

## A Study on Displacement Current Characteristics of DLPC Monolayer ( I )

宋 鎭 沅\* · 崔 龍 成† · 李 炘 燮\*\*

(Jin-Won Song · Yong-Sung Choi · Kyung-Sup Lee)

**Abstract** - LB method is one of the most interesting technique to arrange certain molecular groups at precise position relative to others. Also, the LB deposition technique can fabricate extremely thin organic films with a high degree of control over their thickness and molecular architecture. In this way, new thin film materials can be built up at the molecular level, and the relationship between these artificial structures and the properties of materials can be explored. In this paper, evaluation of physical properties was made for dielectric relaxation phenomena by the detection of the surface pressures and displacements current on the monolayer films of phospholipid monomolecular DLPC. Lipid thin films were manufacture by detecting deposition for the accumulation and the current was measured after the electric bias was applied across the manufactured MIM device. It is found that the phospholipid monolayer of dielectric relaxation takes a little time and depend on the molecular area. When electric bias is applied across the manufactured MIM device by the deposition condition of phospholipid mono-layer, it wasn't breakdown when the higher electric field to impress by increase of deposition layers.

**Key Words** : Dielectric relaxation phenomena, Surface pressures, Displacements current, Monolayer films, Phospholipid monomolecular DLPC, Lipid thin film, MIM device

## 1. 서 론

유기나노박막은 기존의 무기물을 재료로 하는 소자에 비해서 여러 가지 장점을 가지고 있으며 도전성, 광도전성, 절연성, 그 밖에도 많은 기능성에 대한 연구가 이루어지고 있다 [1-3]. 이미 여러 가지 단백질이나 효소, 인지질, 지방산 등은 합성이 가능하며, 이중 인지질은 기본 구조가 지방산과 비슷한 소수기 알킬체인과 친수기인 카르복실기로 결합된 형태로 인지질과 지방산의 차이점은 친수기에 인산이 연결되어 있다는 점이다. 생체막의 전기적 특성에 대하여 발표된 연구는 지방산을 절연체로 이용한 캐패시터에 대한 결과가 있는데 소수기 알킬체인의 수가 많을 수록 내열성과 강도가 커지며 좋은 전기적 특성을 가질 수 있음을 알 수 있다 [4-10].

대표적인 절연재료는 Polyimide를 들 수 있는데, 1983년 Batey는 MIM (Metal-Insulator-Metal) 구조에서 단위면적당 캐패시턴스의 역수는 단분자층의 수에 비례함을 보여주었으며 이 결과를 이용하여 자연산화막 등의 미지의 수를 계산하여 추측할 수 있는 계기가 되었다 [11]. 또한 유기나노박막을 유전체로 사용할 경우에 두께가 작기 때문에 큰 정전용량을 가질 수 있으며, 이러한 유기나노박막은 높은 유전성을 나타내어 압전효과의 가능성을 보여주고 있다 [12].

따라서 본 연구에서는 유기나노박막의 도전성, 유전성, 절

연성 등의 나노소자로서의 가능성을 조사하기 위하여 전기적 특성에 대하여 검토하였다. 이를 구체적으로 제시하면, 유기나노박막의 전기적 특성은 인지질계 단분자인 DLPC (L- $\alpha$ -Dilauroolphosphatidylcholine) 유기단분자막을 이용하여 외부자력에 따른 변위전류법과 유전완화현상으로 물성평가와 누적 충수에 따른 MIM (Metal-Insulation-Metal) 구조의 디바이스를 제작하고 여기에 전압을 인가시켜 전류를 측정하여 전기적 특성을 연구하였다.

## 2. 시료 및 실험 방법

## 2.1 시료

본 연구에서는 인지질계 분자 L- $\alpha$ -Dilauroolphosphatidylcholine(DLPC)를 이용하여 유기나노박막의 기능성에 대하여 연구하였다. 인지질계 분자인 DLPC는 인산염 지르코린의 약어이고, DLPC의 D는 두개의 체인 L은 lauryl(12:0)로서 C<sub>12</sub>를 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 분자를 포함하고 있는 인산염 지르코린은 동물세포에 있어서 자주 볼 수 있는 지질 가운데 하나이다.

