

マイクロ液圧と機能性流体 ECF を用いたマイクロ液圧源

東京工業大学 精密工学研究所 横田 眞一, 金 俊完

Abstract: The paper proposes “Micro hydraulics” using integrated ECF jet generators in series and parallel and describes the fabricating process of the ECF micropump as a power source of micro hydraulics using MEMS technology. ECF is a kind of functional and dielectric fluid. A strong and active jet flow of ECF is generated between electrodes surrounded by ECF when high DC voltage is applied to the electrodes. This phenomenon called as ECF effect is a promising candidate for micro actuation, thanks to the advantages of miniaturization and high output power density. The micropump using ECF jet is a key to realize a micro hydraulics, so its realization results in the micro powerful actuation. To combine easy fabrication and high performance, we propose a novel ECF micropump that consists of triangular prism electrode and a slit electrode pairs (TPSE). MEMS-based ECF micro-pumps with TPSE pairs are successfully fabricated. Its maximum output pressure and flow rate are 60 kPa (no flow) and 310 mm³/s (no load), respectively at 3 kV of the applied voltage. As a method to obtain higher output power, this research also make an attempt to fabricate higher aspect ratio of TPSE pairs by forming them in the multilayer, called as the 3D integration of TPSE pairs. We successfully realized the 3D integration of TPSE pairs by using the combination of micro mechanical fabrication technique and thick photoresist lithography. The height enlarges by 1.7 times, while the flow rate increases by 2.1 times. The experiment results prove the feasibility of the ECF micropumps by using higher aspect ratio electrodes fabricated by the multi-layer process.

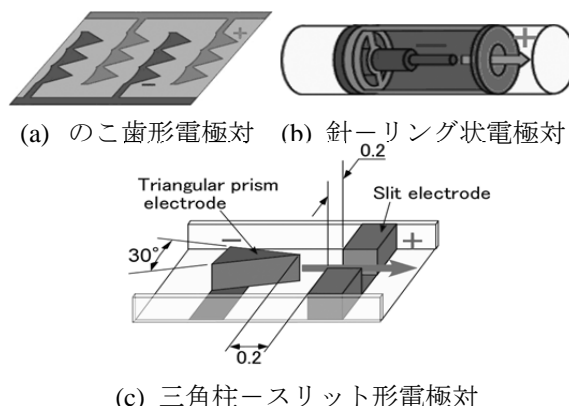
Key Words: Microhydraulics, Functional fluid, Electro-conjugate fluid, ECF-jet generator, Micropump, MEMS

1. はじめに

本研究室では、マイクロ液圧の可能性を探っている。その手段としては、不均一な電界を印加すると著しいジェット流（ECF ジェット）を生じる ECF（Electro-Conjugate Fluid, 電界共役流体）などのように、外部刺激により特有の機能性を発現する機能性流体による圧力を利用している。このような機能性流体を応用することで、電磁形などの従来のアクチュエータでは実現が困難であった、液圧源のマイクロ化、高機能なマイクロアクチュエータおよびマイクロセンサの開発を行うとともに、それらの応用を図っている。

2. MEMS 技術による ECF マイクロポンプ^{2-3,5-6)}

不均一な電界を ECF に印加し、ECF ジェットを発生させる電極対を用いて、小形化により出力パワー密度の向上が期待できる ECF マイクロポンプユニットを提案、開発している。このマイクロユニットを管路に沿って複数配置する（管路形マイ



(c) 三角柱ースリット形電極対
図 1 ECF ジェット発生器の電極対

クロポンプ²⁾), あるいは集積化することにより、平面構造、立方体構造も可能である³⁾。その高出力化および大量生産対応のためには、電極対を高精度に製作し、高密度に配置できることが必要であり、マイクロサイズでの電極の製作と位置合わせが容易な MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を用いることが望ましい。

