

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, 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, 齊藤樹, 榮谷真愛,
永易翔和, 淵田侑生, 真木博人



研究背景



極微量サンプルの定量評価, 閉じ込め効果, 新奇機能発現
熱流体輸送現象を利用したナノセンサの開発

理論と測定原理

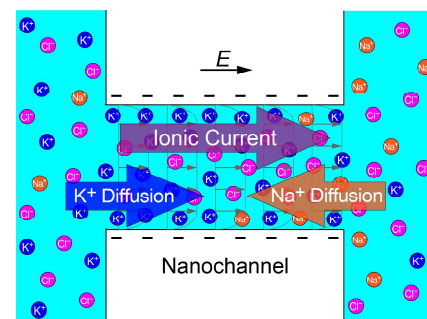
ナノ流路を用いてイオン輸送を一次元に拘束
→測定精度の向上

Nernst-Planck方程式

$$\mathbf{j}_i = \frac{z_i e \rho_i D_i}{k_B T} \mathbf{E} - D_i \nabla \rho_i + \rho_i \mathbf{u}_{eo} \quad (1)$$

電気泳動 拡散 電気浸透流

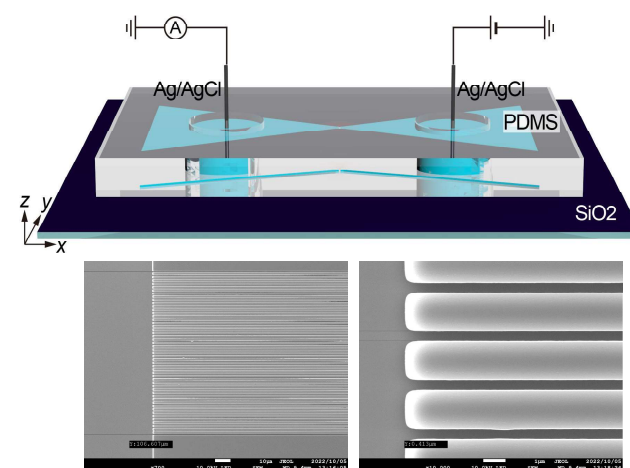
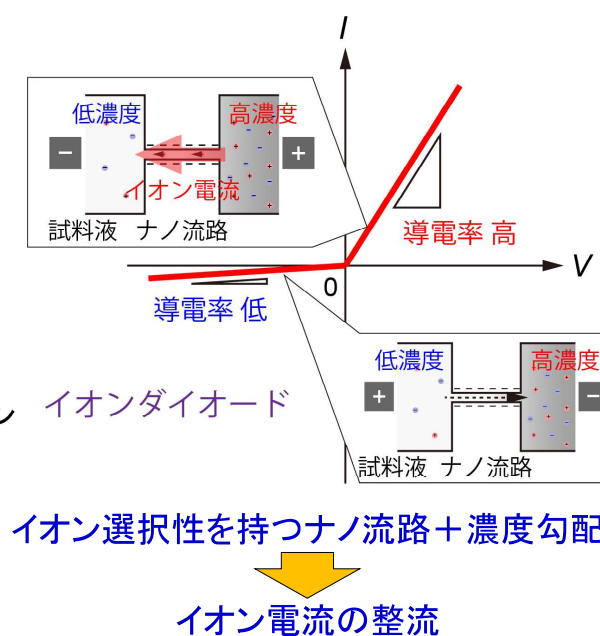
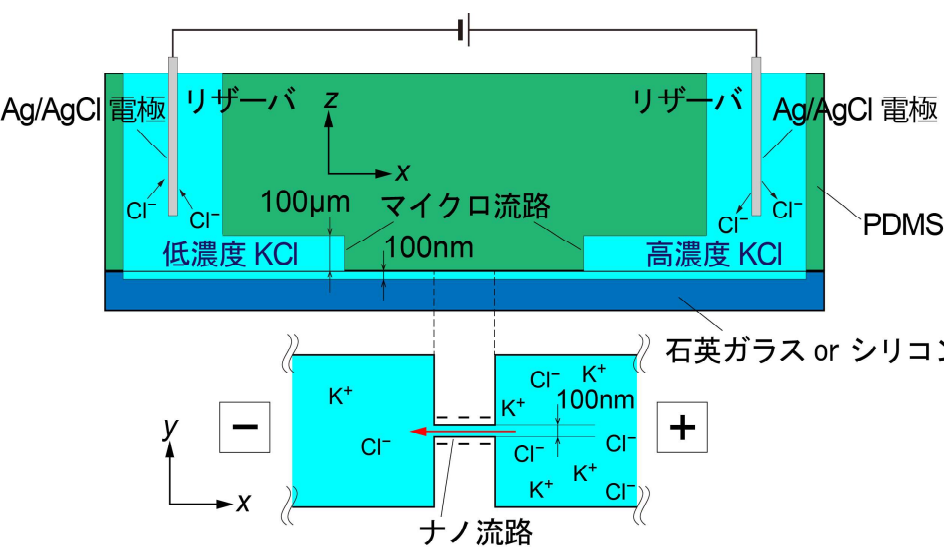
$\mathbf{j}_i$: イオン電流密度 e : 素電荷
 $\mathbf{E}(\mathbf{r})$: 電場 k_B : Boltzmann定数
 $\mathbf{u}_{eo}(\mathbf{r})$: 電気浸透流速度 z_i : 価数
 D_i : イオンの拡散係数 $\rho_i(\mathbf{r})$: イオンの電荷密度
 T : 温度