본 연구에서는 알킬체인이 2개인 지방질의 소수기와 인산에스테르, choline기를 포함한 친수성의 양친매성 물질로 구성된 DLPC는 클로르포름을 용매로 하여 0.2[mmol]의 농도로 조성하여 순수 (pH 6)에 전개하였다. 시료의 분자구조는 그림 1에 나타내었다.

\* 正 會 員 : 韓 國 機 械 研 究 院 研 究 員 · 工 博

\*\* 正 會 員 : 東 新 大 學 校 電 氣 工 學 科 教 授 · 工 博

† 교신저자, 正會員 : 東 新 大 學 校 電 氣 工 學 科 教 授 · 工 博

E-mail : yschoi67@dso.ac.kr

接受日字 : 2006年 11月 8日

最終完了 : 2006年 11月 20日

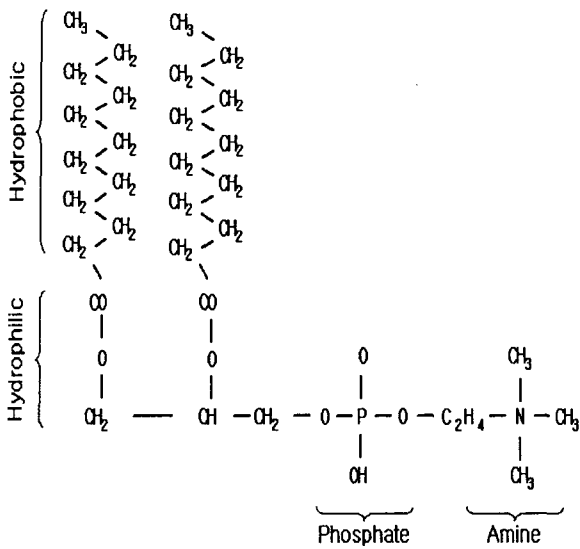


그림 1 L-α-Dilauroyl Phosphatidylcholine (DLPC)의 분자 구조  
Fig. 1 Molecule structure of L-α-Dilauroyl Phosphatidylcholine (DLPC)

2.2 측정 장치

수면위 유기단분자막의 표면압 및 변위전류와 쌍극자 모멘트 측정 시스템으로 LB trough, LB 제어기, 그리고 전압·전류계, LCZ 미터, 정수기, 온도 제어기 및 컴퓨터 등으로 구성되어 있다.

측정된 전류는 미소전류이므로 전압·전류계는 고감도전류계 (Keithley617)를 이용하였다. trough는 한 개의 가동 베리어에 의해서 유효면적을 바꿀 수 있으며, trough 전체를 알루미늄 급속으로 덮어 전기적으로 차폐 하였다. 전류가 흐르는 방향은 상부전극에서 하부전극으로 흐르는 방향을 양으로 하였다.

하부전극은 수중에 설치되어 있고 상부전극은 합성석영기판에 In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 또는 SnO<sub>2</sub>를 증착해서 만들어진 투명전극이고 광자력에 의한 변위전류의 측정도 가능하다. 전극에서는 주변의 영향을 없애기 위해 접지된 금속체에 실드를 하였다. trough 오른쪽에 Wilhelmy형 표면압계에 의해 변위전류 검출과 함께 표면압의 측정을 할 수 있도록 되어 있으며 측정된 전류는 fA이므로, 접지나 대전에 대해서 충분히 주의할 필요가 있어 상부전극과 고감온도계를 연결할 동축케이블은 되도록 짧게 하여 노이즈를 줄이도록 하였다. 케이블에 대한 압박과 굴절의 stress도 수백 fA의 노이즈가 되기 때문에 주의하였으며 그림 2는 측정시스템의 개략도이다.

2.3 전극

투명 상부전극은 산화인듐(In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:ITO)이 증착된 유리를 사용하였다. 측정되어지는 전류는 미소전류이기 때문에 외관 방지를 위하여 알루미늄을 사용하여 차폐하였으며 trough에 탈착이 용이하도록 하였다. 하부전극은 금선을 원형으로 균일하게 감아 수중에 설치하였다. 전극의 규격은 표 1과 같다.

