



MEMS 触覚デバイスの検討ー 1

Trial development of MEMS tactile device -1

曾根 順治

1) 東京工芸大学 工学部 (〒243-0297 神奈川県厚木市飯山南 5-45-1, sone@t-kougei.ac.jp)

概要: インクジェットのヘッドなど、広く使われている PZT より高性能な PLZT 圧電膜と MEMS 技術を用いて、触覚デバイスを開発している。その試作結果を報告する。

キーワード: 触覚デバイス、圧電、MEMS

1. はじめに

著者らは、触覚と力覚の同時提示ロボットの研究を進めている[1]。また、超音波トランスデューサーは、人体の内部の距離測定や画像化のためのアクチュエーターとセンサーの重要なコンポーネントである [2]。生物医学における非侵襲性の超音波音響イメージングは、広く使用され成功を収めている技術である。このアプリケーションでは、超音波トランスデューサーとセンサーに圧電セラミックが使用されている。Prof. Hosley らは、圧電マイクロマシン超音波トランスデューサー (pMUT) を使用して指紋を読み取る MEMS デバイスを開発している [3]。このセンサーは 24×8 アレイ、100μm ピッチという高密度を実現した。

触覚への応用については、人体の超音波刺激が研究され[4]、岩本氏と篠田氏は 91 個マトリクスのトランスデューサーアレイを使用して焦点に力を生成した。空間分解能は 20mm で、20~250Hz のバースト波を用いて刺激の提示を行っている。70KHz 超音波を使い小さな焦点と空間分解能が 13mm に向上した研究も進められている[5]。また、空中集束超音波により三次元触覚形状を実現している [6]。微細な空間ステップ幅を備えた低周波横変調により、非振動の圧力感覚を実現した研究も進めている [7]。別の触覚の提示方法として、エアジェットを使用した強い刺激 [8]、垂直力、横方向の力、および振動触覚フィードバックを生成する磁気レオロジー発泡アクチュエータは、ウェアラブル触覚ディスプレイを構築している [9]。梶本グループは、リアルタイムパルス幅変調を使用したリアルタイムインピーダンスフィードバックを備えた電気触覚ディスプレイを開発した[10]。そして、電気、熱、振動刺激を使用した手袋のディスプレイ [11]、ニクロム線の熱膨張と熱収縮を刺激に使用した触覚デバイスの開発 [12]も研究されている。また、ケーブル駆動の触覚メカニズムと超

音波触覚によってもたらされる力と触覚の同時表現の研究[13]があり、触覚と触覚の同じ表現にはさらなる改善が必要と考える。

本研究は、力覚提示ロボットの指先部に装着可能が小型触覚デバイスを開発するために、MEMS 技術を用いて、デバイス開発を行っている。

2. デバイスの開発

本研究においては、インクジェットプリンタのヘッドや位置決めアクチュエータなどに幅広く使われている PZT を改良した PLZT を用いている。圧電定数は、カンチレバー応答測定より、-218 pC/N であった。

2.1 デバイスの作成方法

図 1 は、デバイスの製造プロセスの概略図である。ステップ (1) では、20 nm-Ti/200-nm-Pt 下部電極を 500-nm-SiO₂/Si ウェハ上にスパッタリングする。ステップ (2) では、上部電極と下部電極を分離するために、Pt 膜を一部エッチングし、そこを TiO₂ 膜で保護する。ステップ (3) では 2 μm PLZT 層を 16 回のスピン コーティングによって堆積され、8 回の RTA で結晶化する。ステップ (4) では、HBF₄:H₂O = 1:10 のウェットエッチング溶液を使用して、PLZT 膜の残存量を観察しながら約 1 ~ 2 分間、PLZT 膜をパターニングする。ステップ(5)では、下部 Ti/Pt 電極をイオンミリングによってパターン化し、ステップ(6)では、20nm-Ti/200nm-Pt 上部電極がスパッタリングされ、リフトオフプロセスによってパターン化される。ステップ(7)では、厚膜 Al により配線の補強を行い、ステップ(8)では、裏面からの反応性イオンエッチングによりダイヤモンドを形成する。アクチュエータは、厚さ 55 から 80 μm の Si ダイヤフラム、厚さ 500 nm の SiO₂、20 nm-Ti/200-nm-Pt 下部電極、厚さ 2 μm PLZT、および 20 nm-Ti/200nm の Pt 上部電極 から構成される。

