

# マイクロ・ナノスケールの熱流体輸送現象を利用した新奇エネルギー変換技術の創出

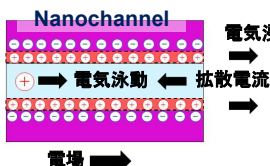


プロジェクトメンバー: 機械工学系 土井謙太郎, 岸本龍典, 近藤有馬, 高木肇志, 露木孝俊, 宮國真太郎, 愛知恭太郎, 岡田大樹, 鍵主涼太, 杉本寛人, 中村慶, 越智壮二郎



## 背景

マイクロ・ナノ流路デバイスは、表面効果に起因する特性が利用されている。しかしながら、ナノスケールの流動現象について未解決の問題も多い。本研究では、SiO<sub>2</sub> ナノ流路のプロトン選択性に着目し、プロトン輸送を利導してpHセンサを構築する。

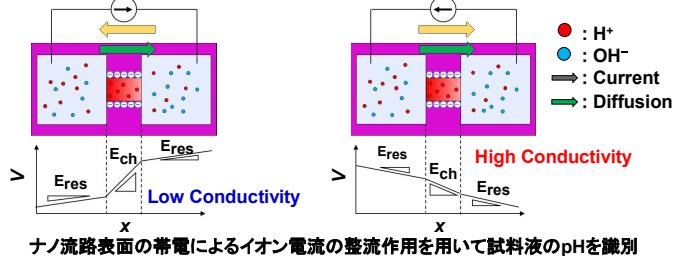


$$\mathbf{j} = \frac{ze\rho}{\xi} \mathbf{E} - D\nabla\rho + \rho\mathbf{u}_{eo} \quad (1)$$

$z$ : 価数,  $e$ : 素電荷,  $\xi$ : 摩擦係数,  
 $E(r)$ : 位置 $r$ での電場,  $D$ : 拡散係数,  
 $\rho(r)$ : 位置 $r$ での電荷密度,  
 $u_{eo}(r)$ : 位置 $r$ での電気浸透流の速度

## 測定原理

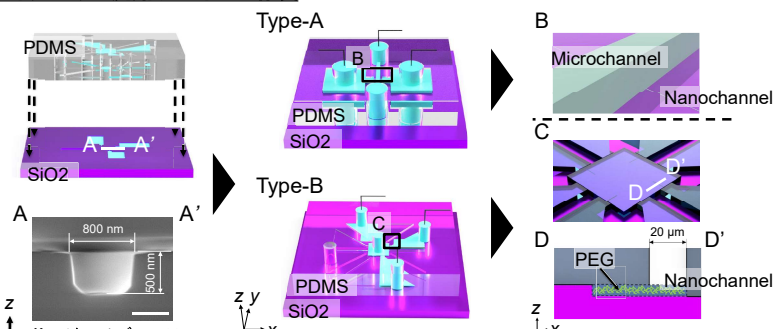
プロトンの濃度勾配と電気泳動の関係



ナノ流路表面の帯電によるイオン電流の整流作用を用いて試料液のpHを識別

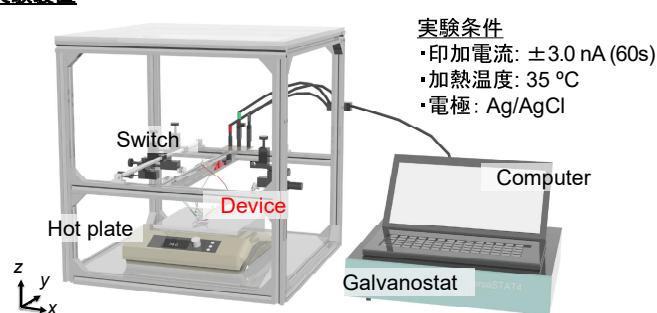
## 実験方法

マイクロ・ナノ流路デバイスの作製



SiO<sub>2</sub>基板上にエッチングしたナノ流路と、PDMSに作製したマイクロ流路接着し、二種類の流路デバイス(Type-AとType-B)を作製する

実験装置

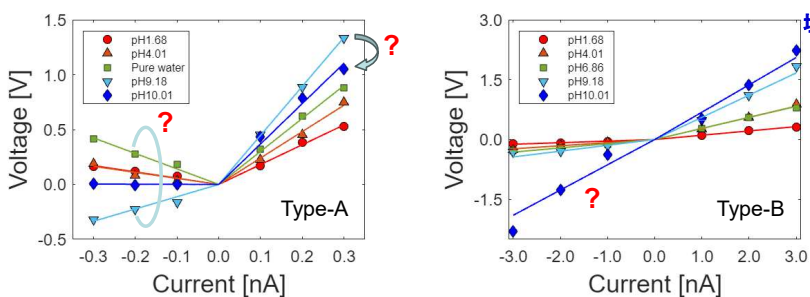


実験条件  
 ・印加電流: ±3.0 nA (60s)  
 ・加熱温度: 35 °C  
 ・電極: Ag/AgCl

pH一定の試料液が充填された流路デバイスにガルバノスタットを用いて定常電流を印加し、応答電圧を測定する

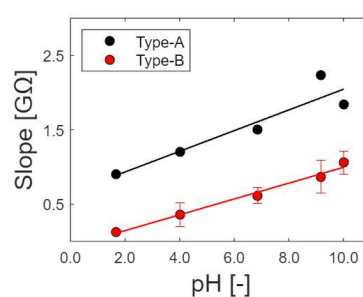
## 結果

流路構造に対する電流電圧特性



- Type-Aにより得られる電流電圧特性では、酸性側のpHの差が確認された
- Type-Bでイオン電流の非対称性が得られ、電流電圧特性に差が確認された

pHの識別



**Type-AのpH分解能**  
 417 mV/pH @ 3 nA  
 R<sup>2</sup> = 0.867

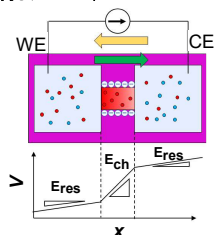
**Type-BのpH分解能**  
 320 mV/pH @ 3 nA  
 R<sup>2</sup> = 0.986

- Type-Aの抵抗より、酸性側でpHの差が確認できた
- Type-Bの抵抗より、pH1.68~10.01の範囲でpHの差が確認できた

## 考察

- イオン輸送の非対称性による導電率の差が確認できた
- Type-Bのナノ流路長さはType-Aの1/25であるため、濃度拡散の影響が強い。
- ナノ流路にPEGを充填することにより、イオンの輸送を抑制したことで、非対称性がさらに顕著になった。

- 試料液のpHが大きいほど高い応答電圧を示した
- プロトンに濃度差があるため、イオン選択性を有するナノ流路を介してpHの識別が可能になった。
- 酸性だけでなく、アルカリ性の溶液についても測定可能である。



## 結論

- pH試料液の定量評価を目的としたナノ流路pHセンサを提案した
- 電極を挿入するリザーバからPEGを充填することで、ナノ流路における電気泳動と濃度拡散からなる非対称なイオン輸送を顕在化させた
- 得られた電流電圧特性とプロトン濃度の間に正の相関が示され、pHセンサとしての機能が確かめられた

## 謝辞

- 本研究は、JSPS科研費(21H01246)およびJST創発的研究支援事業(JPMJFR203L)の支援を受けて行われた。
- 豊橋技術科学大学次世代半導体・センサ科学研究所の協力を謝意を表します。