

메틸렌기에 의한 지방산 LB막의 전기적 특성

Electrical Properties of Fatty Acid LB Films by Methylene Group

최 용성, 강 기호, 김 도균, 권 영수

Yong-Sung Choi, Ki-Ho Kang, Do-Kyun Kim, Young-Soo Kwon

동아대학교 전기공학과

Dept. of Electrical Eng., Dong-A University

Abstract

We have investigated the electrical characteristics of arachidic acid(C_{20}), stearic acid(C_{18}) and palmitic acid(C_{16}) Langmuir-Blodgett(LB) films because the fatty acid systems have a same hydrophilic group and a different hydrophobic one (alkyl chain length). In this work, fatty acid systems were used as LB films and the status of the deposited films were confirmed by evaluating the capacitance and I-V characteristics. The conductivity of C_{20} , C_{18} and C_{16} LB films obtained from I-V characteristics were about 5×10^{-15} , 3×10^{-14} and 9×10^{-14} [S/cm], respectively. These results have shown the insulating materials and could control the conductivity by changing the length of alkyl chain. Also, we have confirmed that the barrier height of fatty acid systems were about 1.32~1.40[eV] and the relative dielectric constant were about 2.9~4.2. These values were almost the same ones obtained from dielectric characteristics.

Key words(중요용어) : Fatty acid(지방산), Langmuir-Blodgett films(LB막), Conductivity(전기전도도)
Barrier height(전위장벽), Relative dielectric constant(비유전율)

1. 서 론

지방산계 물질의 하나인 장쇄 포화 지방산은 메틸렌(CH_2)기의 수에 따라 사슬(chain) 길이를 변경할 수 있다는 장점이 있어 LB막 재료의 기초적인 전기적 성질을 조사하는데 널리 사용되어 왔다^[1].

따라서, 본 논문에서는 장쇄 포화 지방산계 [$CH_3(CH_2)_nCOOH$] 중 메틸렌기의 길이가 다른 palmitic acid(C_{16}), stearic acid(C_{18}), arachidic acid(C_{20})를 시료로 하여 LB막을 제작하였다. 그리고, 지방산계 LB막의 수직 방향에 대한 전기적 특성을 측정하여, 각각의 지방산계 물질의 전기전도도가 약 $10^{-13} \sim 10^{-15}$ [S/cm]로서 절연성임을 확인하였다. 또한, Schottky 특성으로부터 얻은 전위장벽은 약 1.32~1.40[eV]이고, 비유전율은 2.9~4.2이었다.

2. 실험 방법

지방산계 LB막의 누적을 확인하기 위하여 LB막의 정전용량을 측정하였다. LB막 소자는 진공증착

기를 사용하여 6×10^{-5} [Torr]의 진공도에서 유리 기판 위에 Al 전극을 증착한 후 그림 1 (a)와 같은 MIM 소자를 제작하였다. 정전용량은 임피던스 분석기(HP 4192A LF)를 사용하여 측정하였다.

또한, LB막의 전기적 특성은 그림 1 (b)와 같은 회로를 구성하여 측정하였다. 하부전극은 공통으로 하였고 상부전극은 4개의 단자로 하여 데이터의 신뢰성을 높였다. 또한, 외부잡음을 제거하기 위하여 LB막을 Al 차폐함내에 설치하였다. 전류계는 내부 임피던스가 10^{15} [Ω]인 Keithley 6517를 사용하였으며, 전압-전류 특성은 전압을 0.1[V]씩 인가하면서 약 1분후에 전류가 안정되었을 때 측정하였다.