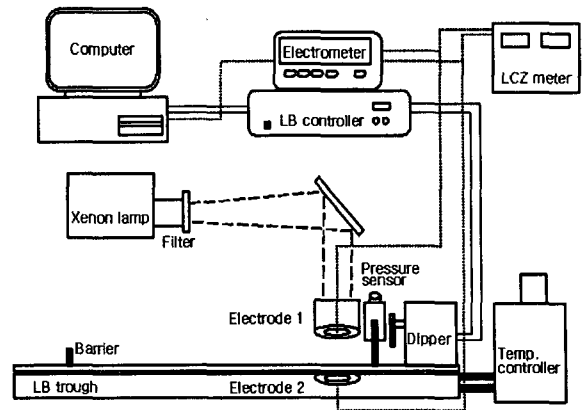


그림 2 수면위 단분자막의 변위전류측정 시스템  
Fig. 2 Displacement current measurement system of monolayer films on air/water surface

표 1 전극의 규격

Table 1 Standard of electrode

	Type	Matter
Electrode 1	Circle type(45.6cm <sup>2</sup> )	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> or SnO <sub>2</sub>
Electrode 2	Line type	Au

2.4 LCZ meter

캐피시턴트 C를 측정하여 수면과 전극과의 간격을 조절하였으며 거리는 LCZ 미터를 이용하여 약 1 [mm] 정도로 조정하였다.

2.5 변위전류측정계

전류계 (Keithley-6517)에서 측정된 변위전류는 GPIB를 통하여 컴퓨터에 전송된다. 표면압의 변화는 LB trough의 제어기에서 컴퓨터에 전송되고 베리어의 동작방향과 속도의 제어 정보는 컴퓨터에서 LB trough 제어기로 전송되며 LB trough 제어기는 베리어용 모터를 구동시킨다. 전류계에서 측정된 변위전류는 컴퓨터 내에 time count에 따른 시간으로 적분하여 유기전하량 및 데이터로 기록된다.

2.6 광원

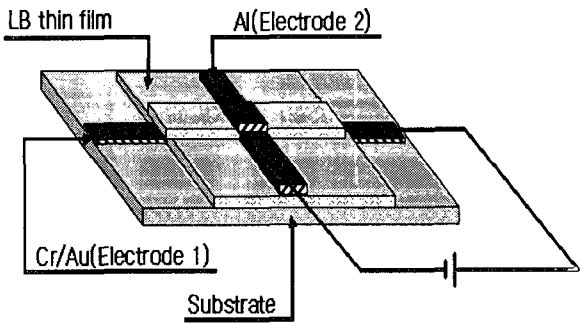
수면위 유기단분자막과 제작된 LB초박막 스위칭 디바이스에 광 자력을 인가시키기 위한 광원으로서는 500[W] 제논 램프 (Usio제)에 자외광 (λ<sub>1</sub>=365[nm])과 가시광 (λ<sub>2</sub>=450[nm])의 필터를 이용하여 광을 조사하였다.

2.7 MIM 구조 및 I-V특성 측정계

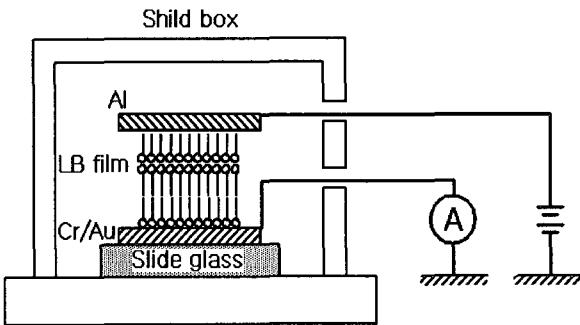
그림 3 (a)는 본 연구에서 제작한 MIM (Metal-Insulation-Metal) 구조의 디바이스이다. 사용된 기판은 slide glass (13×38×1mm)이며, Cr과 Au를 하부전극으로 2.1×10<sup>-5</sup> [ Torr ]에서 증착한 후 친수처리를 하였고 수면위에 시료를 전개한 후 약 10분 정도의 안정시간을 유지한 후 베리어 속도 20[mm/min], dipper speed up - 5[mm/min], down -

