

# 나노기술을 위한 유기초박막의 유전완화특성

조수영\*, 송진원\*\*, 이경섭\*\*\*

\*성화대학 전기과, \*\*동신대학교 대학원 전기전자공학과, \*\*\*동신대학교 공과대학 전기공학과

## Dielectric Relaxation Properties of Organic Ultra Thin Films for Nanotechnology

Dielectric Relaxation Properties of Organic Ultra Thin Films for Nanotechnology

Su-Young Cho\*, Jin-Won Song\*\*, Kyung-Sup Lee\*\*\*

\*\*\*Dept. of Electrical & Electronic Eng., Dongshin University. grad.

\*\*\*\*Dept. of Electrical Eng., Dongshin University.

### Abstract

**Abstract** In this paper, evaluation of physical properties about dielectric relaxation phenomena by the detection of the surface pressures and displacements current on the monolayer films of phospholipid monomolecular DLPC, DMPC using pressure stimulus.

As a result, the changed surface pressure, displacement current and the transition forms of dipole moment of phospholipid monomolecular in area per molecular by pressure stimulus were conformed well. It was known that the monolayers by linear relationship for decision of dielectric relaxation time between compressure speed and molecule area. By according to the linear relationship relation get that frictional constant, DLPC was  $1.89 \times 10^{-19}$ [Js] and DMPC was  $0.722 \times 10^{-19}$ [Js]. It is found that the phospholipid monolayer of dielectric relaxation takes a little time and depend on the molecular area.

Key word : dielectric relaxation, displacement current, phospholipid

### 1. 서론

반도체 소자의 발명으로 인하여 발전을 거듭한 현대 산업은 최근 초소형화, 고집적화에 노력을 집중하고 있으며, 이를 위한 연구가 계속되고 있다. 나노테크놀로지(nanotechnology)라 함은 원하는 구조의 제작과 대상구조의 관찰을 원자수준에서 행하는데 필요한 모든 기술을 총칭한다. 나노테크놀로지에 있어서의 첫 진보는 실리콘 소자의 제작 가공을 하는 전자산업분야에서 이루어 졌다. 나노테크놀로지를 응용함에 있어서 원자와 분자들을 2차원 또는 3차원으로 배열하는 것이 당연히 필요한데 그 첫번째 방법은 Lithography, focused ion

beam(FIB), atomic force microscopy (AFM) 등의 미세 조작 기술을 이용하여 원하는 물질의 분자들을 배열하고 화학반응을 통하여 이들을 기판에 고정시키는 것이다. 두 번째 방법은 합성물 또는 생체 분자들의 자체 조립 특성을 이용하는 방법인데 지질과 같은 양친매성(amphiphilicity)물질을 이용하여 단층막 또는 이의 반복 누적으로 만들어지는 다층막 구조이다. 고체 표면에 단층막 또는 다층막을 형성시키는데 쓰이는 것이 Langmuir-Boldgett(LB) 기술이다.

수면 위 유기 단분자막에 압력 등의 외부 자극을 가하면 실제 단분자는 곧바로 평형상태에 도달하지 않고 어느 정도의 시간이 경과 후에 평형상

태에 도달하게 된다. 이렇게 시간에 의해 변화하는 비평형 상태에서부터, 평형상태로 이동하는 현상을 유전완화현상이라 한다.

유전완화현상에서 완화시간  $\tau$ 와 점성계수  $\zeta$ 등의 파라미터는, 물질의 기본적인 물성값이고 고유의 값을 가지므로, 이들 값을 결정하는 것이 유전완화 현상을 해석하기 위한 중요 요소중의 하나이다. 수면 위 단분자막은 압축하는 동안 막의 형상과 특성이 바뀌며, 다양한 상변이 현상이 나타난다. 유기단분자의 Maxwell displacement current (MDC) 측정에서 폐회로 전류는 단분자를 압축하는 동안에 관찰되어지며, Langmuir막의 유전 완화시간  $\tau$ 를 결정하기 위한 방법으로 변위전류법이 이용되고 있다.<sup>[1]-[5]</sup>

따라서 본 연구에서는 나노스케일의 단분자레벨로 막 제어가 가능하다고 알려진 LB법에 의해 인지질계 단분자인 DMPC의 유기단분자막을 외부자극(압력)에 따른 상전이 현상과 변위전류를 측정하고 유전완화현상으로 물성평가를 하였으며 유전완화시간 값과 점성계수 값과 같은 기초 물성값을 구할 수 있었다.

