

## 電解質溶液の自然電位と電気二重層トランジスタ特性の相関

(名大院理\*) ○南條知紘\*, 松下未知雄\*, 阿波賀邦夫\*

### Rest Potentials of Electrolyte Solutions and Threshold Voltages of Electric-Double-Layer Transistors

(Department of Chemistry, Nagoya University\*)

○Chihiro Nanjo\*, Michio M. Matsushita\* and Kunio Awaga\*

【序】イオン液体などの電解質溶液がゲート誘電体として用いられている電気二重層トランジスタは、ゲート電圧の印加による電気二重層形成によって高効率かつ高濃度のキャリア注入が可能であるため、近年注目を集めている。このような系で重要となるのが自然電位で、これは参照電極と作用電極の電位差であり、作用電極のポテンシャルを反映している。電解質溶液の濃度や、電解質の種類によって変化する(図 1)。これまでの研究により、電解質溶液として用いた各イオン液体は固有の自然電位を示し、自然電位と電気二重層トランジスタの閾値電圧には直線的な関係があることが報告されている[1]。このことは、自然電位を変化させることにより、電気二重層トランジスタの閾値電圧を制御することができることを示唆している。しかし、単一成分のイオン液体では離散的にしか閾値電圧を制御できず、また、そもそも何がイオン液体の自然電位を決定するかについての分子論的な議論は未だない。

本研究では、電解質溶液を用いてトランジスタの閾値電圧を連続的に制御すること、何が電解質溶液の自然電位を決めているのか明らかにすることを目的とした。電解質溶液の濃度や、あるいは 2 成分系の混合比率は連続的に変化させることが可能であることから、電解質のポリエチレングリコール(PEG)溶液と、二種類のイオン液体を混合した溶液に着目し、これらの自然電位を計測するとともに、これらの電解質溶液を用いた電気二重層トランジスタ特性について調べた。

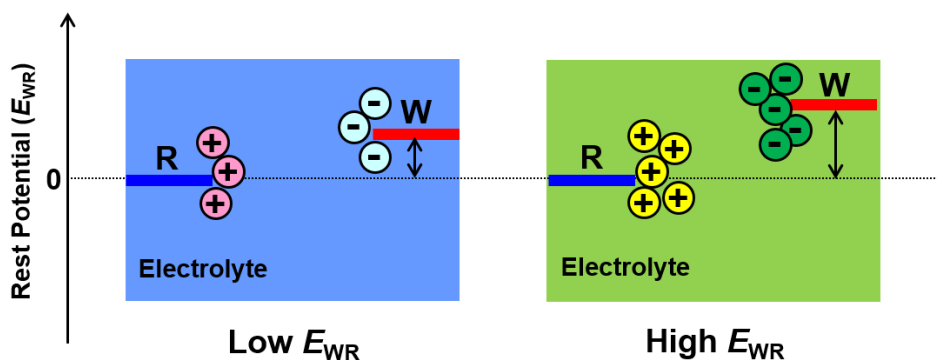


図 1. 濃度、電解質の種類による自然電位の変化.

【ポリエチレングリコール(PEG)溶液の電解質濃度依存性】塩化リチウムの PEG 溶液を用いて、自然電位と電気二重層トランジスタ特性の濃度依存性を調べた。自然電位は、Ag/AgCl 参照電極と白金作用電極を用いて測定した。図 2(a)に自然電位の濃度変化を示す。PEG 溶液の自然電位は濃度の log に比例することから、溶質の化学ポテンシャル  $\mu = \mu^0 + RT \ln a$  ( $R$ : 気体定数、 $T$ : 温度、 $a$ : 活量)と自然電位の相関が示唆される。さらに、塩化リチウムの PEG 溶液をゲート誘電体に用いて電気二重層トランジスタを作製・評価した。半導体層には、非常に安定性の高い白金フタロシアニン(PtPc)を用いた。濃度が低くなるほど閾値電圧は大きくなり、自然電位と閾値電圧は直線的な相関を示した(図 2(b))。電解質溶液の濃度を変化させることによって、電気二重層トランジスタの閾値電圧を連続的に制御できることが分かった。