8[mm/min]의 속도로 압축하여 제작하였으며 상부전극으로는 Au를  $2.3 \times 10^{-5}$ [Torr]에서 진공 증착하였다. MIM 구조에서 단위면적당 캐패시턴스의 역수는 단분자층의 수에 비례하고 LB법으로 제작된 박막은 유전체로서 사용할 경우 두께가 작기 때문에 큰 정전용량을 가질 수 있으나 생체막의 경우 제작조건이 잘 설정되어야 다층제작이 가능하게 된다.

그림 3 (b)는 제작된 MIM구조 디바이스의 I-V측정을 위한 측정시스템이다. MIM구조의 디바이스를 알루미늄 실드 박스에 장착하였으며 전압·전류계 (Keithley Instruments, Ins., model 6517)를 사용하여 측정하였다.



(a) MIM 구조



(b) I-V특성 측정

그림 3 측정 시스템

Fig. 3 Schematic diagram for Measurement

### 3. 결과 및 검토

#### 3.1 인지질 단분자막의 압력자력에 의한 변위전류

그림 4는 압축과정에 있어서 분자의 배향특성을 알아보기 위해 수면위에 분자를 비교적 많이 전개하여 실험한 결과이다. 압축이 시작되었을 때인 I 영역은 표면압이 변화하지 않는 기/액 상태로 배리어의 압축에 의해 분자들이 주변 분자의 영향을 받아 쌍극자 모멘트의 발생과 함께 변위전류가 발생하였으며, 쌍극자 모멘트는 변위전류의 변이형태와 잘 일치함을 알 수 있다. II 영역은 액상상태로 표면압이 증가하여도 쌍극자 모멘트는 거의 평형을 유지하는 단일 액상상태로 DLPC는  $89[\text{\AA}^2]$ 에서 표면압이 발생하였다. III 영역은 분자 구조의 배향성이 흐트러져 막이 붕괴되는 상태로 변위전류는 거의 0이 되었다.

#### 3.2 인지질 단분자막의 압력자력에 따른 표면압, 변위전류, 쌍극자모멘트

그림 5 (a)는 DLPC 유기단분자를 수면에 전개시킨 후 압력자력 속도에 따라 barrier를 압축시켰을 때 분자점유면적에 대한 표면압, 변위전류 및 쌍극자모멘트의 결과이다. 수면위에 분자를 비교적 많이 전개하여 자력속도(30, 40, 50[mm/min])에 의한 변위전류의 발생지점을 관측한 실험 결과이다. DLPC의 경우 변위전류는 30[mm/min]일 때  $130[\text{\AA}^2]$  40[mm/min]일 때  $129[\text{\AA}^2]$  50[mm/min]일 때  $127[\text{\AA}^2]$  부근에서 발생하기 시작하였으며 자력속도 30[mm/min]일 때  $119[\text{\AA}^2]$  부근에서  $160[\text{fA}]$  40[mm/min]일 때  $116[\text{\AA}^2]$  부근에서  $220[\text{fA}]$  50[mm/min]일 때  $112[\text{\AA}^2]$  부근에서  $270[\text{fA}]$ 의 피크값이 나타났으며, 낮은 압력의 경우에서와 같이 압력 자력속도가 빠를수록 변위전류의 최대값이 크게 발생되었음을 알 수 있다.