この ECF マイクロポンプの特性は、電極対の形状により大きく異なる。この歯形電極対 (図 1(a)) は、MEMS 加工が容易な平面構造であるが、吐出

圧力は低い。一方、針ーリング状電極対 (図 1(b)) は、吐出圧力は高いが、MEMS 加工が難しい 3 次元構造である。そこで、MEMS 加工と高吐出圧力を両立するため、針ーリング状電極対に近い形状で、高アスペクト比をもつ三角柱ースリット形電極対 (図 1(c)) を提案している。目標寸法は、スリット電極のスリット幅 0.2 mm, 三角柱電極の先端角度 60°, 電極間隔 0.2 mm, 電極高さ 0.5 mm であり、厚膜レジストによる鋳型製作と電解メッキ技術による電鍍を融合させた MEMS プロセスにより三角柱ースリット形電極対を 5 対並列、10 対直列に配置した平面形 ECF マイクロポンプを試作した³⁾。ECF として FF-101 を用い特性実験を行った結果、印加電圧 4 kV のとき、最大吐出圧力 78 kPa (1 対あたり 7.8 kPa) を実現している³⁾。同じ条件下での針ーリング状電極 1 対あたりの吐出圧力 (25 kPa)⁴⁾には及ばないが、本電極対は高密度な直列・並列化が可能であるため、パワー密度の点で高出力化が期待できる⁵⁾。

また、さらなる高出力パワー密度のマイクロ液圧源を実現するために、TPSE を三次元的に集積した (図 2) 高アスペクトの ECF マイクロポンプ (3D-EMP)を開発している。3D-EMP は、スリット幅 200 μm, 電極間隔 200 μm, 三角柱の先端角度 60°, 電極柱の高さ 880 μm であり (図 3, 4), 平面集積 ECF マイクロポンプと比べて、高さ比は 1.7 倍であったものの、吐出流量は 2.1 倍を得ている⁶⁾。上記の実験結果から、電極対を平面・三次元集積化することで、ECF マイクロポンプの出力パワー密度が向上できることが明確になっている。

3. おわりに

本稿では、MEMS を用いた ECF マイクロポンプについて簡単に紹介した。機能性流体 ECF を用いることにより、従来技術では困難であったマイクロ液圧システム、マイクロアクチュエータおよびマイクロセンサを実現できる可能性を有しており、ひとつの応用としてマイクロ液圧サーボが考えら

れ、その実現を目下目指している。

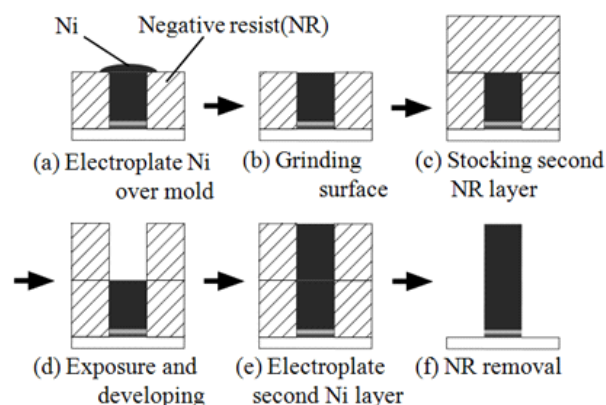


図 2 多層化による高アスペクト比の具現

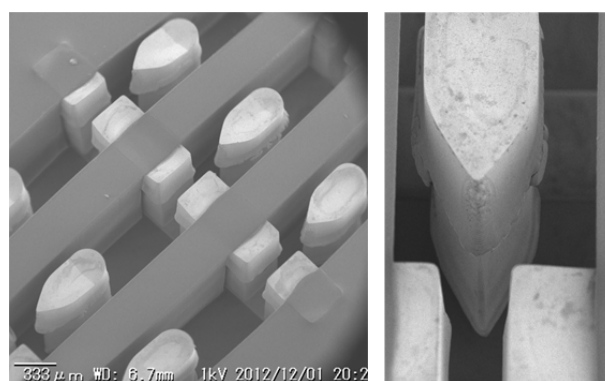


図 3 MEMS 技術により製作された電極対 (TPSE)

