

マイクロスケールEHDポンプ特性の解明

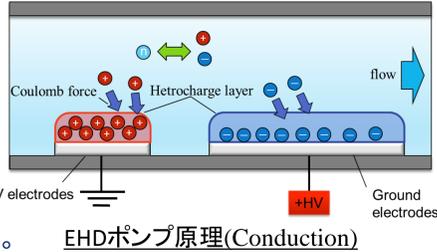
プロジェクトメンバー: 機械工学系

岡田光太郎、西川原理仁、柳田 秀記、横山 博史

緒言

EHD(Electro Hydro Dynamic) ポンプ

- 電圧を印加することにより発生するクーロン力を動力源とするポンプ
- ファンなどの可動部がないため振動・騒音が少ない
- 小型化が可能である
- 宇宙分野などでの応用が期待されている。



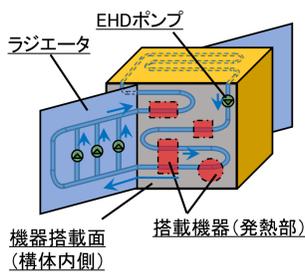
課題

電極サイズをマイクロ化すると体積当たりの性能が向上することが分かっている*。しかし、統一的な基準のもとでスケールの影響については明確にされていない。

*横田、マイクロ液圧、第68回精研シンポジウム、pp. 35-50,2015.

目的

EIRISの微細集積回路技術(MEMS)によって、電極間距離が数百 μm から数 μm 以下の電極形状を製作し、マイクロスケールにおけるEHDポンプ特性を調査する。



電極形状設計

コンセプト

- 先行研究*の寸法比をもとに決定
- 電界強度10 kV/mmが5VのACアダプタで実現できるようにGap(L2)を決定

$$L_2 = \frac{V}{E} = \frac{5(V)}{10(kV/mm)} = 0.5\mu\text{m}$$

*M.R. Pearson, J. Seyed-Yagoobi, Electrohydrodynamic Conduction Driven Single- and Two-Phase Flow in Microchannels With Heat Transfer, Journal of Heat Transfer, 135 (2013) 101701.

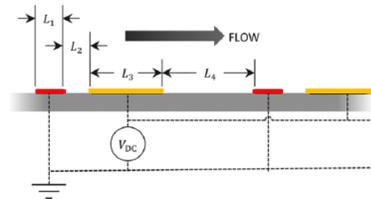
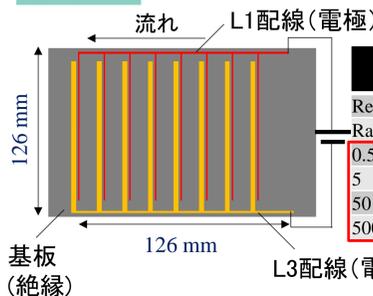


Fig. 3 Schematic of electrode dimensions and electrical connections

概略図 (*電極ペア数は省略)



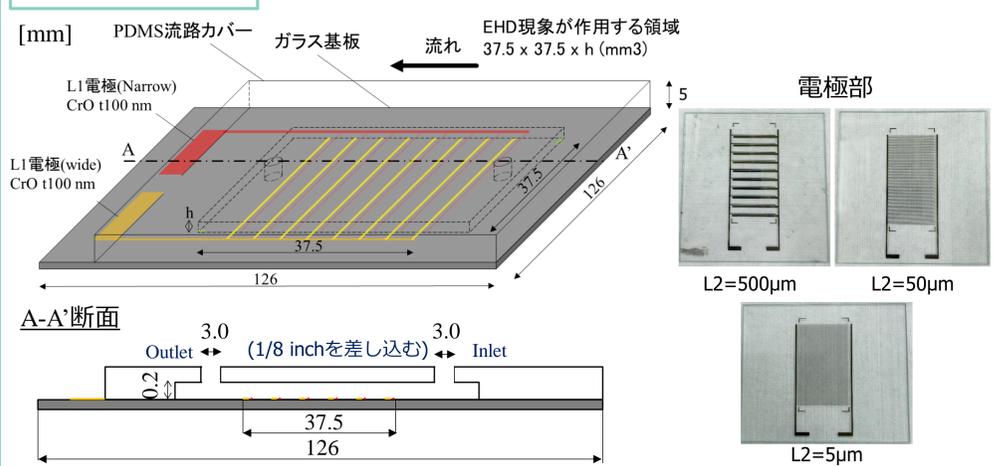
| | L1 (narrow) | L2 (gap) | L3 (wide) | L4 (pair pitch) | pair n ⁰ |
|------------------------|-------------|----------|-----------|-----------------|---------------------|
| Ref. (μm) | 127 | 127 | 381 | 1270 | 9 |
| Ratio(-) | 1 | 1 | 3 | 10 | 10 |
| 0.5 μm | 0.50 | 0.50 | 1.50 | 5.00 | 5000 |
| 5 μm | 5 | 5 | 15 | 50 | 500 |
| 50 μm | 50 | 50 | 150 | 500 | 50 |
| 500 μm | 500 | 500 | 1500 | 5000 | 5 |