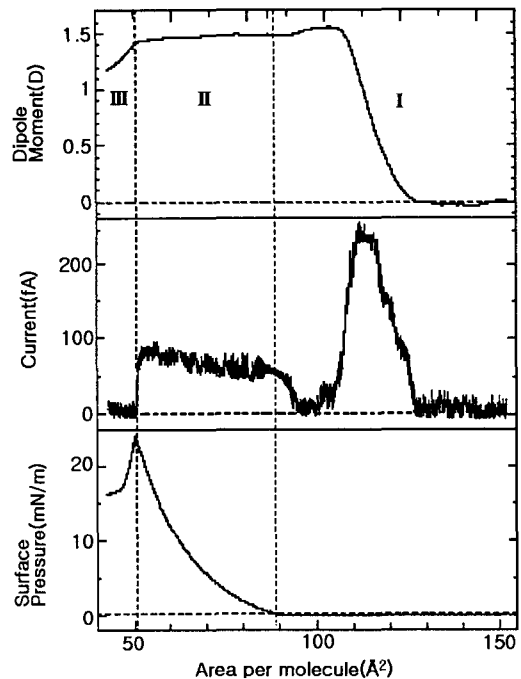


그림 4  $\pi$ -A, I-A, D-A 특성 (DLPC)

Fig. 4 Characteristics for  $\pi$ -A, I-A, D-A (DLPC)

그림 5 (b)는 DLPC 유기단분자에 barrier를 압축과 확장시 표면압, 변위전류 및 쌍극자 모멘트 결과이다. DLPC의 경우 적은 전개량에서 barrier 압축과 확장시 변위전류의 발생지점은 각각 30[mm/min]일 때  $160[\text{\AA}^2]$ ,  $98[\text{\AA}^2]$ , 40[mm/min]일 때  $159[\text{\AA}^2]$ ,  $90[\text{\AA}^2]$ , 50[mm/min]일 때  $153[\text{\AA}^2]$ ,  $90[\text{\AA}^2]$ 이었고 많은 전개량에서 변위전류의 발생지점은 각각 30[mm/min]일 때  $131[\text{\AA}^2]$ ,  $69[\text{\AA}^2]$ , 40[mm/min]일 때  $128[\text{\AA}^2]$ ,  $66[\text{\AA}^2]$ , 50[mm/min]일 때  $127[\text{\AA}^2]$ ,  $65[\text{\AA}^2]$ 이다. 각각의 인지질단분자막에 외부 자력을 가하기 위하여 barrier를 역으로 변화시켜도 단분자막의 제거가 가능하다는 것을 알 수 있었고, 압축속도에 따라 변위전류는 최대값을 지난 후 급격하게 떨어져 잠시 일정한 영역이 존재하고, 전류값은 0이 되고 있으며, 쌍극자 모멘트 역시 압축속도에 따라 변위전류의 변이와 더불어 직선적으로 변화하고, 전류값이 0이

되는 지점에서 일정한 값을 갖고 있다. 결국 이 지점에서 변위전류는 평행상태에 도달해 있음을 관측할 수 있다. 쌍극자모멘트는 각각의 속도에 의하여 변위전류가 발생하는 지점에서 발생하기 시작하였고 표면압도 속도에 의해 막이 붕괴된 후 확장시 barrier 속도가 빠른 쪽이 분자의 회전운동이 빠르다는 것을 알 수 있었으며 유기단분자막의 완전붕괴는 이루어지지 않고 표면압의 히스테리시스 곡선으로 보아 일정한 재현성을 확인할 수 있다.

**3.3 인지질 단분자막의 유전완화시간**

그림 5에서 알 수 있듯이, 압축에 따라 변위전류가 흐르고 전류값이 피크를 지난 후 급격히 떨어져서 잠시 일정한 값을 갖는 영역이 존재하고 그 후 전류값은 0이 되고 있다. 일정 시간이 경과 후에 시간적 변화가 없는 평행상태를 보인다. 이와 같이 시간에 의해서 비평형상태에서 평행상태로 변화하는 경우의 과정이 유전완화현상이다 [13, 14].