## 2. 실험

### 2.1 이론

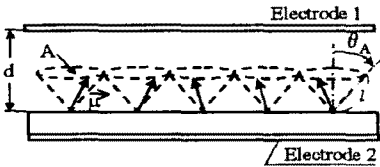


그림 1. 수면위의 분자모델

Fig. 1. Molecular model on water surface.

그림 1은 수면위의 유기 단분자의 모델을 나타내었다.

단분자의 단층은 길이  $L$ 을 가진 극분자로 구성되며, 각 분자는 분자의 긴 축을 따르는 방향에서 전기적 쌍극자 모멘트  $\mu$ 를 가지며, 그것은 수면으로부터 경사각  $\theta$ 를 갖게 되며, 분자는  $0 < \theta < \theta_A$  범위내에서 운동을 하게 된다.

여기서  $A$ 는 분자의 면적이다.

분자의 운동은 Debye-Brownian 운동 방정식을

만족한다고 가정하면, 식 (1)과 같다.

(1)

여기서,  $\tau$ 는 시간  $t=t$ 일 때, 경사각  $\theta$ 에서 물의 표면 위에 존재하는 분자들의 열역학의 평균을 나타내고 있으며,  $\mu$ 에 의하여 주어진 방위성 순서 파라메타 이다.  $\tau$ 는 단분자의 마찰상수이고,  $\zeta$ 은  $t=0$ 일 때 단분자에 적용되는 상호작용이다.

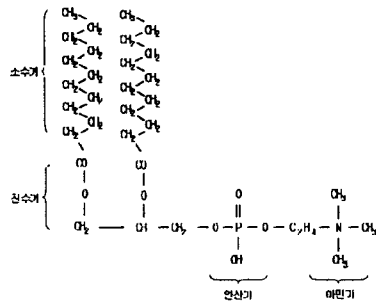
식 (2)와 같은  $\tau$ 는 유전완화 시간이다.

(2)

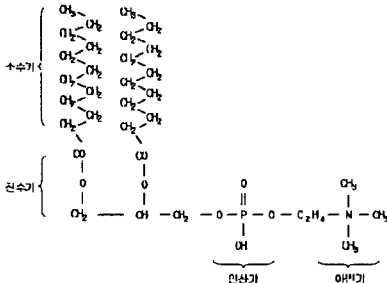
단분자의 유전완화 시간  $\tau$ 는 분자 면적의 함수로서 결정되어질 수 있다.

### 2.2 실험장치

그림 2는 본 연구에서 사용한 지질단분자의 분자구조이다. 알킬체인이 2개인 지방질의 소수기와 인산에스테르, choline기를 포함한 친수성의 양친매성 물질로 구성된 인지질계 분자인 DL- $\alpha$ -Dilaurylphosphatidylcholine(DLPC)와 milistroyl(DMPC)를 사용하였다. 인지질계 분자인 DLPC는 인산염 지르코린의 약어이고, DLPC의 D는 두개의 체인 L는 lauryl(12:0)로서 C12를 의미하고 DMPC의 M은 milistroyl(14:0)로서 C14를 의미하며 생체막의 구성분자로서 알려져 있다. 구성분자에 인지질계 분자를 가진 생체막은 연동성, 보식, 수송과 같은 단순한 기계적 기능에서부터 에너지 교환, 면역인식, 신경전달, 생합성과 같은 고도의 특이한 생화학적 과정에 도달하기까지 거의 모든 세포활동에 관여하고 있으며 체인의 길이, 체인의 수, 불포화도, 스테로이드 및 다른 부모매성 분자를 포함하고 있는 인산염 지르코린은 동물세포에 있어서 자주 볼 수 있는 지질중 하나이다.



