

# Langmuir-Blodgett법을 이용한 유기초박막의 제작과 전기적특성

## Fabrication of the Organic Ultra thin Films Using the Langmuir-Blodgett Technique and Its Electrical Properties

姜道烈\*·孫秉淸\*\*·權寧守\*\*\*·崔明奎§·俞德善§§  
 (Dou-Yol Kang · Byoung-Chung Shon · Young-Soo Kwon · Myoung Kyu Choi · Deok-Sun Yoo)

**Abstract** - For an elementary study of the molecular electronic devices, in this study, N-alkylpyridinium(TCNQ)(1:1) and (1:2)complexes were synthesized. These complexes were verified by the UV, IR and the elemental analysis. Deposition of the LB films were verified by the reciprocal capacitance, UV absorbance and decrease area of Langmuir films as functions of number of layers. The internal voltage of LB membrane devices fabricated with Y-type resides in 100-300mV. Finally, it seemed that self-polarization of LB membrane generates internal voltage.

### 1. 서 론

1982년 미국해군연구소의 F. Carter가 “Molecular Electronic Device”라는 주제로 국제 workshop을 개최한 이래로 분자전자소자에 대한 연구가 국제적으로 활발히 진행되고 있다. [1] 분자전자소자란 지금까지 반도체소자에서 많은 실리콘덩어리가 행하던 일들을 대신하도록 몇개 또는 단 한 개의 분자에 여러가지 기능을 부여하여 소자의 고밀도화를 실현해 보고자하는 것이다. 그런데 분자 하나하나를 원하는 장소에 배치하는 기술은 어려우나 다수의 분자를 집합체로 하여 고체기판위

에 제작하는 기술은 가능하다. [2, 3]

분자를 집합체로 하여 유기초박막을 제작하는 기술중에서 Langmuir-Blodgett법(이하 LB법)은 극히 자연적인 원리를 이용한 것이기 때문에 process가 간단하며, 막의 제작비용도 적게 들어 편리하다. 그리고 LB막은 막의 두께를 단분자층의 두께( $\text{\AA} : 10^{-10}\text{m}$ )로 정밀하게 제어할 수 있는 특징을 가지고 있어 각광을 받고 있는 방법중의 하나이다.

본 연구자들은 이와같은 Molecular Electronics의 응용기술이 2000년대의 핵심기술이 될 것이라는 생각에서 그 기초연구가 되는 연구로 N-docosyl pyridinium(TCNQ) (1:2)착제를 합성하여 이방성 전기전도현상에 대한 연구결과를 발표한 바 있다. [5]금번에는 LB막의 수직방향에서 내장전계가 발생하는 현상에 중점을 두고 다음과 같은 사항에 대하여 연구하였다.

i) LB막 제작을 위한 성막물질의 합성기술 개발

\*正 會 員 : 弘益大 工大 電氣工學科 教授 · 工博  
 \*\*正 會 員 : 弘益大 工大 化學工學科 教授 · 工博  
 \*\*\*正 會 員 : 東亞大 工大 電氣工學科 助教授 · 工博  
 §正 會 員 : 暎園工業專門大 電氣科 副教授  
 §§正 會 員 : 弘益大 科學技術研究所 研究員  
 接受日字 : 1991年 4月 6日  
 1次修正 : 1991年 8月 13日

- ii) LB막 누적기술과 누적확인기술의 습득
- iii) LB막에서 전기적 고유특성인 내장전압의 발생현상

**2. 성막분자의 합성과 소자의 제작**

**2.1 성막분자의 합성**

본 연구에서는 pyridine환과 cyano기를 가지고 있는 tetracyanoquinodimethane(이하 TCNQ)을 가지고 전하이동(charge transfer) 착체를 합성하여 LB막을 누적하고자 하였다.

N-alkyl pyridinium(TCNQ) (1 : n) 착체의 합성순서를 요약하면 다음과 같다.

- ① dry pyridine 과 n-alkyl bromide( $C_n H_{2n+1} Br$ )를 반응시켜, N-alkyl pyridinium bromide를 합성한다.
- ② i) diethylsuccinate를 출발물질로 하여 1, 4-cyclohexanedione를 합성하고  
ii) 여기에 malonitrile을 축합반응시켜 1, 4-bis-(dicyanomethylene)-cyclohexane(BDC)를 합성하여  
iii) 합성된 BDCC를 pyridine과 NBS 및 Lil를 이용하여 LiTCNQ를 합성하였으며
- ③ N-alkyl pyridinium bromide와 LiTCNQ로부터 연구자들이 최종적으로 원하는 그림1과 같은 구조를 가진