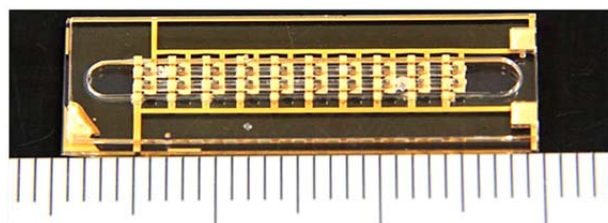


図 4 ECF マイクロポンプ

参考文献

- 1) S. Yokota, K. Edamura: Proc. IMechE, Part I: J. of Systems and Control Engineering, **220-4** (2006), pp.251-256.
- 2) グエンヴィンソントン, 金, 横田, 枝村:機学 ROBOMECH 講論集, (2010), CD-ROM, 1P1-B05.
- 3) J.-W. Kim, T.V.X. Nguyen, S. Yokota, K. Edamura, Proceedings of ICMT (2011), pp.546-551.
- 4) S. Yokota, F. Yajima, K. Takemura, K. Edamura: Advanced Robotics, **24-14** (2010), pp. 1929-1934.
- 5) 横田眞一:基調講演-マイクロ液圧, 秋季フルードパワーシステム講論集, (2010), pp.1-4.
- 6) 金, 山田, 横田, 枝村, 春季フルードパワーシステム講論集, (2013), pp.109-111.

機能性流体 ERF を用いたマイクロアクチュエータシステム

吉田和弘*, 巖祥仁*, 金俊完*, 横田眞一*

Microactuator Systems Using Electro-Rheological Fluid

Kazuhiro YOSHIDA*, Snag In EOM*, Jonn-wan KIM*, Shinichi YOKOTA*

This paper presents microactuator systems using electro-rheological fluid (ERF). The ERF changes its apparent viscosity due to electric field, and its flow can be controlled with a simple ER microvalve. In this paper, as research topics, an ER microfingert system using an alternating-pressure source and a divided electrode type flexible ER valve (DE-FERV) are introduced.

Key Words : ERF (electro-rheological fluid), Microactuator, Alternating pressure, Soft actuator, MEMS

1. まえがき

ERF (Electro-Rheological Fluid: ER 流体, 電気粘性流体) を 2 枚の平板電極間に満たし電極に電圧を印加すると, 電界により粘度が可逆的に変化する (ER 効果). ER 効果を用いると, 固定電極から成る制御弁 (ER バルブ) で液圧アクチュエータの圧力を制御する, マイクロ化に適したシンプルな構造の ER マイクロアクチュエータを実現することができる. 本研究室では, ERF のような機能性流体を応用した高機能なマイクロアクチュエータシステムの開発を行っている. 本稿では, ERF を用いたマイクロアクチュエータシステムの代表的な研究事例を紹介する.

2. ERF

ERF は, 誘電体微粒子を誘電液体中に安定に分散させた粒子分散系と, ネマティック液晶に代表される均一系に大別される. ネマティック液晶は, Fig. 1 に示すように棒状分子から成り, 印加電界により電極上の分子の配向が変化し, ER 効果を生じる¹⁾. 本

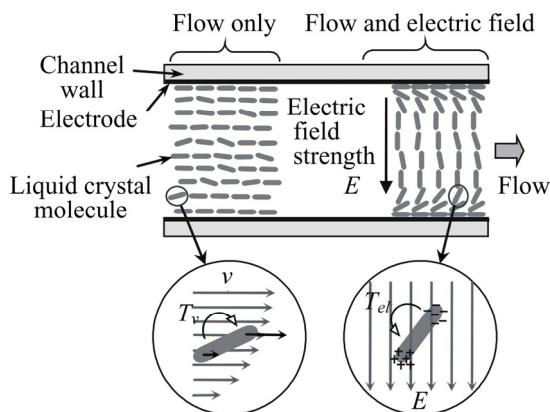
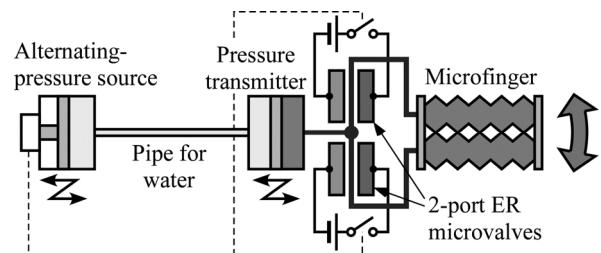