(a) DLPC



(b) DMPC

그림 2. 분자구조

Fig. 2. Molecule structures

분자는 클로르포름을 용매로 하여 0.2의 농도로 조성하여 온도 20°C, pH 6.0의 순수한 물에 전개시켰다.

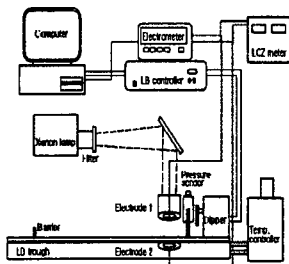


그림 3. 수면위 단분자막의 변위전류측정시스템

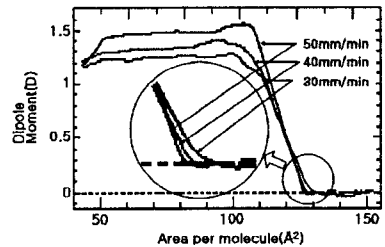
Fig. 3. Displacement current measurement system of monolayers films on water surface.

그림 3은 본 연구에 사용된 측정장치이다. LB trough는 barrier속도와 온도의 제어가 가능한 PTFE(polytetrafluoroethylene) coating 처리된 스테인레스 트러프이고, 전극 1은 Shield된 ITO

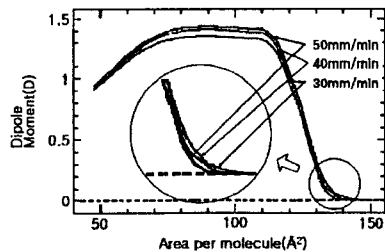
glass로서 수면과의 거리는 LCZ meter를 이용하여 약 1mm간격을 유지하였으며 through에 탈착이 용이하도록 하였다. 전극에서 검출된 변위전류는 전류계(Keithley 6517 electrometer)를 통하여 측정하였다. 변위전류 측정은 수면위에 시료를 전개한 후 약 10분정도 유기단분자막의 안정시간을 유지한 후 barrier의 속도를 30, 40, 50mm/min로 압축하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

수면위에 시료를 전개후 베리어의 압축에 따라 변위전류가 흐르고 전류값이 피크를 지난후 급격히 떨어져서 잠시 일정한 값을 갖는 영역이 존재하고 그 후 전류값은 0이 되고 있다. 또한 0이 되는 지점에서의 전하량은 평형상태를 유지하고 있다. 이는 어느 정도 시간이 경과 후에 시간적 변화가 없는 평형상태에 도달했다고 할 수 있으며, 이와 같이 시간에 의해서 비평형상태에서 평형상태로 변화하는 경우의 과정이 유전완화현상이다. 그림 4의 쌍극자모멘트 결과로부터 압축속도 의존성을 확인할 수 있다.



(a) DLPC



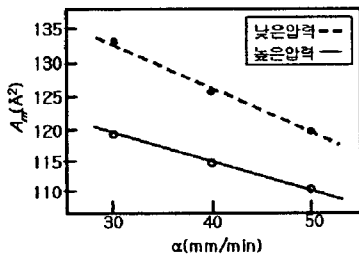
(b) DMPC

그림 4. 쌍극자모멘트

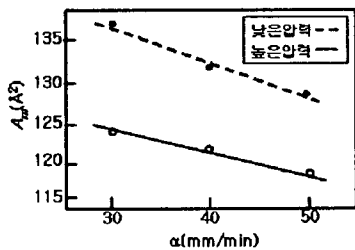
Fig. 4. Dipole moment

이들의 결과에서 압축속도가 낮은 쪽이 빠른 쪽보다도 완화하는데 필요한 시간이 길기 때문에 분자가 보다 더 배향하고 그 결과 점유면적이 큰 영역으로부터 많은 전류가 흐르고 있다고 예상된다. 또한, 압축 속도가 빠른 경우 분자의 배향은 점유면적이 작은 영역에서 일어나고 있는데 이는 점유면적이 작아짐에 따라 유전완화시간은 짧아진다.