그림 6 (a)의 쌍극자모멘트 측정 결과로부터 압축속도 의존성을 확인할 수 있다. 이들의 결과에서 압축속도가 낮은 쪽이 빠른 쪽보다도 완화하는데 필요한 시간이 길기 때문에 분자가 보다 더 배향하여 그 결과 점유면적이 큰 영역으로부터 많은 전류가 흐르고 있다고 예상되며, 압축 속도가 빠른 경우 분자의 배향은 점유면적이 작은 영역에서 일어나고 있는데 이는 점유면적이 작아짐에 따라 유전완화시간은 짧아진다고 할 수 있다. 그림 6에서의 실험결과와 같이 확장시에도 압력속도가 빠른 쪽이 보다 빠르게 탈분극하고 있는 것을 볼 수 있었는데 이는 압축과정에서의 마찬가지로 속도가 낮은 쪽이 빠른 쪽보다 완화하는데 필요한 시간이 길어진다는 것을 알 수 있다.

유기단분자의 유전완화시간을 계산한 결과를 그림 6 (b)에 나타내었다. 유전완화시간  $\tau$ 는 DLPC 유기단분자막의 경우 분자 점유면적  $50[\text{Å}^2]$ 일 때  $0.488[\text{s}]$ ,  $100[\text{Å}^2]$ 일 때  $1.106[\text{s}]$ ,  $150[\text{Å}^2]$ 일 때  $1.96[\text{s}]$ ,  $200[\text{Å}^2]$ 일 때  $3.446[\text{s}]$ 의 시간이 소요됨으로 분자 점유면적에 의존한 것을 알 수 있다.

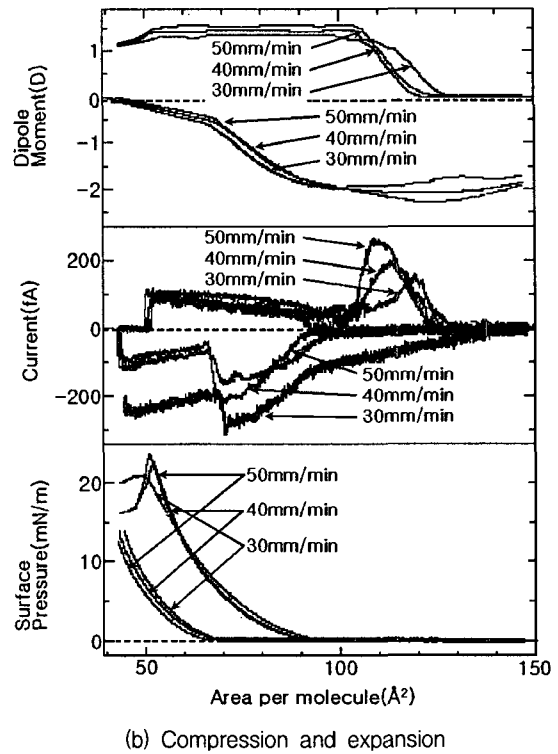
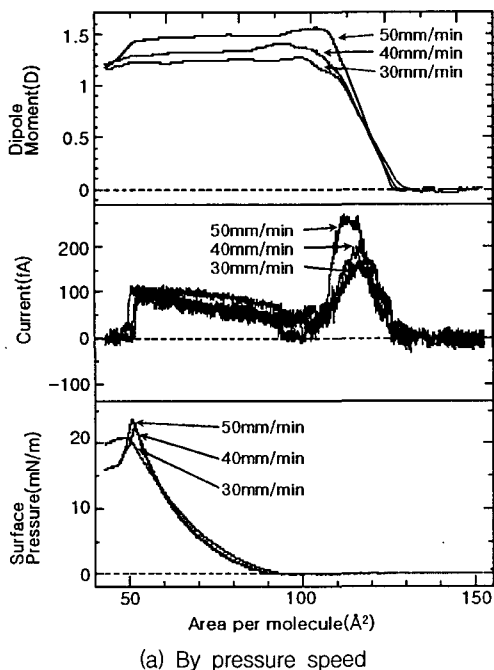


그림 5  $\pi$ -A, I-A, D-A 특성 (DLPC)  
Fig. 5 Characteristics for  $\pi$ -A, I-A, D-A (DLPC)

그림 6 DLPC의 쌍극자모멘트 및 유전완화시간  
Fig. 6 Dipole moment and Dielectric relaxation time for DLPC

