

# マイクロスケールEHDポンプの開発

プロジェクトメンバー: 機械工学専攻 木佐 貴 陸久  
 機械工学系 横山 博史、倉石 孝  
 名古屋大学 西川 理仁

7 エネルギーをみんなに  
そしてクリーンに

9 産業と技術革新の  
基盤をつくらう

## 緒言

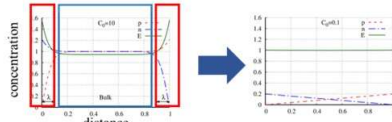
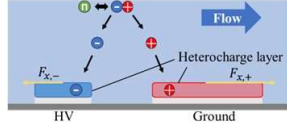
### EHD pump [Electrohydrodynamics pump]

絶縁性の液体中で高電界を印加した際にクーロン力により生じる流動現象を利用したポンプ

- 利点**
- ・機械的可動部が不要
  - ・低振動・低騒音

### 原理 (コンダクション現象)

電極上にヘテロチャージ層が形成。電極形状の非対称性によってクーロン力が非対称になることで流れを生む



P.A. VÁZQUEZ, M. TALMOR, J. SEYED-YAGOOBI et al. Physics of Fluids, 2019

### 研究背景

スケールが小さくなることでHV側とGround側のヘテロチャージ層が重なる

➡マイクロスケールEHDポンプを製作し実験を行い、数値解析を用いてポンプ特性を調査する

## 数値解析

### 解析条件

仮定 : 層流, 非圧縮, 定常  
 体積力 : クーロン力

### 支配方程式

流れ場 : 連続の式, ナビエ・ストークス方程式  
 電場 : ガウスの法則, 電荷の保存則

### 電極間距離

$L_2 = 5 \mu\text{m}, 50 \mu\text{m}, 500 \mu\text{m}$

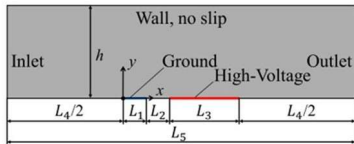
Dimensions of each electrode			
$L_2$ [ $\mu\text{m}$ ]	$L_1:L_2:L_3:L_4:h$	$C_0$ [-]	
5	0.07-0.57	0.07-0.57	
50	1:1:3:10:4	0.71-5.65	
500		7.07-56.5	

### コンダクション数

$C_0 = 0.07-56.5$  (電界強度  $E_0 = 0.25-2 \text{ kV/mm}$ )

$$C_0 = \frac{\sigma L_2}{2\epsilon k E_0} \approx \frac{L_2}{2\lambda}$$

$\sigma$ : Conductivity  
 $\epsilon$ : Permittivity  
 $k$ : Ion mobility  
 $L_2$ : Electrode gap  
 $\lambda$ : Heterocharge layer thickness



Simulation model

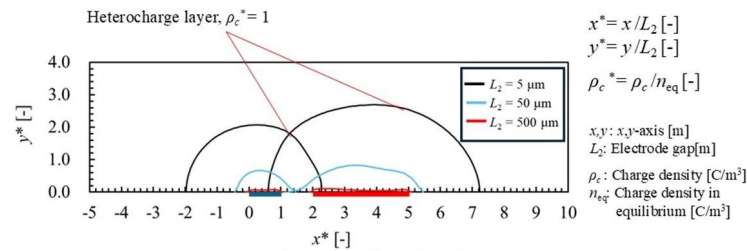
Physical property value	
Physical properties	Novoc7100 [20°C]
Density $\rho$ [ $\text{kg/m}^3$ ]	1492
Conductivity $\sigma$ [ $\text{S/m}$ ]	$7.08 \times 10^{-8}$
Positive ionic mobility $\mu_+$ [ $\text{m}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ ]	$2.74 \times 10^{-8}$
Negative ionic mobility $\mu_-$ [ $\text{m}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ ]	$1.37 \times 10^{-8}$
Relative permittivity $\epsilon$ [-]	6.88
Viscosity $\mu_v$ [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ]	0.00073