3. 결과 및 검토

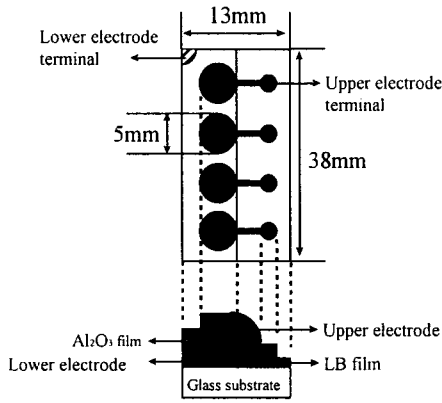
3.1 LB막의 누적 확인

그림 1 (a)와 같은 구조의 시료에서 전기적 등가 회로는 LB막과 Al_2O_3 산화막이 직렬로 연결된 평행

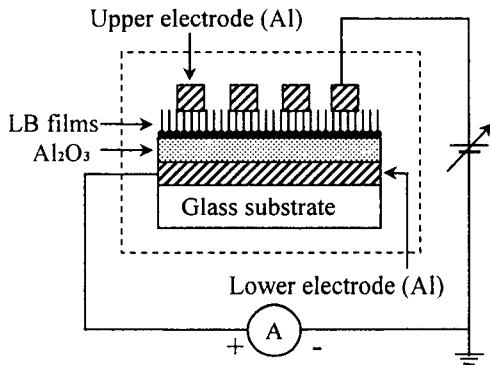
평판 콘덴서와 같이 생각할 수 있으므로, LB막의 누적층수 N 과 정전용량의 역수 $1/C$ 사이에는 식 (1)과 같은 관계가 있다¹²⁾.

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{OX}} + \frac{1}{C_{LB}} \cdot N = \frac{1}{\epsilon_o \cdot S_o} \left(\frac{d_{OX}}{\epsilon_{OX}} + \frac{d_{LB}}{\epsilon_{LB}} \cdot N \right) \quad (1)$$

여기서, ϵ_o 는 진공중의 유전율, S_o 는 전극면적(0.2 [cm²]), d_{OX} 는 Al₂O₃의 두께(30[Å]), ϵ_{OX} 는 Al₂O₃의 비유전율(8), d_{LB} 는 LB막의 두께, ϵ_{LB} 는 LB막의 비유전율 및 N 은 LB막의 누적층수이다.



(a) MIM device



(b) Measuring circuit

Fig. 1. Schematic diagram of sample.

그림 2는 C₂₀, C₁₈, C₁₆ LB막의 누적층수에 따른 정전용량의 역수를 나타낸 것으로서, 누적층수가 증가함에 따라 정전용량의 역수가 증가하고 있다. 또한, 지방산계 사슬의 길이가 짧을 수록 동일 층수에 대해서 정전용량의 역수가 크다. 이것은 식 (1)을 만족하는 결과로서, LB막의 누적이 양호함을 알 수 있다.

또한, 0층일 때 정전용량의 역수는 $2 \times 10^6 [F^{-1}]$ 정도를 나타내고 있는데, 이것은 Al₂O₃ 산화막에 의한 것으로 생각된다. 그리고, 식 (1)에 의하여 구한 C₂₀, C₁₈, C₁₆ LB막의 비유전율은 각각 2.4~3.0, 2.7~3.2, 3.0~3.6 정도이며, M. Sugi¹¹⁾가 얻은 값인 2.5, 2.6, 2.9 정도와는 약간의 차이를 나타내고 있다.

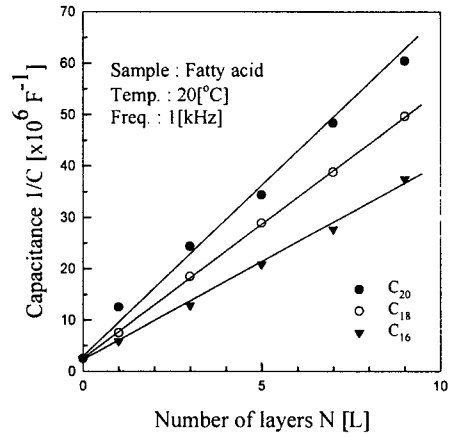


Fig. 2. Relationship between capacitance and number of layers according to the chain length of fatty acid.

