

平野 愛弓

東北大学原子分子材料科学高等研究機構(東北大学大学院医工学研究科)
教授(准教授)

超絶縁性脂質二分子膜に基づくイオン・電子ナノチャネルの創成

§ 1. 研究実施体制

(1)「縦方向イオンチャネルに基づく脂質二分子膜デバイス」グループ

① 研究代表者:平野 愛弓 (東北大学原子分子材料科学高等研究機構・教授)

② 研究項目

- ・チャネルタンパク質の脂質二分子膜中への包埋確率の更なる向上
- ・基本構造となる微細孔をもつシリコンチップ作製プロセスの確立
- ・イオンチャネルアレイ測定系の構築
- ・電極内蔵型シリコンチップの作製と膜形成

(2)「チャネル包埋脂質二分子膜内の分子構造の評価」グループ

① 主たる共同研究者:手老 龍吾 (豊橋技術科学大学・環境・生命工学系・准教授)

② 研究項目

- ・脂質二分子膜へのチャネル包埋過程のリアルタイム観察法の確立
- ・チャネル包埋制御因子の探索
- ・膜内チャネルの同定と分子構造の高分解能観察
- ・溶液環境変化に伴う膜内チャネルの構造変化の観察

(3)「脂質二分子膜単電子デバイスの構築」グループ

① 主たる共同研究者:木村 康男 (東京工科大学・工学部電気電子工学科・教授)

② 研究項目

- ・脂質二分子膜単電子デバイス用シリコンチップの作製と電極配線
- ・ナノ粒子の脂質二分子膜への包埋とトランジスタ特性の評価
- ・ナノ粒子による帯電効果の実証とシミュレーション

(4)「脂質二分子膜電界効果トランジスタの構築」グループ

① 主たる共同研究者: 廣瀬 文彦 (山形大学・大学院理工学研究科・教授)

② 研究項目

- ・室温・原子層堆積法 (ALD) 法によるナノ微粒子製造と分子吸着センサ用の SnO₂ 膜の開発
- ・ALD 法と脂質二分子膜の結合によるナノ粒子の包埋
- ・ナノ粒子の脂質二分子膜への包埋とトランジスタ特性の評価

§ 2. 研究実施の概要

(1) 「縦方向イオンチャンネルに基づく脂質二分子膜デバイス」グループ(平野 Gr)

hERG チャンネル包埋脂質二分子膜に基づく薬物副作用チップ(図1)の構築におけるボトルネックとなっていた生体チャンネルの脂質二分子膜への包埋過程について、遠心力を用いてチャンネル含有リポソーム(プロテオリポソーム)を脂質膜近傍に濃縮することにより、その確率を 73%まで向上させることに



図1. 本研究で構築する hERG チャンネルアレイ

成功した(昨年度は 67%). しかし、膜によっては遠心力の負荷により破れてしまうものもあり、更なる膜安定性の向上が必要であることも判明した. そこで、脂質二分子膜の安定性について再検討し、膜形成場となる微細孔の縁部形状と膜安定性との関係性について明らかにした.

(2) 「チャンネル包埋脂質二分子膜内の分子構造の評価」グループ(手老 Gr)

脂質二分子膜へのチャンネル包埋過程の基礎検討として、基板支持二分子膜モデル系を用いた膜融合過程のその場観察を進めている. 本年度は、プロテオリポソームを調製する細胞種に依存して膜融合が進行することを明らかにし、プロテオリポソームの融合過程およびプロテオリポソーム由来ドメインの成長過程を説明する速度論モデルを構築した. また、プロテオリポソーム融合後の基板支持二分子膜に対して hERG チャンネルの同定を行うために、抗 hERG 抗体による標識を行い、プロテオリポソーム由来ドメインの多くに hERG チャンネルが含まれていることを明らかにした.

(3) 「脂質二分子膜単電子デバイス」グループ(木村 Gr)

膜内に電子チャンネルを付与するための一手法として、基板支持脂質二分子膜中に金ナノ粒子を導入する技術を開拓し、金ナノ粒子シートの作製に成功した. また、脂質二分子膜包埋金属ナノ粒子を模擬する系として、固体基板上に金ナノ粒子2次元ランダム配列を形成した結果、その電流-電圧特性に負性抵抗が発現し、これがゲート電圧によって変調されることを見出した. この他、脂質二分子膜中の電界に関する二次元静電電界シミュレーションを行い、水中のイオンの動きを考慮する必要のない高周波における膜内電界の大きさを見積もった.

(4) 「脂質二分子膜電界効果トランジスタ」グループ(廣瀬 Gr)

脂質二分子膜を用いた電界効果トランジスタの構造について検討した. チャンネル材料となる金ナノ粒子に酸化物半導体(TiO_2 および SnO_2)を被覆したコアシェルナノ粒子について検討し、同材料の被覆法について室温原子層堆積法を用いて確立した. また、このナノ粒子を脂質膜に気相輸送するプロセスチャートを作り上げた. さらに、製膜した酸化物半導体の品質評価のために試作したナノ薄膜 TiO_2 をチャンネルとした薄膜トランジスタが、UV 光に対して著しい伝導度変調性を示し、高感度 UV センサとしての適用可能性を見出した. 実際の脂質二分子膜トランジスタ動作については、実現の容易さから縦方向型の検討から開始し、ナノ粒子をドープした脂質二分子膜電流の外部刺激による変調について検討を進めている.

代表的な原著論文

[1] Ayumi Hirano-Iwata, Yutaka Ishinari, Miyu Yoshida, Shun Araki, Daisuke Tadaki, Ryusuke Miyata, Kenichi Ishibashi, Hideaki Yamamoto, Yasuo Kimura, Michio Niwano, "Reconstitution of human ion channels into solvent-free lipid bilayers enhanced by centrifugal forces", *Biophys. J.*, 110, 2207-2215 (2016).

[2] Ko Kikuchi, K. Kanomata, M. Miura, B. Ahmmad, S. Kubota, F. Hirose, "Room temperature atomic layer deposition of TiO₂ on gold nanoparticles", *J. Vac. Sci. Technol. A* 35(1), 01B121 (2017).

[3] Yoshiaki Okamoto, Toshinori Motegi, Kohei Morita, Toshiyuki Takagi, Hideki Amii, Toshiyuki Kanamori, Masashi Sonoyama, Ryugo Tero, "Lateral Diffusion and Molecular Interaction in a Bilayer Membrane Consisting of Partially Fluorinated Phospholipid", *Langmuir*, 32, 10712-10718 (2016).