(Michelle, et al. : Experimental Models of the Variation of HFE-7100 and HFE-7000, 2020)

## ヘテロチャージ層の比較

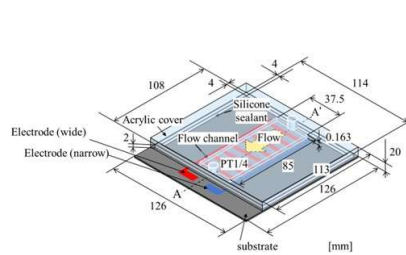
スケールが小さいほどヘテロチャージ層が流路面積の多くを占める

➡クーロン力が影響する範囲が増大することで体積力が増加



Comparison of heterocharge layers ( $L_2 = 5 \mu\text{m}: C_0 = 0.08, L_2 = 50 \mu\text{m}: C_0 = 0.81, C_0 = L_2 = 500 \mu\text{m}: C_0 = 8.08, E_0 = 1.75 \text{ kV/mm}$ )

## EHDポンプ・Ti電極



Micro EHD pump



Fabricated electrodes

High-Voltage Electrode(Wide) Ground Electrode(Narrow)

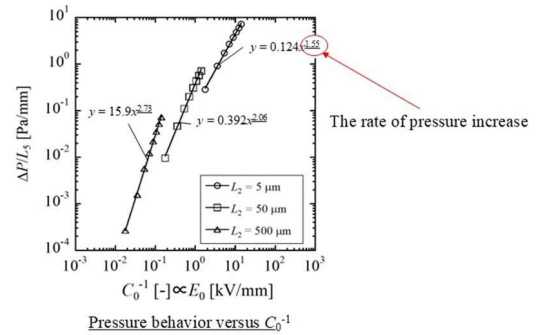
[ $\mu\text{m}$ ]	Dimensions
$L_1$	$45.8 \pm 1.03$
$L_2$	$53.9 \pm 0.92$
$L_3$	$146.2 \pm 0.76$
$L_4$	$504.6 \pm 0.81$
$t$	$0.4 \pm 0.013$
$h$	$163.0 \pm 17.5$

- ①Ti スパッタ Glass substrate  
 ②レジスト塗布 Resist (PIHR D190)  
 ③露光 Ultra-violet rays  
 ④現像  
 ⑤HF エッチング  
 ⑥レジスト除去

Creation procedure

## 圧力勾配の比較

- ✓  $C_0^{-1}$  ( $E_0$ ) の増加に伴い圧力勾配が増加
- ✓ 同電界強度ではスケールが小さい方が圧力勾配が大きく,  $L_2 = 5 \mu\text{m}$  で圧力勾配  $\Delta P/L_2$  が最大
- ✓ スケールが小さくなるに伴い, 圧力勾配の増加率が減少



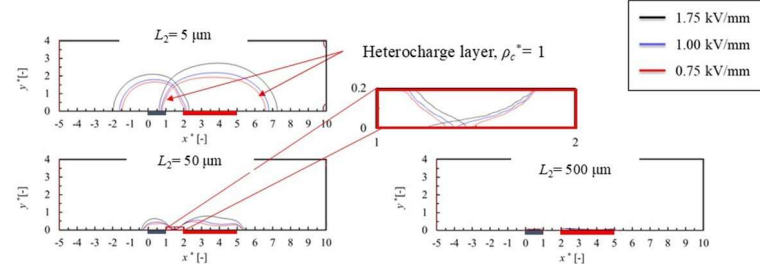
The rate of pressure increase

## ヘテロチャージ層の分布・結論

スケールが小さくなるに伴い, ヘテロチャージ層の重なる領域が増加

➡重なる領域が増加することでクーロン力の損失が増大

➡重なる領域の大きさが圧力の増加率に影響



Distribution of the hetero-charge layer in each electric field

### 結論

- ✓ スケールの減少に伴い, ヘテロチャージ層が流路面積の多くを占めることで圧力勾配が増加した
- ✓ しかし, ヘテロチャージ層が重なる領域も増加していくためクーロン力を損失する領域が増え, 圧力勾配の増加率は減少していく