

# Polyimide초박막의 전기인가에 따른 전기특성

## Electrical Properties by Applied Electric Field of Polyimide Ultra Thin Films

최영일 조선이공대학 전자과  
\*전동규 동신대학교 대학원 전기전자공학과  
구할본 전남대학교 공과대학 전기공학과  
김철 한국통신 전남본부  
권영수 동아대학교 공과대학 전기공학과  
이경섭 동신대학교 공과대학 전기전자공학과

Y. I. Choi Electronic of Chosun Scientific & Technology college  
\*D. K. Chon Dept. of Electrical & Electronic Eng. Dongshin Univ., grad.  
H. B. Koo Dept. of Electrical Eng. Chonnam Univ.  
C. Kim Chonnam Headquarters of Korea Telecom  
Y. S. Kyun Dept. of Electrical Eng. Donga Univ.  
K. S. Lee Dept. of Electrical & Electronic Eng. Dongshin Univ.

### Abstract

We give pressure stimulation into organic thin films and detect the induced displacement current, then manufacture a device under the accumulation condition that the state surface pressure is 15[mN/m]. In processing of a device manufacture, We can see the process is good from the change of a surface pressure for organic thin films and transfer ratio of area per molecule. The structure of manufactured device is Au/organic thin films(polyimide)/Au, the number of accumulated layers are 31, 35, and 41. I-V characteristic of the device is measured from 0[V] to +5[V]. The maximum value of measured current is increased as the number of accumulated layers are decreased. The resistance for the number of accumulated layers, the energy density for an input voltage show desired results, and the insulation of a thin film is better as the interval between electrodes is larger.

Key word(중요어) : Pressure stimulation(압력자극), Organic thin films(유기박막), Polyimide(폴리이미드), Displacement current(변위전류)

### 1. 서 론

유기재료를 이용한 유기박막은 분자 레벨의 기능성 소자로서 여러 전력 기기 제작 등에 응용 할 수 있으며 박막의 형태는 초박막으로서 박막을 구성하고 있는 분자들을 전기적인 제어에 의해 규칙적으로 배열, 배향할 수 있다고 하는 장점이 있다. 유기박막을 제작하기 위하여 유기물질인 유기 단분자를 수면에 전개시키면 분자 두께의 단분자층이 형성된다. 이것을 1층 또는 다층으로 기판의 표면에 분자를 샌드위치 형태로 다양하게 누적시켜 디바이스 등에 응용할 수 있다고 생각한다<sup>1,2</sup>. 본 연구에서는 유기절연체로 분류된 polyimide를 수면에 전개시켜 분자들의 운동상태를 평가하였고 디바이스를 제작하기 위한 박막의 제작조건을 검증하였으며 검증된 제작 조건에 의하여 Au/유기박막(polyimide)/Au구조의 디바이스를 제작하여 전기적인 특성을 측정하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1. 이 론

##### 2.1.1. 유기박막의 자격전달에 따른 전기 특성

상부전극 아래에 존재하는 분자들의 동적인 거동에 따라 유기된 전하량  $Q[C]$ 는 식 (1)과 같다.

$$Q = -N \frac{m_z}{d} + \frac{\epsilon_r \epsilon_0 (V - \phi_s) S}{d} \tag{1}$$

여기서,

$N$  : 상부전극 아래에 존재하는 분자수 [개]

$d$  : 상부전극과 수면과의 거리 [m]

$m_z$  : 쌍극자모멘트 [D]

$\epsilon_r$  : 공기의 비유전율

$\epsilon_0$ : 진공 유전율 [ $8.854 \times 10^{-12}$ ]  
 $V$ : 전위차 [V]  
 $\phi_s$ : 수면의 전위 [V]  
 $S$ : 상부전극의 면적 [ $m^2$ ]이다.