5 × 6 個のアクチュエータ (直径 1.3 mm) アレイが 10 mm × 13 mm の領域に配置されている。図 2 に製作結果を示す。アクチュエータはほぼ 2 点識別距離で配置している。(a)は表面、(b)は裏面を示す。

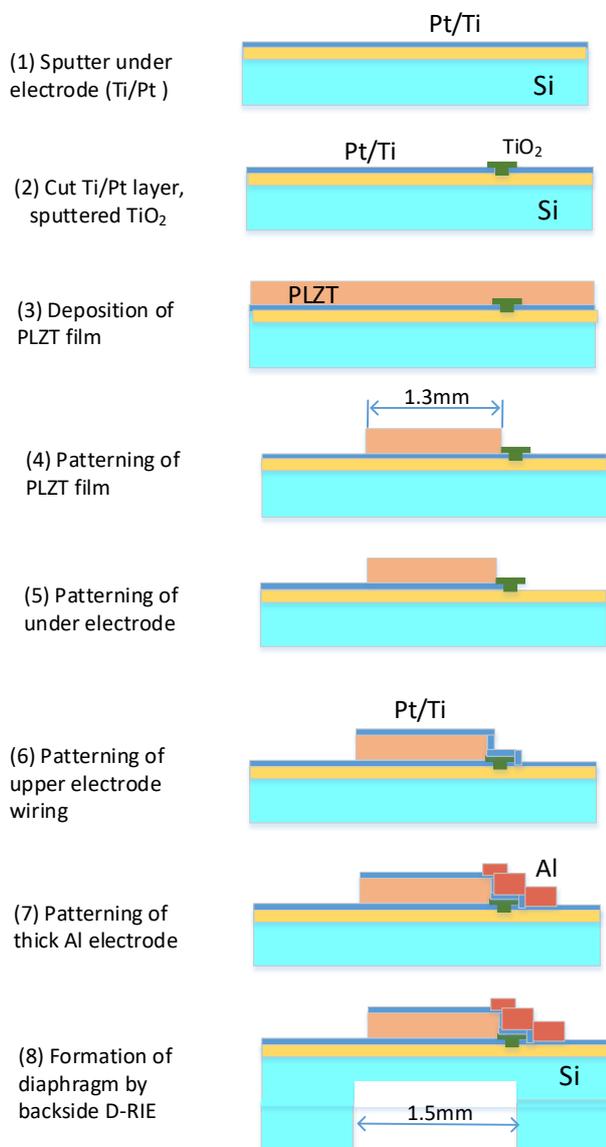
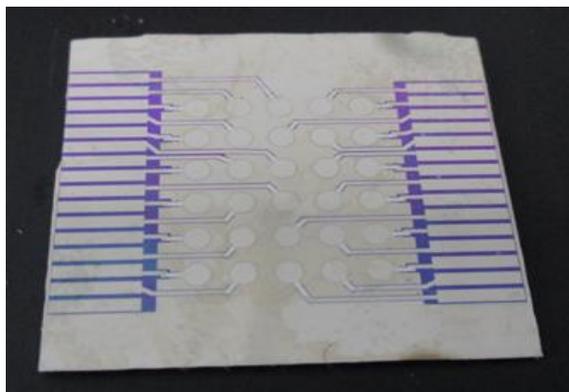
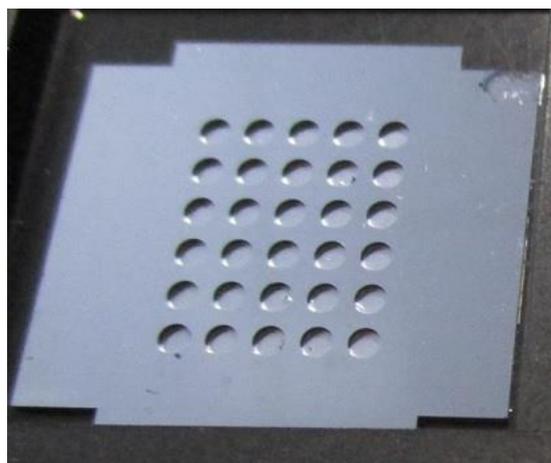