3.2 전기적 특성

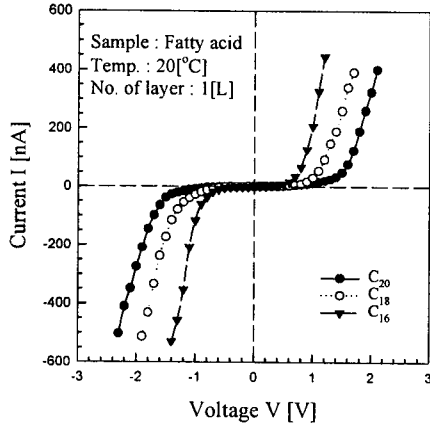
그림 3 (a)는 C₂₀, C₁₈, C₁₆ 1층 LB막의 전압-전류 특성을 나타낸 것으로서, 지방산계 사슬의 길이가 증가함에 따라 LB막의 저항이 증가하여 동일 전압에 대해서 전류가 낮아지고 있다. 그리고, LB막의 절연과피가 발생하는 전계의 세기는 약 $3 \sim 5 \times 10^6 [V/cm]$ 이었다.

한편, LB막의 전압-전류 특성으로부터 저항 R 을 구하여 전기전도도 σ 를 계산하면 식 (2)와 같다¹³⁾.

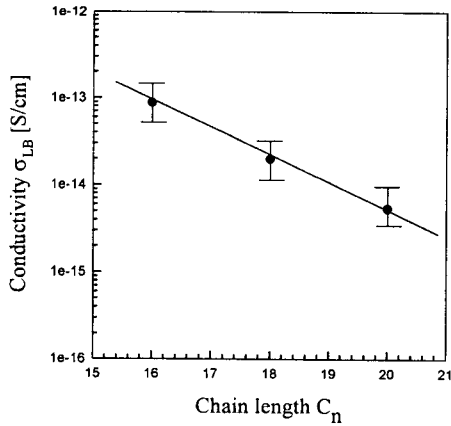
$$\sigma = \frac{d_{OX} + d_{LB} \cdot N}{R \cdot S_o} \quad (2)$$

그림 3 (b)는 그림 3 (a)의 Ohm 영역에서 식 (2)에 의하여 구한 전기전도도 σ 를 나타낸 것이다. 그림 3 (b)에서 지방산계 사슬의 길이에 따라 C₂₀, C₁₈, C₁₆ LB막의 전기전도도는 각각 5×10^{15} , 3×10^{14} , $9 \times 10^{14} [S/cm]$ 정도로서 절연체성을 나타내었다. 이 결과는 M. Sugi¹¹⁾가 Al 전극에 대하여 얻은 결과인 $10^{16} \sim 10^{15}$, 10^{14} 및 $10^{13} [S/cm]$ 와 일치하는 결과이다.

또한, 그림 3 (b)에서 지방산계 사슬의 길이가 증가함에 따라 전기전도도는 감소하고 있다. 이것은 식 (2)에서 동일 전압 V 와 S_0 에 대해서 LB막 사슬의 길이 d_{LB} 또는 누적층수 N 이 증가하면 R 이 커져 전기전도도가 작아지는 결과로부터 이해할 수 있다.



(a) I-V characteristics of fatty acid LB films.



(b) Conductivity of fatty acid LB films.

Fig. 3. Electrical characteristics.

그림 4는 그림 3 (a)의 전압-전류 특성을 Schottky plot한 것으로서, Y축 절편의 전류값(I_0)을 이용하여 Schottky 장벽의 높이를 식 (3)에 의하여 계산할 수 있다^[4].

$$\phi_D = (kT \cdot \ln \frac{AT^2}{I_0 S_0})/e \quad (3)$$

여기서, A 는 Richards 정수, T 는 300[K], S_0 는 0.2

[cm]이다. 식 (3)에 의하여 지방산계 사슬의 길이에 따라 계산된 C_{20} , C_{18} , C_{16} LB막의 Schottky 장벽의 높이는 각각 1.39, 1.36, 1.32[eV] 정도이었다. 이와 같이 지방산계 사슬이 길수록 Schottky 장벽의 높이가 큰 것은 저항이 증가하여 Schottky 장벽의 높이가 커진 것으로 생각된다.