또, 유기단분자들의 동적인 거동에 따른 변위전류  $I[A]$ 는 식 (1)에 유기전 전하량  $Q$ 를 시간  $t$ 에 따라 미분함으로써 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다.<sup>[6-9]</sup>

$$I = - \frac{dQ}{dt} = \left( \frac{m_x}{d} \right) \frac{dN}{dt} + \left( \frac{N}{d} \right) \frac{dm_x}{dt} + \left( \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d} \right) \frac{d\phi_s}{dt} \quad (2)$$

### 2.1.2. I-V와 절연저항

두 도체사이에 유전체를 두면 유전체의 축적 전하량은 두 전극 사이의 전압 차에 비례하고 전극 면적  $A$ 와 간격  $d$ , 유전체의 성질에 의존하게 되며, 식 (3)과 같다.

$$C = \epsilon_0 \frac{KA}{d} \quad (3)$$

여기서,  $\epsilon_0$ : 진공유전율

$K$ : 비유전상수

커패시터(C)가 충전될 때 외부 전원에 의한 일 에너지  $W$ 는 커패시터에 충전된 에너지로 표시되며 식 (4)와 같다.

$$W = \frac{1}{2} CV^2 \quad (4)$$

이 때, 유전체 내부에 축적된 에너지 밀도  $u$ 는 식 (5)와 같다.

$$u = \epsilon_0 \frac{KV^2}{2d^2} \quad (5)$$

커패시터가 충전된 후 흐르는 전류는 누설전류이며 누설전류는 일정한 시간 동안 직류전압을 인가하여 측정함으로써 얻을 수 있다. 누설 전류는 전압과 온도가 증가함에 따라 급격히 증가하고 시험 전압에서 누설전류로부터 커패시터의 저항을 계산 할 수 있으며 커패시터의 절연저항  $R_{leakage}$ 는 식 (6)과 같다.

$$R_{leakage} = \frac{V_{test}}{I_{leakage}} \times C \quad (6)$$

## 2.2 실험

본 연구에 사용된 시료는 내열성, 내약품성, 절연성이 우수한 Polyimide(PI)로서 Kapton과  $C_{18}$ DMA(N, N-Dimethylinocadecylamine)를 1:2의 체적비로 혼합하여 사용하였다. 벤젠을 용매로 하여  $0.333 \times 10^{-3}$  [mol/l]의 농도로 조성하였으며 시료의 분자구조는 그림 1과 같다.

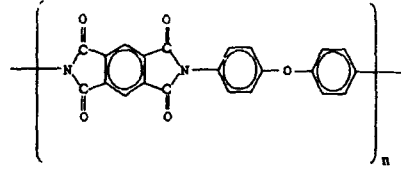


그림 1. Polyimide의 분자구조

Fig. 1. Molecule structure of polyimide

그림 2는 Au/polyimide/Au구조를 갖는 디바이스이다. 실험에 사용된 기판은 slide glass(13×38×1mm)로서 하부전극을 Au로 형성하고 LB제작장치(NLE Kuhn type)를 사용하여 Y-type으로 각각 41, 35, 31층의 LB막을 제작한 후, 상부전극으로 Au를 증착시켰다.

제작된 Au/PI LB films/Au구조의 디바이스를 aluminum shield box에 장착하고 Keithley 6517 electrometer를 사용하여 전류-전압(I-V)을 측정하였다. 인가전압은 DC power supply를 사용하여 0[V]~5[V]의 범위에서 0.5[V]씩 승압하였다.<sup>[4]</sup>

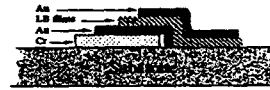
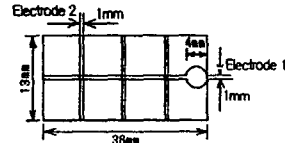


그림 2. Au/유기박막(polyimide)/Au구조

Fig. 2. Structure of Au/organic thin films(polyimide)/Au

## 2.3. 결과 및 고찰

### 2.3.1. 수면 위의 변위전류

유기단분자를 수면에 전개시켜 단분자막을 형성한 후 압력자극을 인가했을 때 분자의 점유면적에 대한 표면압, 변위전류 및 쌍극자모멘트의 변화 결과를 그림 3에 나타냈다.

그림 3은 Kapton Polyimide의 비교적 좁은 범위에서 표면압과 쌍극자모멘트, 변위전류의 관계를 나타낸 결과이다.  $310[A^2]$ 부근의 면적에서 분자들의 운동이 시작되어 b의 쌍극자모멘트 최대값과 변위전류 최대값 부근에서 분자의 운동이 가장 활발하게 진행되어졌다고 생각되어진다. 또한  $70[A^2]$ 부근(d)에서 막의 1차붕괴가 일어남을 알 수 있었고 막의 최대응축률은  $15[mN/m]$ 임을 알 수 있었다.