フォトリソグラフィによって作製

ギャップ幅: これまでの最小
 流路高さ: ギャップの4倍(Ref.*にならって)
 長さ、幅: マスク製作の照射領域の制約より

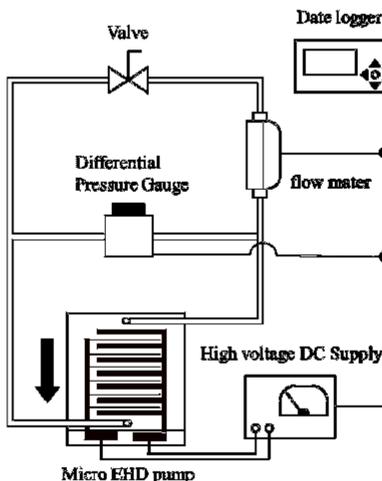
試作したポンプ

試作ポンプの各寸法



- ガラス基板にフォトリソグラフィによって電極を形成
- PDMS樹脂を鑄型に流し込み、流路カバーを形成する
- PDMS流路カバーをプラズマ処理してガラス基板と結合させることによりシールする
- 流路接続方法は、1/8inchを差し込む

実験方法



目的

相似形状のマイクロEHDポンプに電圧を印加し、電極スケールや流路高さがポンプ特性に及ぼす影響を調査する。

実験内容

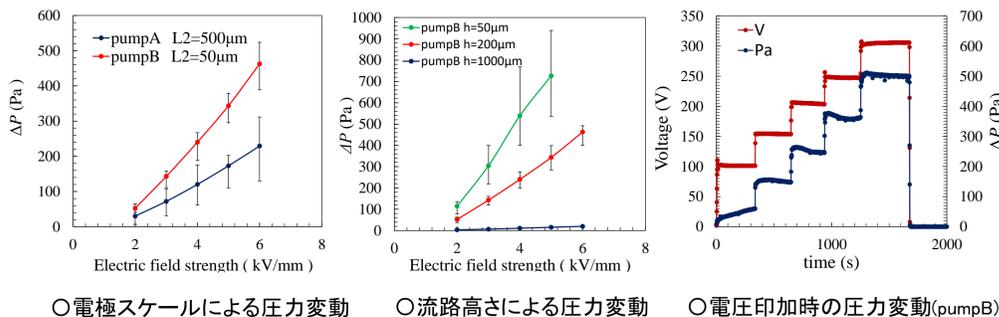
- ポンプ内をフッ素系冷媒であるVertrel XFで満たす
- 各電極に電界強度1~6 kV/mmとなる電圧を印加
- データロガーにより発生圧力、電流値を測定する。

Table Vertrel XF物性値(25°C)*

| Physical properties | Vertrel XF (C ₃ H ₂ F ₁₀) |
|--|---|
| Boiling point [°C] | 55 |
| Freezing point [°C] | -80 |
| Density : ρ [kg/m ³] | 1580 |
| Conductivity : σ [S/m] | 3.45×10^{-8} |
| Relative permittivity : ϵ [-] | 7.2 |
| Viscosity : μ_f [mPa·s] | 0.67 |

*Vertrel Technical Information 三井・デュポンフロロケミカル株式会社
https://www.chemours.com/Vertrel/en_US/assets/downloads/pdf/vertrel-xf-technical-information.pdf

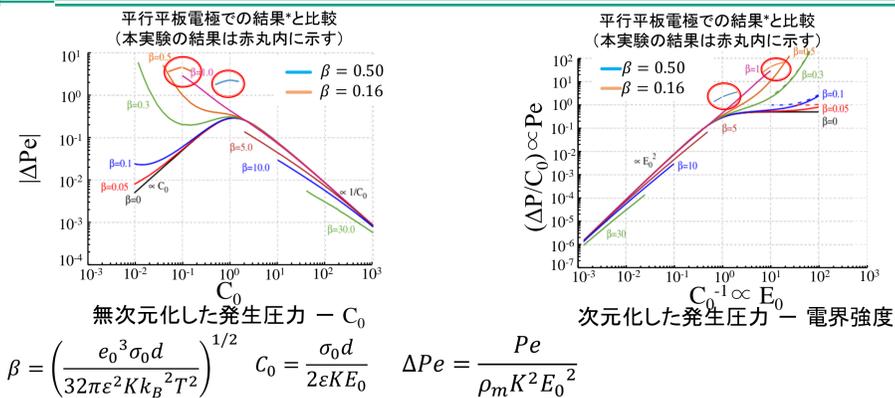
実験結果



実験結果

- 電極寸法をマイクロ化することで発生圧力は大きくなる
 ⇒電極対数の増大により、ポンプ効率が向上した可能性
- 流路高さは低いほど発生圧力は大きくなる
 ⇒クーロン力が流路全体にわたって作用

スケールの影響



$$\beta = \left(\frac{e_0^3 \sigma_0 d}{32\pi \epsilon^2 K k_B^2 T^2} \right)^{1/2} \quad C_0 = \frac{\sigma_0 d}{2\epsilon K E_0} \quad \Delta P e = \frac{P e}{\rho_m K^2 E_0^2}$$

- e_0 : 電荷素量 σ_0 : 電気伝導率 d : 電極間距離 ϵ : 誘電率 K : イオン移動度 k_B : ボルツマン定数 T : 絶対温度 $P e$: 発生圧力 ρ_m : 流体密度 E_0 : 電界強度
- C_0 はConduction numberと呼ばれ、イオンが電極間を移動するのにかかる時間とイオンが再結合する時間の比である。
- β は解離傾向を表す無次元数であり、大きいほど解離イオンが生じやすくなる。
- 上図より、本実験で得たデータと他論文*のデータを比較すると、同じ β でも本実験のほうが発生圧力が大きくなっている。また、右図では E_0 の上昇に伴い、発生圧力が増加している。
- 今後はより小さい β 、 C_0 、つまりより小さいスケールでの特性について調査していく。

*P.A. Vazquez et al, Physics of Fluid 31, 113601 (2019)