N-docosyl pyridinium (TCNQ) (1 : 1) 착체(이하  $C_{22}Py$ (TCNQ))

N-eicosyl pyridinium(TCNQ) (1 : 2) 착체(이하  $C_{20}Py$ (TCNQ)<sub>2</sub>)

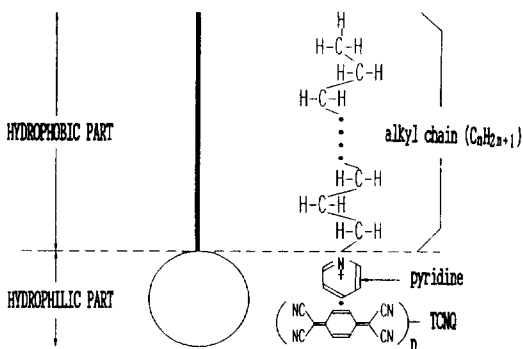


그림 1 양친매성분자의 구조  
Fig. 1 Structure of amphiphilic molecules.

의 전하이동착체의 유기분자를 합성하였다. 이때 이 물질은 그림1과 같이 n-alkyl을 소수기로 pyridine환과 TCNQ를 친수기로 갖는다. [4]

**2.2 LB막소자의 제작**

성막물질을 누적하기 위한 LB막누적장치는 자체 제작한 Kuhn형의 수직침지형 누적장치[4]이다. 연구자들은 (N-docosyl pyridinium)-TCNQ (1 : 2) 착체의 물질을 가지고 초순수(18M $\Omega$ -cm)를 CdCl<sub>2</sub>로 처리한 완충액을 subphase로 하여 LB막을 제작하여 발표한바 있다. [5] 그러나 금번에 합

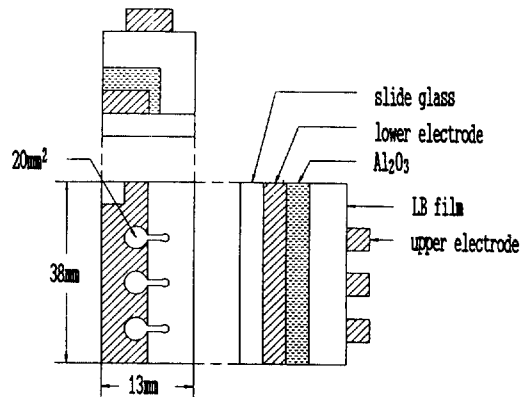


그림 2 LB막 소자의 구조  
Fig. 2 Schematic diagram of LB film devices.

표 1 LB막의 누적조건

Table 1 Condition of LB film deposition

	$C_{22}Py$ (TCNQ)	$C_{20}Py$ (TCNQ) <sub>2</sub> + Arachidic Acid (1 : 1, m : m) (혼합막)
SUBPHASE	순수(18M $\Omega$ ·cm)	$4 \times 10^{-4}$ gmol/l CdCl <sub>2</sub> & $0.1 \sim 1.2 \times 10^{-4}$ gmol/lKHCO <sub>3</sub>
온도	25~32 $^{\circ}$ C	
SUBPHASE PH	5.5~5.6	
용매	CH <sub>3</sub> CN : C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (1 : 1, v : v) & $10^{-3}$ gmol/l	
표면압	30dyne/cm	
LB막의 누적속도	5mm/min	

성한 C<sub>22</sub>Py(TCNQ) (1:1) 착체의 물질은 초순수 subphase에서 누적하였다. 그리고 n-alkyl기가 짧아 막의 형성이 어려운 (N-eicosyl pyridinium)-TCNQ(1:2) 착체는 arachidic acid와 1:1몰(mol)비로 혼합한 후 초순수를 CdCl<sub>2</sub>로 처리한 완충액을 subphase로 하여 혼합 LB막을 누적하였다. arachidic acid(C<sub>19</sub>H<sub>39</sub>COOH)는 시중에서 판매하는 sigma사의 특급시약을 구입하여 사용하였으며 subphase의 pH는 5.5~5.6으로 하였고 용매는 acetonitrile과 benzene을 1:1로 혼합하여 사용하였다. 기판은 slide glass를 막의 누적이 용이하도록 친수성물질로 처리하였다. [4] 그리고 30 dyne/cm의 표면압에서 5mm/min의 속도로 막을 누적하였다. (표1참조)

그림2는 측정용 소자의 구조도이다. 세척한 기판에 알루미늄 하부전극을 2×10<sup>-6</sup>~10<sup>-7</sup>Torr에서 진공증착하면, 하부전극위에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 자연생성된다. 그 위에 Y형으로 LB막을 각각 3, 7, 11, 15층으로 누적한 후 상부전극을 증착하여 Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/LB막/Al구조의 소자를 제작하였다. 또한 하부전극위에 LB막의 누적이 없이 Al과 Au를 증착하여 Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al, Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Au구조를 갖는 MIM소자를 제작하였다.