한편, Schottky 전류 I 는 식 (4)와 같다^[4].

$$I = AT^2 \exp[-(\phi_D - \sqrt{e^3 E / 4\pi \epsilon_0 \epsilon_{LB} / kT})] \quad (4)$$

또한, 본 논문에서 LB막 소자의 측정 결과, Al_2O_3 산화막의 저항을 ρ_{OX} 는 LB막의 저항을 ρ_{LB} 과 비교하여 매우 작으므로 무시할 수 있다. 따라서, 전계 E 를 인가전압 V 로 생각할 수 있으므로 식 (4)는 (5)와 같이 나타낼 수 있다^[2].

$$\ln I \sim V^{1/2} \quad (5)$$

그림 4는 식 (5)의 직선 관계를 만족시키고 있다. 또한, 그림 4의 직선의 기울기로부터 식 (6)에 의하여 비유전율 ϵ_{LB} 를 구할 수 있다.

$$\epsilon_{LB} = \frac{e^3 E}{4\pi \epsilon_0 (kT \cdot \ln \frac{I}{AT^2} + \phi_D)^2} \quad (6)$$

식 (6)에 의하여 ϵ_{LB} 를 구하면 C_{20} , C_{18} , C_{16} LB막에 대해서 각각 2.9~3.5, 3.2~3.8, 3.7~4.2 정도가 된다. 이것은 정전용량으로부터 얻은 값과 유사한 결과이다. 따라서, 그림 3 (a)에서 측정된 전류는 Schottky성의 전도가 지배적인 것으로 생각된다.

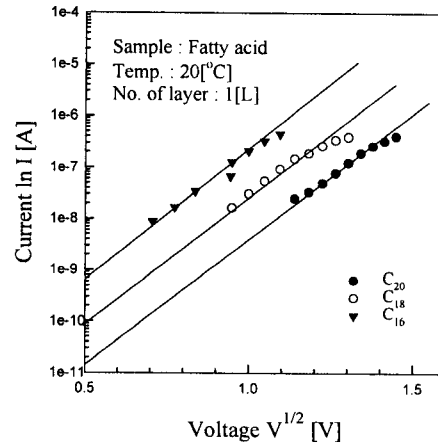


Fig. 4. Schottky plot for I-V characteristics.

4. 결 론

본 논문에서는 지방산계를 시료로 하여 LB막을 제작하였으며, 이의 전기적 특성을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 지방산계 LB막의 누적층수에 따른 정전용량을 측정된 결과 누적층수가 증가함에 따라 정전용량의 역수가 선형적으로 증가하였다. 따라서 지방산계 LB막이 양호하게 누적되었음을 확인할 수 있었다.

둘째, 지방산계 사슬의 길이에 따른 C_{20} , C_{18} , C_{16} LB막의 전기전도도는 각각 5×10^{15} , 3×10^{14} , 9×10^{14} [S/cm] 정도로서 절연체성을 나타내었다. 이것은 M. Sugi가 얻은 값과 일치하는 결과이었다.

셋째, 지방산계 사슬의 길이에 따라 계산된 C_{20} , C_{18} , C_{16} LB막의 Schottky 장벽의 크기는 각각 1.39, 1.36, 1.32[eV] 정도이었다.

넷째, Schottky 전류식에서 ϵ_{LB} 를 구하면 C_{20} , C_{18} , C_{16} LB막에 대해서 각각 2.9~3.5, 3.2~3.8, 3.7~4.2 정도이며, 이것은 정전용량으로부터 얻은 결과와 유사한 값이었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 (과제번호 : 97-01-01-07-01-5) 연구비의 지원에 의해서 수행되었음

[참 고 문 헌]

- [1] 福田清成, 杉道夫, 雀部博之, LB膜とエレクトロニクス, CMC, 1986.
- [2] 유 승엽, 정 상범, 박 재철, 권 영수, "말레이에트계 공중합체 LB막 MIM소자의 전기 및 유전 특성", 대한전기학회 논문지, 제46권, 8호, p. 1184, 1997.
- [3] 권 영수 외 4명, "LB초박막의 누적 기술과 이방성 전기 전도", 대한전기학회 논문지, 40, pp.82~90, 1991.
- [4] S. M. Sze, Physics of Semiconductor Devices, John Wiley & Sons, New York, 1981.