図 1: デバイス製造工程



(a) 表面



(b) 裏面

図 2 デバイスの試作結果

3. デバイスの開発状況

現在、数種類デバイスを開発で、特性を評価している。

4. まとめ

MEMS 技術を用いた触覚デバイスを試作した。今後は特性の評価と実装を進めていく予定ある。

参考文献

- [1] J. Sone, Y. Matsumoto, S. Hasegawa, et. al., "Development of MEMS Tactile Sensation Device for Haptic Robot", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.32, No.2, (2020), pp. 315-322.
- [2] "Ultrasonic Transducers", Edited by K. Nakamura, Woodhead Publishing, August 2012.
- [3] Yipeng Lu, H Tang, Stephanie Fung, Qi Wang, JM Tsai, M Daneman, BE Boser, DA Horsley, "Ultrasonic fingerprint sensor using a piezoelectric micromachined ultrasonic transducer array integrated with complementary metal oxide semiconductor electronics", Appl. Phys. Lett. 106, 263503 (2015), pp. 1-4.
- [4] L. R. Gavrilov, E. M. Tsurulnikov, and I. I. ab Davies, "Application of focused ultrasound for the stimulation of neural structures", Ultrasound Med. Biol., vol. 22, no. 2, pp. 179-192, 1996
- [5] T. Iwamoto, M. Tatezono, and H. Shinoda, "Non-contact method for producing tactile sensation using airborne ultrasound", "in Proc. Int. Conf. Haptics, Madrid, Spain, pp. 504-513, Jun. 10-13. 2008..
- [6] Benjamin LongSue Ann SeahTom CarterSriram Subramanian, "Rendering Volumetric Haptic Shapes in Mid-Air using Ultrasound", ACM Transactions on Graphics, Vol. 33,6, 2014, pp.181:1-181:10
- [7] Tao Morisaki, Masahiro Fujiwara, Yasutoshi Makino, Hiroyuki Shinoda, "Non-Vibratory Pressure Sensation

- Produced by Ultrasound Focus Moving Laterally and Repetitively With Fine Spatial Step Width”, IEEE Trans Haptics. 2022, 15(2):441-450.
- [8] R. Sodhi, I. Poupyrev, M. Glisson, and A. Israr, AIREAL: “Interactive tactile experiences in free air”, ACM Trans. Graph., vol. 32, no. 4, pp. 1-10, 2013
- [9] D. Chen, A. Song, L. Tian, L. Fu and H. Zeng, "FW-Touch: A Finger Wearable Haptic Interface With an MR Foam Actuator for Displaying Surface Material Properties on a Touch Screen," in IEEE Transactions on Haptics, vol. 12, no. 3, pp. 281-294, 1 July-Sept. 2019
- [10] H. Kajimoto: “Electro-tactile Display with Real-time Impedance Feedback using Pulse Width Modulation”, IEEE Trans. on Haptics, vol.5, no.2, pp.184-188, 2012.
- [11] V. Yem, H. Kajimoto, "Comparative Evaluation of Tactile Sensation by Electrical and Mechanical Stimulation." IEEE Trans. on Haptics, Vol.10, pp.130-134, 2017.
- [12] H. Kajimoto and L. A. Jones, "Wearable Tactile Display Based on Thermal Expansion of Nichrome Wire," in IEEE Transactions on Haptics, vol. 12, no. 3, pp. 257-268, 1 July-Sept. 2019
- [13] L. Fan, A. Song and H. Zhang, "Haptic Interface Device Using Cable Tension Based on Ultrasonic Phased Array," in IEEE Access, vol. 8, pp. 162880-162891, 2020.