3.4 인지질 MIM 소자의 전압-전류 특성

그림 7은 Y-type으로 각각 1층, 3층, 5층을 제작한 MIM 소자 즉, Al/DLPC/Au 소자에 ±2V 범위에서 0.1V씩 전압을 승압 및 감압하여 검출된 전압-전류 특성이다. 제작된 디바이스에 전압 인가시 전하의 축적에 기인한 누설전류를 고려하여 1분 정도의 안정시간을 가진 후 전류를 측정하였다. 인가전압에 대해 전류값은 누적층수가 많을 수록 동일한 인가전압에서 발생하는 전류의 크기가 작게 나타남을 알 수 있었다. 또한, 누적층수가 적을 수록 지수함수적으로 전류가 증가하였으나 누적층수가 많을수록 곡선은 직선적인 ohmic 특성을 나타내었다. 이는 LB초박막의 누적층수가 많을수록 저항이 증가한다는 것을 나타내며 누적층수가 증가하여 전극간의 거리가 멀어질수록 더 높은 전계에서도 파괴되지 않는 절연특성이 나타남을 알 수 있었다.

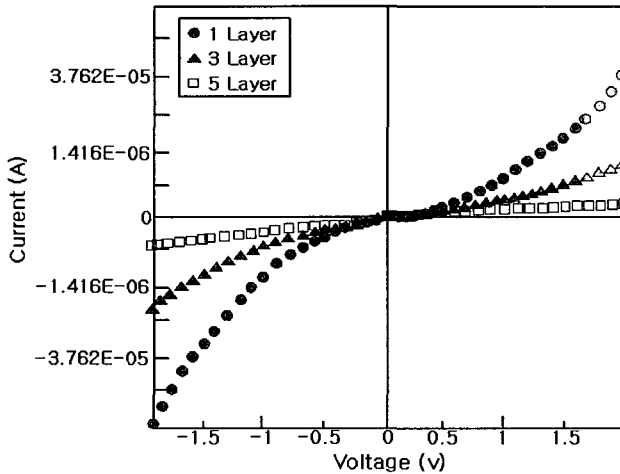


그림 7 I-V 특성  
Fig. 7 I-V properties

4. 결 론

본 연구에서는 유기나노박막의 기초물성으로 인지질계 유기단분자인 DLPC에 압력자력에 의한 표면압, 변위전류를 검출하여 유전완화현상에 대한 물성평가를 하였고, 유기나노박막을 이용한 전기·전자소자를 제작하기 위한 제작조건을 검출하였으며 제작된 MIM소자의 전기특성을 측정하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 유기 나노박막의 물성을 관측한 결과, 압력자력에 의하여 인지질계 유기단분자막과 기능성 유기단분자막의 분자 점유면적당 변화되는 표면압, 변위전류, 쌍극자모멘트의 변이형태가 매우 일치함을 알 수 있었다.
2. 인지질계 유기단분자의 제작조건에 의해 제작된 MIM 소자에 전압을 인가시 LB막의 누적층수가 증가할수록 저항이 증가하였으며, 이는 두께가 증가하여 전극간의 거리가 멀어질수록 더 높은 전계에서도 파괴되지 않는 절연특성을 갖는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] Hans Kuhn, "Present status and future prospect of LB film research", 89 Fourth international conference on LB films, pp.2~3, 1989.
- [2] L.S.Miller, D.J.Walton, P.J.W.Stone, A.M.McRoberts, R.S. Sethi, "Langmuir Blodgett films for nonlinear optical applications", Journal of materials science materials in electronic, pp. 75~82, 1994.
- [3] S.Carrara, A.Gussoni, V.Erokhin, C.Nicolini, "On the degradation of conducting Langmuir Blodgett film", Journal of materials science materials in electronic vol. 6, pp. 79~ 83. 1995.
- [4] J.Zhen, C.Lin, J.s.Men, T.L.Wei, Y.Wei, "Surface state density distribution in band gap of metal/LB Films/Semiconductor structure", 89 Fourth international conference on LB films, pp.388~389, 1989.
- [5] M.Iwamoto, A.Fukuda. "Charge storage phenomena and I-V characteristics observed in ultrathin polyimide Langmuir Blodgett films", Jpn. J. Appl. Phys. vol. 31, pp. 1092~1096. 1992.
- [6] Masuo Aizawa, Koji Owacu, Mieco Matsuzawa, Hiroaki Shinohara, Yoshihito Ikariyama, "Molecular film technology for bio sensor", 89 Fourth international conference on LB films, pp.176~177, 1989.
- [7] M.K.Ram, R.Gowri, B.D.Malhotra, "Electric properties of metal/Langmuir-Blodgett(Polymeraldine base)layer/metal device", Journal of applied polymer science, vol 63. pp. 141~145, 1997.