Fig. 1 ER effect of nematic liquid crystal

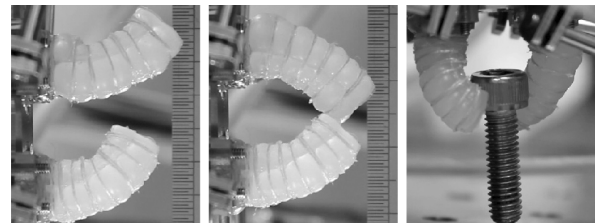
研究室では, 分散粒子の沈降, 磨耗の問題がなく, 狭い流路でも流れが安定しており, マイクロシステムに適しているネマティック液晶を ERF として用いている.

3. 交流圧力源を用いた ER マイクロフィンガシステム

交流圧力源を用いた ER マイクロフィンガシステム²⁾の概要を Fig. 2(a)に示す. 本システムは, 交流圧力に同期して ER マイクロバルブを開閉させマイクロフィンガの屈曲を得るアクチュエータシステムで, 1 本の配管で作動流体の供給および戻りを行うことができる. また圧力伝達部を介して低粘度の流体で交流圧力を伝達すれば, 配管を細くすることができる. したがって, フィンガ数が増しても配管の問題は小さく, 複雑な動作を行うマイクロロボットなどに応用することができる. Fig. 2(b)に示すように長さ 16 mm のアーム 2 本から成るグリッパを試作し, 各フィンガの独立動作および把持動作を確認した. 現



(a) Basic structure



(b) Motion of gripper

Fig. 2 ER microfingert system using alternating-pressure source

* 東京工業大学 精密工学研究所
(〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259-R2-42)
(E-mail: yoshida@pi.titech.ac.jp)
* Tokyo Institute of Technology

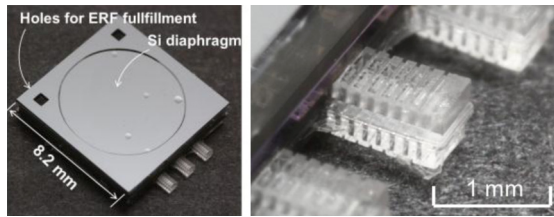


Fig. 3 ER microfingers fabricated by MEMS process

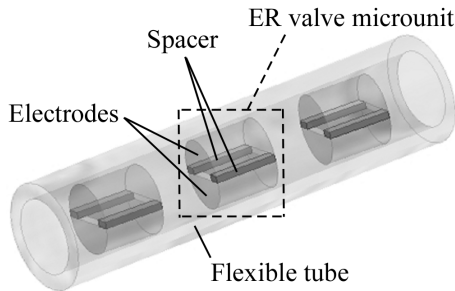


Fig. 4 Divided Electrode type flexible ER valve (DE-FERV)

在, MEMS プロセスによるマイクロ化を検討している (Fig. 3 参照)³⁾.

4. 電極分割形フレキシブル ER バルブ (DE-FERV) とその応用

Fig. 4 のように, ER バルブの電極を軸方向に分割し柔軟なゴムチューブで接続した構造で, ソフトアクチュエータに応用することができる電極分割形フレキシブル ER バルブ (Divided Electrode type Flexible ER valve: DE-FERV) を提案, 開発している⁴⁾. Fig.5(a)は, 加圧時に強化壁により径方向の膨張を抑え軸方向に伸長するゴム製チャンバと DE-FERV を貼り合わせ屈曲を行うマイクログリッパのフィンガである⁵⁾. 長さ 10 mm で, 流路の電極部は合計長さ 5.0 mm, 幅 1.0 mm, 間隔 0.10 mm のフィンガ 2 本から成るグリッパを試作し, Fig. 5(b)のように物体の把持動作を実現した. 現在, MEMS プロセスによりさらなるマイクロ化を検討している (Fig.6 参照)⁶⁾.

