

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, 越智壮二郎, 齊藤樹, 榮谷真愛, 永易翔和, 淵田侑生, 真木博人, 大久保和樹, 岡野達馬, 小野俊輔, 住田凌真, 常木貴史, 中村宙生, 山田冨



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

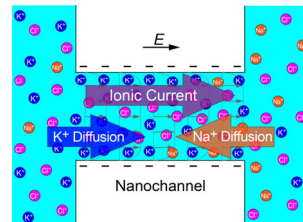
ナノ流路を用いてイオン輸送を一次元に拘束
→測定精度の向上

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

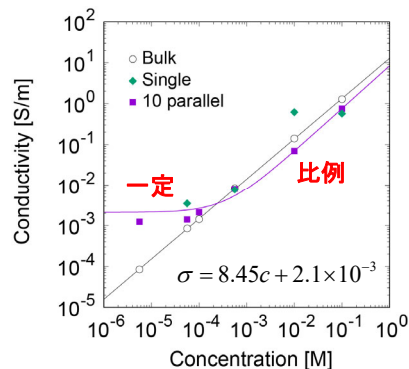
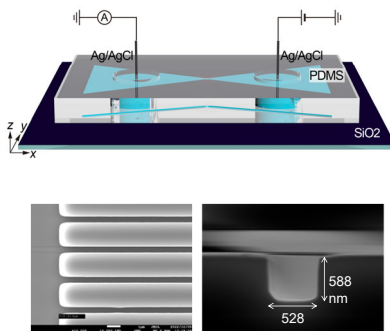
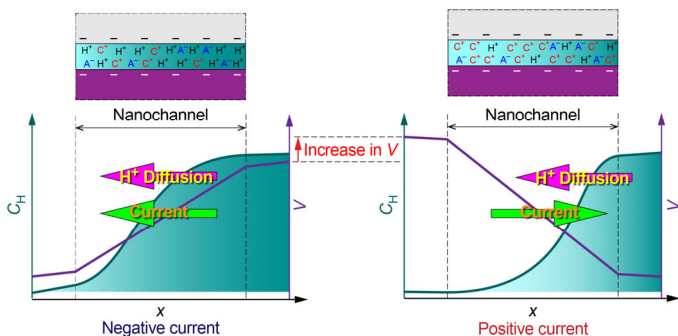
\mathbf{j}_i : イオン電流密度 e : 素電荷
 $\mathbf{E}(\mathbf{r})$: 電場 k_B : Boltzmann定数
 $\mathbf{u}_{eo}(\mathbf{r})$: 電気浸透流速度 z_i : 価数
 D_i : イオンの拡散係数 $\rho_i(\mathbf{r})$: イオンの電荷密度
 T : 温度



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

イオン電流の整流作用

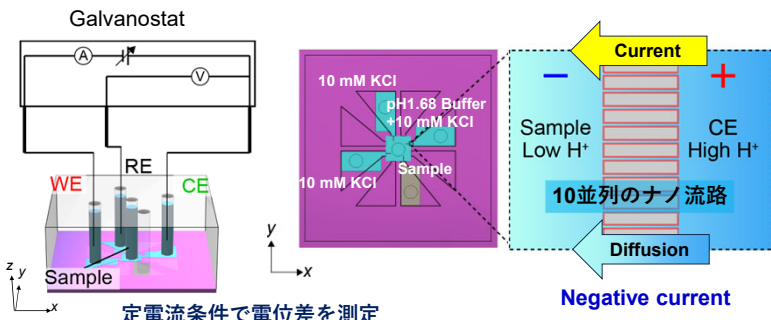


電流が一定のとき,
イオン電流と濃度拡散が同じ向き(左図) → 電場弱 (電位差小) ナノ流路を並列化して測定を安定化
イオン電流と濃度拡散が対向する(右図) → 電場強 (電位差大)

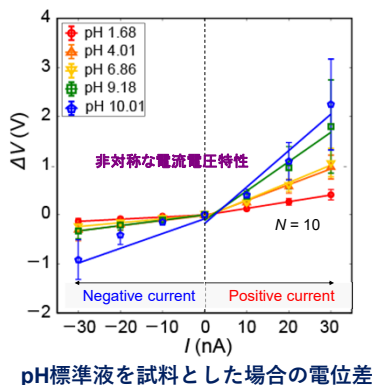
希薄濃度ではナノ流路の表面電荷が導電率を決める。

非対称な電流電圧特性

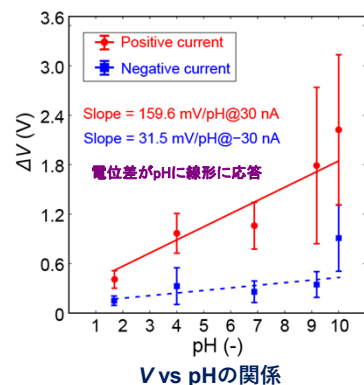
イオン電流の整流作用



pH測定を可能とするナノ流路



pH標準液を試料とした場合の電位差



ナノ流路を用いたpH試料液の非対称な電流電圧特性と感度

まとめ

- ナノ流路を並列化することにより高精度の微小電流計測を可能とした
- ナノ流路の非対称な電流電圧特性から電気拡散浸透現象を明らかにした
- ナノ流路の整流作用を利用したpH測定を実現した

謝辞

- 本研究は, 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。