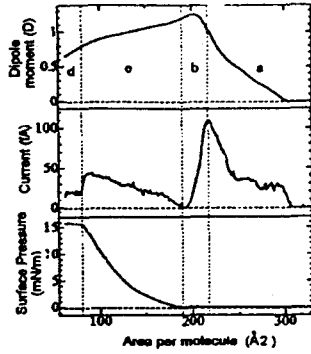


그림 3. 좁은 면적에서의 결과  
Fig. 3. Result of narrow area

### 2.3.2. 누적막의 제작

그림 4는 polyimide 누적막(31, 35, 41층)을 제작할 때 시간에 따른 표면압과 분자의 점유면적( $\alpha - A$ )의 관계를 나타냈다. 유기단분자막들의 최대응축표면압인 15[mN/m](23Å<sup>2</sup>)에서 제작을 하였으며 a는 유기단분자막의 최대응축막이 안정성을 갖도록 일정시간 유지한 상태이며 누적조건인 15[mN/m]의 상태로 정밀하게 조절되어 가는 과정이다. b는 dipper가 원하는 누적층수만큼 up, down stroke동작을 했던 결과이다. 압력의 미소한 변이는 up과 down의 stroke동작시 나타나는 기관의 최상단과 하단부분에서 발생하는 변이라 여겨지며 분자들이 기관으로 전이되어 가는 과정에서 수면 위에 남아있는 분자수가 줄어드는 것을 의미하고 있다. 압축된 수면 위의 면적은 일정한 비율로 선형적인 감소형태로 나타내는 것으로 보아 유기단분자막이 준비된 기관으로 잘 전이되었음을 알 수 있었다.

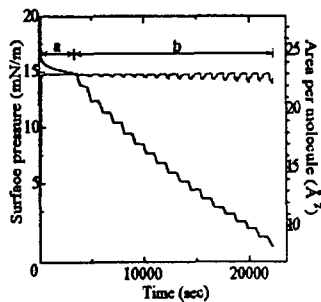


그림 4. 시간에 따른 분자당 점유면적 및 표면압의 곡선 (35층)  
Fig. 5. Isotherm of are per molecule and surface pressure for time (35 layers)

### 2.3.3. I-V측정과 저항

그림 5는 Y-type으로 41층을 누적한 Au/polyimide/Au다바이스에 전압을 인가하여 검출된 I-V특성으로서 제작된 다바이스에 0[V]~5[V]의 범위에서 0.5[V]씩 승압시켜 가면서 측정하였으며 전압의 인가시 전하의 축적에 기인한 누설전류 및 절연저항 등을 고려하여 1분 정도의 시간이 지난 후 전류를 측정하였다. 결과와 같이 인가전압에 따라서 전류는 비례하여 증가하였음을 알 수 있었다.

그림 6은 누적된 유기박막의 누적층수에 따른 저항과의 관계를 나타낸 결과이다. 측정된 저항 R의 값은 약 1~17[kΩ]의 범위까지 넓게 나타나고 있으며 누적층수가 많을수록 저항 R의 값이 커지는 경향성을 나타내고 있는데 이는 누적층수가 많을수록 박막의 절연저항이 크다는 것을 알 수 있었다.

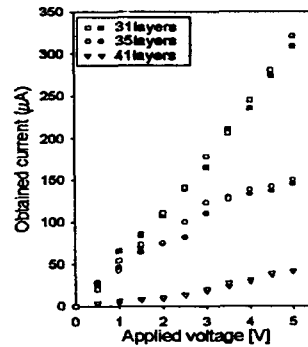


그림 5. 시료의 I-V 특성(Y-type, 41, 35, 31층)  
Fig. 5. I-V characteristics of sample (Y-type, 41, 35, 31 layers)

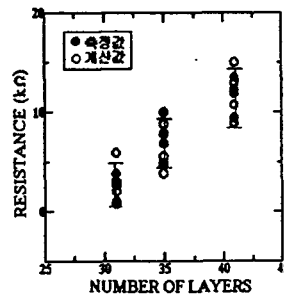


그림 6. Au/유기박막(polyimide)/Au구조의 누적층수에 따른 저항값  
Fig. 6. Resistance value of Au/organic thin films (polyimide)/Au structure for deposition layers

그림 7은 식 (4)와 (5)로부터 인가전압과 에너지 밀도의 관계를 실험값을 적용하여 계산한 값이다. 누적충수에 따른 에너지 밀도는 전극과의 거리가 짧수록 감소함을 알 수 있었다. 나타난 결과로 보아 누적충수가 많을수록, 전극사이의 거리가 짧수록 일 함수와 에너지 밀도의 크기는 반비례함을 알 수 있었다.

