構造解析, 大谷 肇, 志村 礼司郎, 工藤 恭彦, 山崎 雄三, 中川 勝弘, 宮川 治彦, SHIMADZU Excellence in Science Technical Report, C146-0366, 株式会社 島津製作所 分析計測事業部, 初版発行 2016 年 12 月.

(3) 国際会議における発表

(口頭発表)

1. Optimizing lead content in a low temperature solution processed PZT film, R. Shimura, P. T. Tue, T. Shimoda, and Y. Takamura, The 2017 Joint IEEE ISAF-IWATMD-PFM Conference, Session V, Processing Optimization, Room: 2456, Georgia Institute of Technology's campus, May, 2017.
2. Analyzing pressure dependence of a low-temperature solution-processed PZT actuator, R. Shimura, P. T. Tue, T. Shimoda, and Y. Takamura, The 2017 Joint IEEE ISAF-IWATMD-PFM Conference, Session IX, Processing and Characterization, Room: 2456, Georgia Institute of Technology's campus, May, 2017.
3. Evaluation on Operation of a Lead-Zirconium-Titanate (PZT) Actuator Array for Highly Integrated Biochip Application, Tue Trong Phan, R. Shimura, T. Shimoda, and Y. Takamura, The 2017 Joint IEEE ISAF-IWATMD-PFM Conference, Session I, Array-based Devices and MEMS, Room: 2456, Georgia Institute of Technology's campus, May, 2017.

(4) 特許

1. 発明の名称：PZT 強誘電体膜の形成方法, 公告番号：WO2017038676 A1 (三菱マテリアル株式会社との共同申請), 国内および **PCT 出願済み**, 発明者: 田頭 祐己, 志村 礼司郎, 高村 禅, 金望 李, 下田 達也, 渡辺 敏昭, 曾山 信幸