等価回路解析による脂質二分子膜の薄膜化の評価

Thinning effect of bilayer lipid membranes evaluated by equivalent circuit analysis

電通大[†]，山形大[‡]，東北大[‖]

○冨岡康貴[†]，高島匠吾[†]，守屋雅隆[†]，島田宏[†]，廣瀬文彦[‡]，平野愛弓[‖]，水柿義直[†]

Univ. of Electro-Comm.[†], Yamagata Univ.[‡], Tohoku Univ.[‖]

Y. Tomioka[†], S. Takashima[†], M. Moriya[†], H. Shimada[†], F. Hirose[‡], A. Hirano-Iwata[‖] and Y. Mizugaki[†]

E-mail: tomioka@w8-7f.ee.uec.ac.jp

1.はじめに

脂質二分子膜(BLM)は細胞膜を構成する主成分であり，貼り合わせ法[1]などを用いて人工的に形成できる．脂質二分子膜は柔軟性や絶縁性に優れており，イオンチャネルやナノ材料を埋め込んだデバイス応用などが報告されている[2,3]．しかし，脂質二分子膜は時間経過で薄膜化し，最終的に壊れてしまうことが応用の妨げとなっている．本研究では脂質二分子膜の薄膜化の様子を電気的特性から評価するために，電気化学インピーダンス法(EIS)を用いて周波数特性の経時変化を測定した．また，系の等価回路モデルを仮定しフィッティングすることでパラメータを抽出し，膜抵抗・膜容量の経時変化について評価した

2.実験方法と結果

脂質二分子膜は DPhPC を用いて貼り合わせ法[1]によって，Si/Si_3N_4 チップ[2]の孔に形成した．膜形成から 0.5 時間以降，ケミカルポテンショスタット(SP-200, Biologic)を用いて交流特性を 1 時間毎に測定した．Fig. 1 は膜形成から 0.5 時間後と 5.5 時間後の測定結果を示している．特性の経時変化は，Fig. 2 に示す等価回路を用いたフィッティングで抽出したパラメータにより評価した．膜抵抗R_{BLM}と膜容量C_{BLM}の経時変化を Fig. 3(a)に示す．膜抵抗は 1 TΩ 以上の超高抵抗となり，先行研究[4]と同様の経時変化の傾向を示した(膜抵抗は減少，膜容量は増加)．Fig. 3(b)では，平行平板コンデンサを仮定して，膜容量の増加量ΔC_{BLM}を膜厚の減少量Δdの関数として表している(膜の比誘電率を$\varepsilon_{\mathrm{r}} = 2, 3$，初期の膜厚を$d_{\mathrm{i}} = 5, 6$ nm と仮定)．Fig. 3(b)から，例えば膜の比誘電率を$\varepsilon_{\mathrm{r}} = 3.0$，初期の膜厚$d_{\mathrm{i}} = 5.0$ nm とした場合，本実験における薄膜化(経時変化)による膜厚の変化量は$\Delta d = 3.2$ nm となり，電気的特性から薄膜化の程度を見積もることができる．

3.謝辞

本研究の一部は，JSPS 科研費 17K04979，および JST-CREST JPMJCR14F3 の助成のもと行われた．

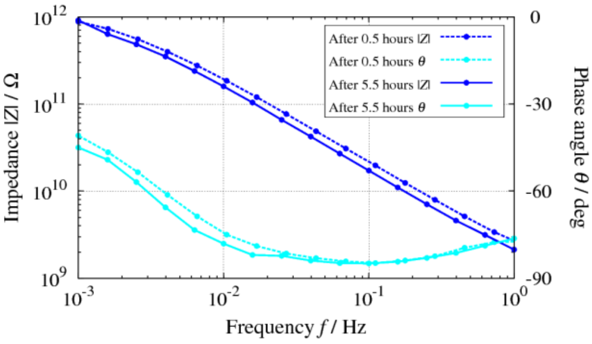

Fig. 1: EIS results measured 0.5 and 5.5 hours after BLM formation.

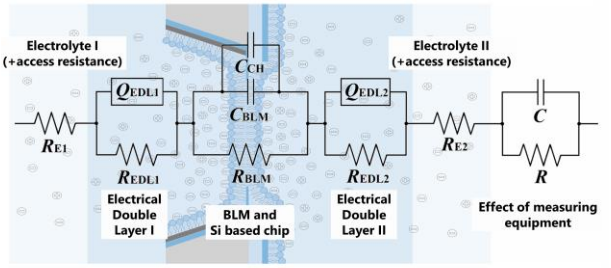

Fig. 2: Equivalent circuit model.

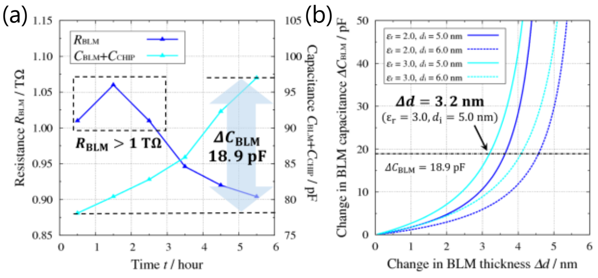

Fig. 3: (a) Typical time evolution of R_{BLM} and $C_{\mathrm{BLM}} + C_{\mathrm{CHIP}}$. (b) Relationship between ΔC_{BLM} and Δd for ε_{r} of 2 and 3, d_{i} of 5 and 6 nm.

参考文献

[1] M. Montal and P. Mueller, PNAS, **69**, 3561 (1972).

[2] D. Tadaki et al., Sci. Rep. **7**, 17736, (2017).

[3] K. Kanomata et al., J. Electroanal. Chem. **832**, 55 (2018).

[4] M. S. Khan et al., Eur. Biophys. J. **45,** 843 (2016).

© 2019年 応用物理学会