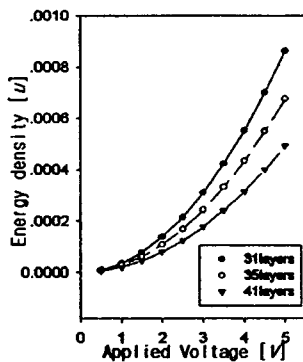


그림 7. 인가전압과 에너지 밀도와의 관계  
Fig. 7. Relation of energy density and applied voltage

### 3. 결 론

본 연구에서는 유기박막을 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) Polyimide 유기 단분자막의 1차봉피는  $70[\text{Å}^2]$  부근에서 발생 하였으며 유기 단분자막의 최대충수상태로부터  $15[\text{mN/m}]$ 의 제막 조건을 얻을 수가 있었다.
- (2) 제막조건으로 결정된  $15[\text{mN/m}]$ 로 기관 위에 Au/유기박막 (polyimide)/Au형태를 31층, 35층, 41층으로 디바이스를 제작 하였으며, 제작된 디바이스의 전기특성 실험 결과 인가전압에 따른 최대전류값은 31층  $300[\mu\text{A}]$ , 35층  $150[\mu\text{A}]$ , 41층  $40[\mu\text{A}]$ 로서 전류의 최대값은 누적충수가 적을수록 크게 나타남을 알 수 있었고 각 누적충수에 따른 저항값은 측정값과 계산값이 거의 일치함을 알 수 있었다. 인가전압에 따른 에너지밀도와의 관계는 전극사이의 거리  $d$ 에 반비례함을 알 수 있었으며 잘 일치되는 것으로 보아 Polyimide유기박막은 비교적 양호한 전기적특성을 나타냄을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행되었음.  
과제관리번호 : 97-021

### 참 고 문 헌

- [1] O. Albrecht, H. Gruler and E. Sackmann, "Polymorphism of Phospholipid Monolayers", vol. 39, pp. 301~313, 1978.
- [2] A. Fischer, M. Lösche, H. Möhwald and E. Sackmann, "On the Nature of Lipid Monolayer Phase Transition", J. Physique Lett., vol. 45, pp. 785~791, 1984.
- [3] A. Miller, C. A. Helm and H. Möhwald, "The Colloidal Nature of Phospholipid Monolayers", J. Physique, vol. 48, pp. 683~701, 1987.
- [4] S. Kato, M. Akiyama, Y. Amemiya and I. Hatta, "Temperature Dependence of the Ripple Structure in Dimyristoylphosphatidylcholine studied by Synchrotron X-ray Small-Angle Diffraction", Biochimica et Biophysica Acta, vol. 1028, pp. 103~109, 1990.
- [5] T. Kubota and M. Iwamoto, "Measurement of displacement current across single monolayers with thermal stimulation", Rev. Sci. Instrum., vol. 64, pp. 2627~2631, 1993.
- [6] 岩本光正, "水面上のL- $\alpha$ -ジオレイルレシテン單分子膜の面積変化により發生する変位電流の検出", 膜, 15(6), pp. 329~335, 1990.
- [7] Takahiro Seki and Kunihiko Ichimura, "Formation and Langmuir-Blodgett: Deposition of Monolayers of Poly(vinyl alcohol)s Bearing Azobenzene Side-Chains of Varied Spacer Length", Thin solid Films, 179, pp. 77~83, 1989.
- [8] Mitsumasa Iwamoto and Yuichiro Kanai, "Maxwell displacement current across monolayer polyimide Langmuir-Blodgett films with azobenzene by photoirradiation", J. Appl. Phys. 74(2), pp. 1131~1137, 1993.
- [9] Irving Langmuir, "The Constitution and Fundamental Properties of Solids and Liquids. II. Liquids.", J. Am. chem. Soc. 39, pp. 1848~1906, 1917.