

# 交流電界下の Maxwell-Wagner 効果とベシクル変形の解析と測定

## Vesicle deformation due to the Maxwell-Wagner effect in AC electric fields: Optical measurement and Analysis

東工大 院理工 ○歌丸 集, 田口 大, 間中 孝彰, 岩本 光正

Tokyo Tech ○Tsudoi Utamaru, Dai taguchi, Takaaki Manaka, Mitsumasa Iwamoto

E-mail: iwamoto@pe.titech.ac.jp

ベシクルはリン脂質が水溶液中で自発的に形成する二分子膜の小胞構造であり、生体膜のモデルとして用いられる。直径が数十~数百  $\mu\text{m}$  程度の巨大ベシクルでは交流電界下で弾性変形が生じることが知られ、ソフトマテリアルの物理・工学の観点からも注目されている [1]。我々は交流電界下におけるベシクル変形の原因が Maxwell-Wagner(MW) 効果によって蓄積される界面電荷にあると考え、界面電荷のベシクル変形への寄与を 3 層誘電体モデルを用いて解析した。次いで光第二次高調波 (SHG) 測定により界面電荷の存在を実証した。実験では、Electroformation 法により作製したベシクルをチャンバー内の円筒電極間に沈降させ、定常状態において印加電圧と同期した Nd:YAG レーザー (パルス幅 7nsec, 繰り返し周波数 10Hz Surelite, OPO:920nm) を脂質膜に照射した (図 1(a))。サンプル脂質には SH 光を発生させるために蛍光分子 NBD PE を用い、Egg PC に対して 10% の割合で混合した。また、ベシクル溶液には NaCl と Sucrose, Glucose からなる混合水溶液を用い、内部溶液 (導電率:  $\sigma_3$ ) と外部溶液 (導電率:  $\sigma_1$ ) の導電率比  $\chi$  ( $\sigma_3/\sigma_1$ ) を NaCl 濃度により調整し、同時に Glucose と Sucrose の濃度を調整することでベシクル内外の浸透圧を等しくした。図 1(b) に示すように交流電界下のベシクルは  $\chi > 1$  では扁楕円 (prolate)  $\rightarrow$  球状 (sphere),  $\chi < 1$  では扁楕円 (prolate)  $\rightarrow$  扁平楕円 (oblate)  $\rightarrow$  球状 (sphere) と変化する。次に扁平楕円変形が確認される  $\chi = 0.1, f_0 = 1\text{MHz}$  において、ポアソン場 (定常状態下の  $V(\omega_0) = 0\text{V}$ ) 内におけるベシクル脂質膜からの反射 SH 光強度を光電子倍增管 (PMT) を用いて検出した。印加電圧に対する二乗特性及び偏光依存性が得られたことから電荷蓄積によって生じた SH 光が観測され、変形時に界面電荷が生じたと結論した (図 1(c))。

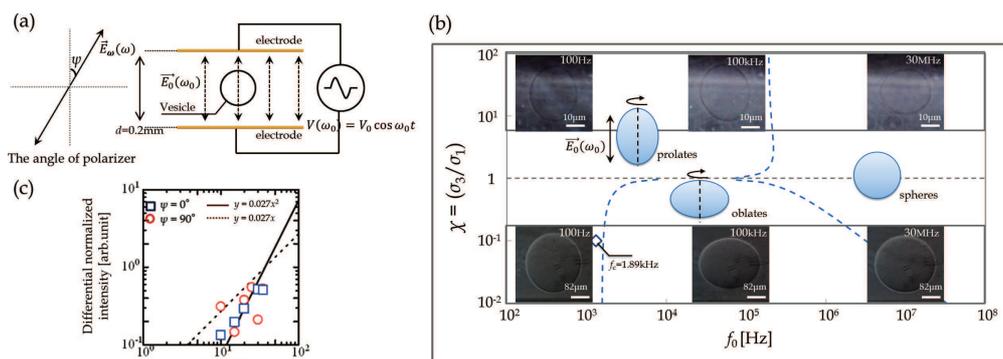


図 1. 実験系及び実験結果

- (a). 実験系 (b). 位相差観察像による交流電界下のベシクル変形 (写真は  $\chi = 5.0$  ( $\sigma_3 = 327\mu\text{S}/\text{cm}$ ) 及び  $\chi = 0.1$  ( $\sigma_3 = 88.6\mu\text{S}/\text{cm}$ ) における Egg PC によるベシクルを表す。印加電圧はいずれも  $V_0 = 4\text{V}$  としている。)
- (c). PMT により検出された反射光信号値 (横軸  $V_{pp}$  は印加電圧の peak to peak 値を表し、縦軸は PMT による検出値を表す。検出値は入射光信号値により規格化され、更に直前のベースライン信号値により差分化される。)

[1] T. Yamamoto, S. Aranda-Espinoza, R. Dimova, and R. Lipowsky, Langmuir 26, 12390 (2010).