- [8] M.Iwamoto, T.Sasaki, "Thermally stimulated discharge of Au/LB/Air-Gap/Au structures incorporaying Cadmium Arachidate Langmuir Blodgett films", Jpn. J. Appl. Phys. vol. 29, pp. 536~539, 1990.
- [9] M. Iwamoto, S.Shidoh, T.Kubota, M. Sekine, "Electric properties of Langmuir Blodgett films sandwiched between Pb-Bi superconducting electrodes", Jpn.J.Appl.Phys., vol. 27. pp. 1825~1830, 1988.
- [10] Tohru Kubota, Mitsumasa Iwamoto, Hideyuki Noshiro, Matsuo Sekine, "Josephson junctions using polyimide Langmuir Blodgett films with a Nb/Au/PI/(Pb-Bi) structure", Jpn.J.Appl.Phys., vol. 30. pp. 393~395, 1991.
- [11] Michael C. Petty, "Langmuir Blodgett films an introduction, London, Cambridge University Press, 1966, pp. 42~64.
- [12] G.G.Roberts, T.M.McGinnity, P.S.Vincett, W.A.Barlow, "AC and DC conduction in lightly substituted anthracen Langmuir films", Thin solid films, vol. 68, pp. 223~232, 1980.
- [13] 이정섭 외 6인, "유기된 변위전류의 2차 전이특성", 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp. 1693-1695, 2000.
- [14] Satoru Isoda, Yoshio Hanazato, Kouichi Akiyama, Satoshi Nishikawa, Satoshi Ueyama, "Photoelectric properties based on photo-induced electron transfer processes in flavin.porphyrin hetero-type Langmuir-Blodgett films", Thin Solid Films 441, 277~283, 2003.

**감사의 글**

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 전력산업 기초  
인력양성사업 (I-2006-0-092-01)에 의해 작성되었습니다.

**저 자 소 개**



**송진원 (宋鎭沅)**

1974년 4월 25일생. 1999년 동신대학교  
전기전자공학과 졸업 (학사). 2001년 동  
대학원 전기전자공학과 졸업 (석사).  
2005년 동 대학원 전기전자공학과 졸업  
(공박). 2005년~현재 한국기계연구원 연  
구원.

Tel : 042-868-7858

Fax : 042-868-7123

E-mail : jwsong@kimm.re.kr



**최용성 (崔龍成)**

1967년 11월 14일생. 1991년 동아대학교  
전기공학과 졸업 (학사). 1993년 동 대학  
원 전기공학과 졸업 (석사). 1998년 동  
대학원 전기공학과 졸업 (공박). 1999  
년~2001년 JAIST Post-Doc.. 2001년~  
2003년 Osaka Univ. Post-Doc.. 2002  
년~2005년 원광대학교 연구교수. 2006  
년~현재 동신대학교 전기공학과 교수.

Tel : 061-330-3204

Fax : 061-330-3204

E-mail : yschoi67@dsu.ac.kr



**이경섭 (李炅燮)**

1956년 11월 09일생. 1983년 조선대학교  
전기공학과 졸업(학사). 1986 동 대학원  
전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학  
원 전기공학과 졸업(공박). 1988년~현재  
동신대학교 전기공학과 교수. 1994년~  
1995년 동경공업대학 객원연구원.

Tel : 061-330-3203

Fax : 061-330-2909

E-mail : kslee@dsu.ac.kr