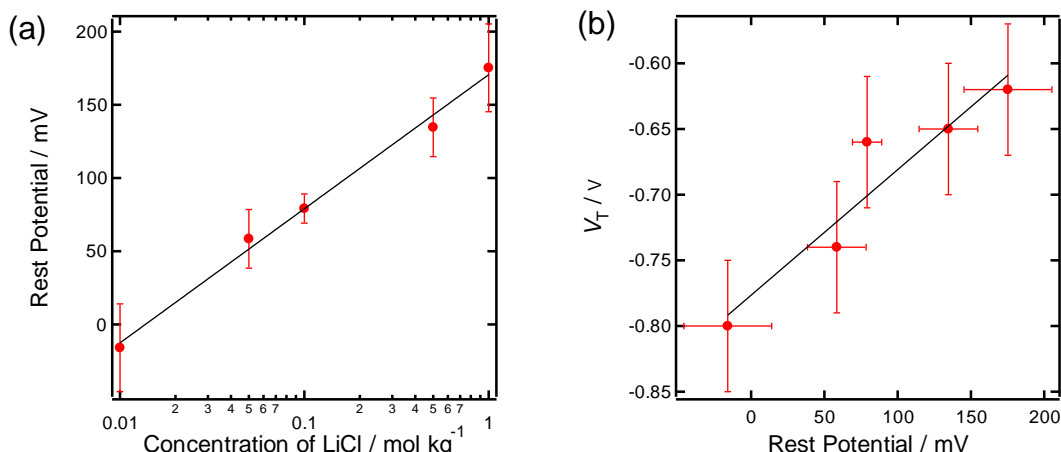


図 2. (a) LiCl 濃度と自然電位の相関. (b) 自然電位と電気二重層トランジスタの閾値電圧の相関.

【二種類を混合したイオン液体の混合比率依存性】自然電位が大きく異なる二種類のイオン液体を混合した溶液を用いて、自然電位と電気二重層トランジスタ特性の混合比率依存性を調べた。用いたイオン液体の組み合わせは、図 3 中に示した。イオン液体 DEME-TFSI は、他のイオン液体と比べて自然電位が大きいため、全ての組み合わせにおいて共通に用いた。イオン液体 DEME-BF<sub>4</sub> と DEME-TFSI の組み合わせは共通のカチオンとして DEME を有し、その他の組み合わせは共通のアニオンとして TFSI を有する。二種類のイオン液体を混合した溶液の自然電位は、濃度に対して非線形に変化し(図 3(a))、PEG 溶液の場合と同様に、イオン液体のモル分率と自然電位は濃度の log に比例することから、イオン液体の化学ポテンシャル  $\mu = \mu^0 + RT \ln x$  ( $x$ : モル分率)と自然電位の相関が示唆された。さらに、二種類のイオン液体を混合した溶液をゲート誘電体を用いて電気二重層トランジスタを作製・評価した。半導体層には、PEG 溶液の場合と同様に PtPc を用いた。DEME-TFSI の比率を小さくすると、閾値電圧は大きくなった。他の組み合わせにおいても、同様の傾向がみられ、二種類のイオン液体を混合した溶液の自然電位と電気二重層トランジスタの閾値電圧には直線的な関係が見られた(図 3(b))。イオン液体の混合比率は連続的に変化させることができることから、閾値電圧の連続的な制御が可能であり、二種類のイオン液体を混合した溶液の場合は最大 0.4 V の範囲で制御が可能である。

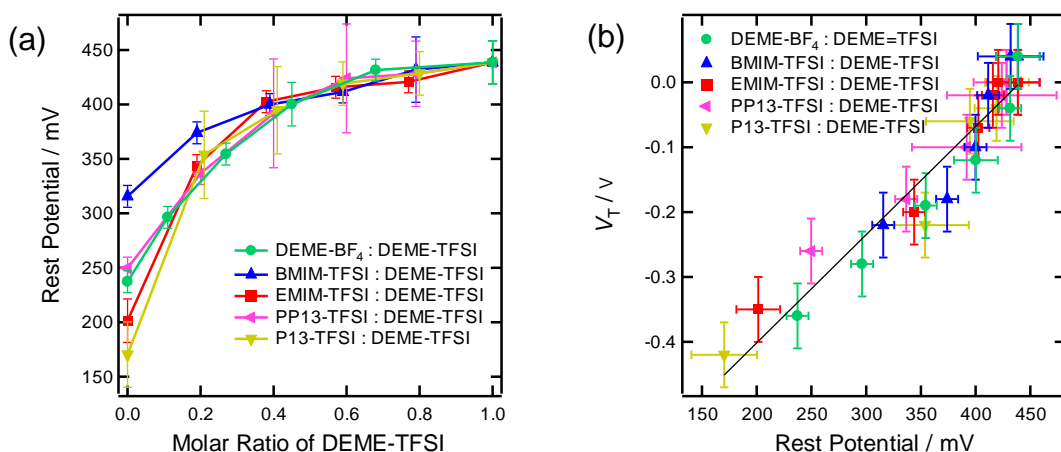


図 3. (a) イオン液体の混合比率と自然電位の相関. (b) 自然電位と電気二重層トランジスタの閾値電圧の相関.

【まとめ】電解質のポリエチレングリコール(PEG)溶液と、二種類のイオン液体を混合した溶液の自然電位の濃度依存性および混合比率依存性から、電解質溶液の自然電位と化学ポテンシャルの相関が示唆された。このような実験事実に対して分子論的な考察が可能か、現在、検討している。また、濃度や混合比率を変化させることにより、電気二重層トランジスタの閾値電圧の連続的な制御に成功した。