5. あとがき

本稿では, 本研究室における ERF を用いたマイクロアクチュエータシステムの研究事例について簡単に紹介した. 詳細は, ホームページ <http://yokota-www.pi.titech.ac.jp> をご参照いただきたい.

参考文献

1) De Volder, M., Yoshida, K., Yokota, S. and Reynaerts, D.: The use of liquid crystals as electrorheological fluids in microsystems: model and measurements, *J. of Micromechanics and Microengineering*, **16**-3, 612/619 (2006)

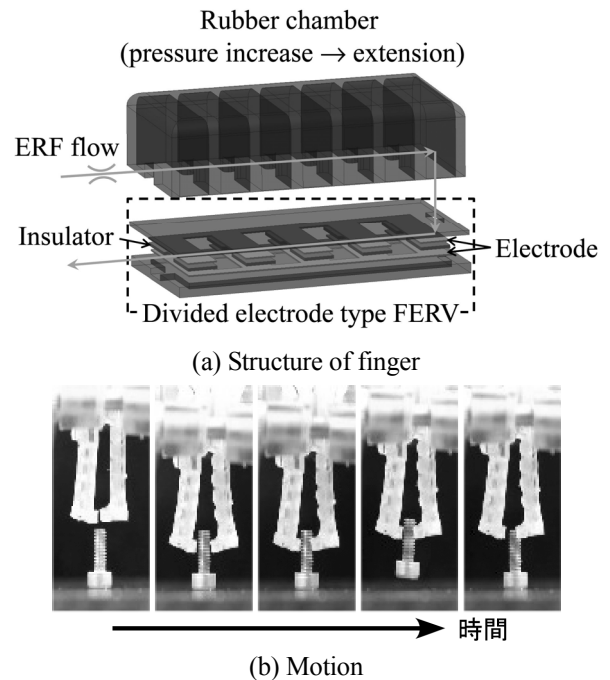


Fig. 5 Microgripper using DE-FERVs

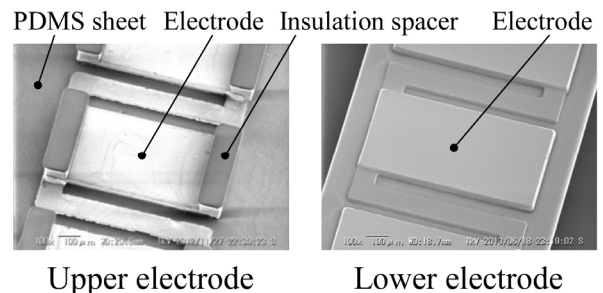


Fig. 6 Electrodes fabricated by MEMS process for DE-FERV

- 2) Yoshida, K., Miyoshi, T., Eom, S.I. and Yokota, S.: A Multi-DOF ER Microactuator System Using Alternating-Pressure Source, *Proc. of ICMT2012 (CD-ROM)*, 1/5 (2012)
- 3) Miyoshi, T., Yoshida, K., Kim, J.-W., Eom, S.I. and Yokota, S.: Development of a MEMS-Based ER Microgripper Using Alternating-Pressure Source, *Proc. of ACTUATOR14 (CD-ROM)*, 394/397 (2014)
- 4) Yoshida, K., Hakoda, S., Eom, S.I. and Yokota, S.: An ER Microvalve Having Two-DOF Flexibility, *Proc. of ICMT 2011 (CD-ROM)*, 46/49 (2011)
- 5) Yoshida, K., Hara, S., Eom, S.I. and Yokota, S.: A Novel Microgripper Using Flexible Electro-Rheological Valves, *Proc. of Mechatronics 2012*, **3**, 834/839, (2012)
- 6) Yoshida, K., Tsukamoto, N., Kim, J.-W. and Yokota, S.: A Divided Electrode Type Flexible Electro-Rheological Valve Fabricated by MEMS Technologies, *Proc. of FLUCOME2013 (USB)*, OS5-01-1 (2013)