그림 5는 변위전류가 최대값이 검출되는 부분의 분자당 점유면적을 압축속도에 의해 나타낸 실험 결과이다. a와  $A_m$ 은 선형적인 관계를 형성하며 압축속도가 낮아지면  $A_m$ 이 크다는 것을 알 수 있다.



(a) DLPC



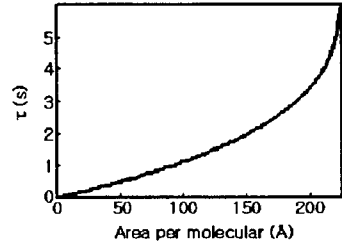
(b) DMPC

그림 5. a와  $A_m$ 의 관계

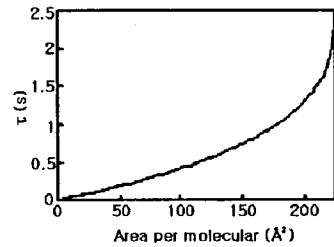
Fig. 5. Relationship between  $\alpha$  and  $A_m$

그림 5에서 변위전류가 최대값을 보이는 분자당 점유면적  $A_m$ 과 배리어 속도  $\alpha$ 와의 관계에 의해 점성계수를 구하면 각각  $1.89 \times 10^{-19}$  [Js],  $0.722 \times 10^{-19}$  [Js]이다. 로부터 단분자의 유전완화 시간을 계산한 결과를 그림 6에 나타냈다. DLPC의 유전완화 시간은  $150[\text{\AA}^2]$ 에서  $1.959$  [s],  $100[\text{\AA}^2]$ 에서  $1.106$  [s],  $50[\text{\AA}^2]$ 에서  $0.488$  [s]으로 나타났고, DMPC는 분자 점유면적  $50[\text{\AA}^2]$ 일 때  $0.186$  [s],

$100[\text{\AA}^2]$ 일 때  $0.422$  [s],  $150[\text{\AA}^2]$ 일 때  $0.749$  [s],  $200[\text{\AA}^2]$ 일 때  $1.316$  [s]의 시간이 소요됨으로 분자 영역에 의존하여 점유면적이 좁아짐에 따라 짧아지는 것을 알 수 있었다.



(a) DLPC



(b) DMPC

그림 6. 유전완화시간

Fig. 6. Dielectric relaxation time

#### 4. 결론

수면 위 DLPC, DMPC 유기 단분자막의 압력자극에 의한 변위전류와 표면압동을 측정하였는데 압축속도가 빠를수록 변위전류의 최대값은 크게 나타났으며, 단분자의 유전완화 시간을 결정하기 위해 압축 속도  $\alpha$ 와 분자 면적  $A_m$  사이에서 선형 관계가 주어지는 것을 알 수 있었다. 이러한 선형 관계로부터 점성계수  $1.89 \times 10^{-19}$  [Js],  $0.722 \times 10^{-19}$  [Js]를 구할 수 있었다. 구해진 마찰 상수에 의해 유기 단분자의 유전완화 시간을 결정할 수 있었으며 유기 단분자의 유전완화 시간은 약간의 시간이 소요되었고, 분자 영역에 의존함을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] M,Iwamoto. T.Sasaki, "Thermally stimulated discharge of Au/LB/Air-Gap/Au structures

- incorporating Cadmium Arachidate Langmuir Blodgett films", Jpn. J. Appl. Phys. Vol 29, No 3, pp.536-539, March(1990)
- [2] V. K. Srivastava, In physics of Thin Films, Built-up Morecular Films and Rheir Application, 314-315, 1984
- [3] Abraham Ulman, An Introduction to ultrathin organic films, 339-402, Academic Preess, New York, 1991
- [4] Keiji Ohara and Masaaki Nakajima, "Displacement current generated during compression of fatty acid and phospholipid monolayers at the water-air interface", Thin Solid Films, 226, pp. 164-172, 1993
- [5] Y.Majima and M.Iwamoto, "A New Displacement Current Measuring System Coupled with the Langmuir-Film Technique", Review of seientific instruments, AIP, vol.62, No.9, pp. 2228~2283, 1991