ナノ流路の特徴

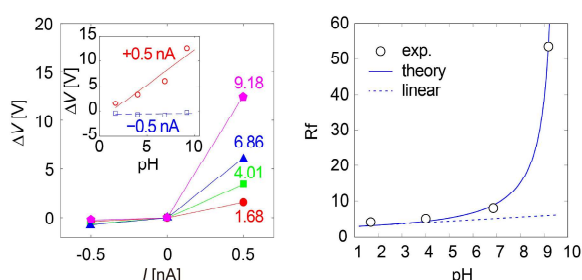
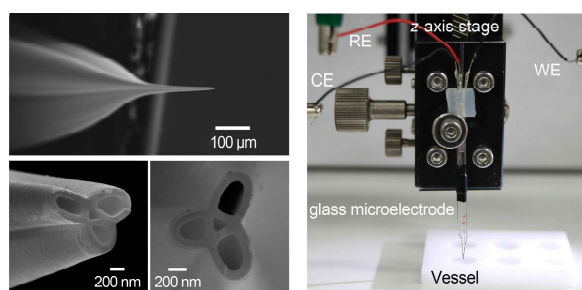
- ・電気二重層の形成
- ・イオンの電気泳動
- ・イオンの濃度拡散
- ・電気浸透流
- ・電場や流れ場の集中

ナノ流路のイオン選択性

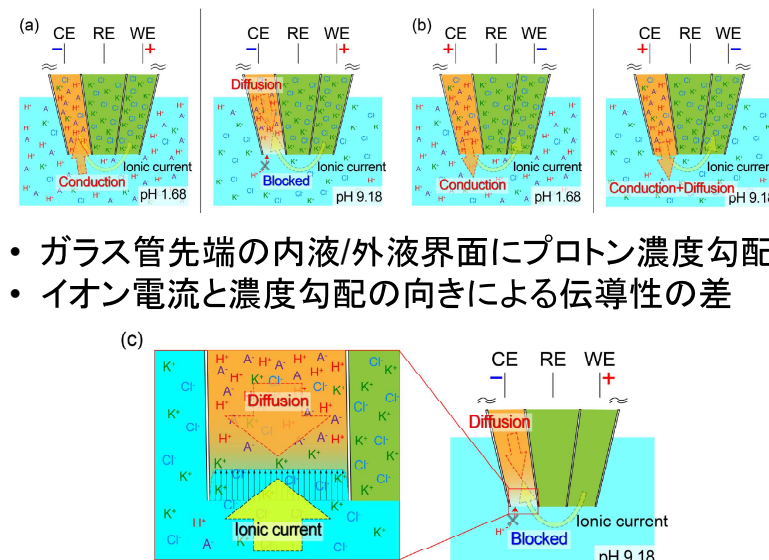


300~500nm幅の流路を並列化
安定した微小電流計測を実現

ナノ流路を用いたイオン濃度測定技術の創出

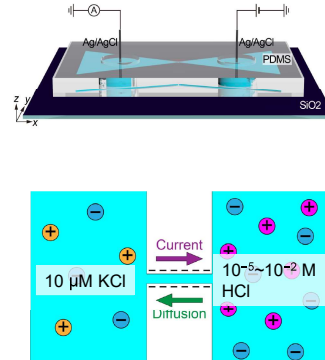
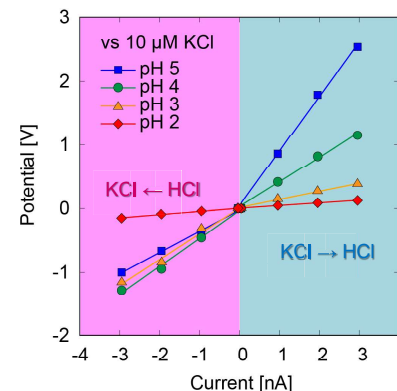


3連管ガラス電極を用いたpH測定
T. Kishimoto and K. Doi, JPCC (2023)



- ・ガラス管先端の内液/外液界面にプロトン濃度勾配
- ・イオン電流と濃度勾配の向きによる伝導性の差

イオン電流と拡散が対向する電気拡散浸透



1. ナノ流路の両側に異なる電解質溶液を充填
2. 1~3 nAの一定電流に対する電位差を測定
3. イオンの濃度差に対応した電位差
4. 正負の向きに非対称な電気伝導特性
5. ナノ流路の電気拡散浸透
6. イオン濃度の特定

まとめ

- ナノ流路を用いた微小電流計測手法を確立した。
- イオン電流の整流により液中のプロトンや電解質濃度の定量評価を可能とした
- ナノ流路における電気拡散浸透を明らかにした

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に謝意を表します。