### 3. 측정결과 및 검토

#### 3.1 성막물질의 합성확인

합성한 성막물질을 확인하기 위하여 원소분석기로 C, H, N의 비율을 측정하여 그결과를 표2에 나타내었다. 측정결과에서 실험치와 이론치(괄호안의 수치)가 일치하고 있어 시료가 잘 합성되어 있음을 확인하였다.

그리고 합성한 성막물질의 구조를 확인하기 위하여 UV(Ultraviolet)를 조사하여 측정된 흡수 spectra를 그림3에 나타내었다. 842와 420nm에서

표 2 성막분자의 원소분석과 수율

Table 2 Result of elemental analysis

(AC 117V, 960°C)

생성물	수율	원소분석결과(%) : 측정값(계산값)		
		C	H	N
C <sub>22</sub> Py(TCNQ)	83.5	79.12 (79.01)	9.21 (9.18)	11.72 (11.81)
C <sub>20</sub> Py(TCNQ) <sub>2</sub>	45.57	76.68 (76.53)	7.21 (7.08)	16.58 (16.39)

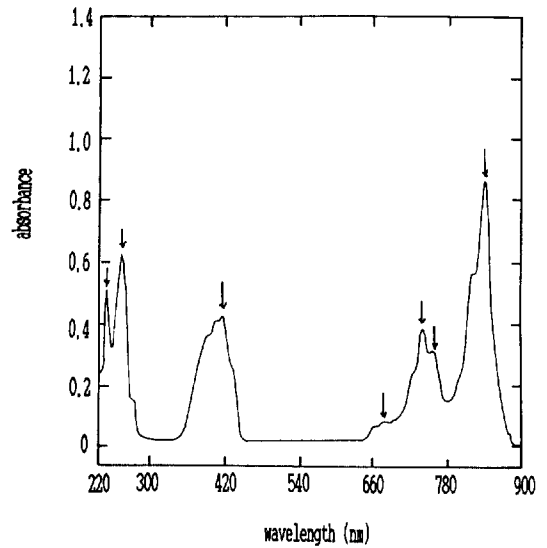


그림 3 C<sub>22</sub>Py(TCNQ)의 UV spectra  
Fig. 3 UV spectra of C<sub>22</sub>Py(TCNQ)

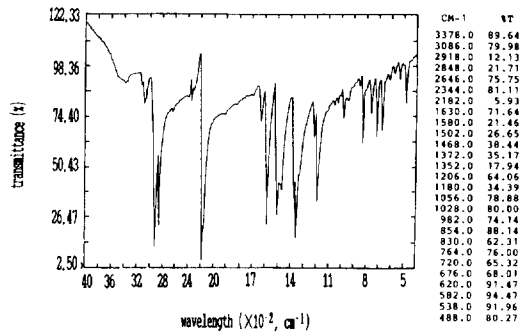


그림 4 C<sub>22</sub>Py(TCNQ)의 IR spectra  
Fig. 4 IR spectra of C<sub>22</sub>Py(TCNQ)

major maxima 흡수 spectra가 나타나고 720, 744, 680과 665nm에서 minor band 흡수 spectra가 나타나고 있어 TCNQ음이온기를 확인할 수 있었으며, 258과 232nm에서 pyridinium양이온의 흡수 spectra가 나타나고 있어 성막물질의 구조를 이루고 있음을 확인할 수 있었다. [12]

그림4는 합성한 성막물질의 IR(Infrared) spectra이다. 피리딘환의 N-H 신축진동이 3378cm<sup>-1</sup>, 암모니움염에서의 N-H 신축진동과 불포화 =C-H의 신축진동이 3086cm<sup>-1</sup>, -C≡N의 신축진동이 2182cm<sup>-1</sup>, C=C, C=N의 상호작용에 의한 신축진동이 1630cm<sup>-1</sup>, 1468cm<sup>-1</sup>, conjugated -C=C·의 변각진동이 1580cm<sup>-1</sup>, 피리딘환진동 및 C-H 내외변각진동이 1206cm<sup>-1</sup>, 1056cm<sup>-1</sup>, 764cm<sup>-1</sup>, 720cm<sup>-1</sup>, 676cm<sup>-1</sup>에서 각각 나타나고 있고,

알칼리의  $-(CH_2)-$ 의 C-H면내역대칭신축진동과 면외대칭신축진동이  $2918cm^{-1}$ ,  $2848cm^{-1}$ ,  $-(CH_3)-$ 의 C-H면외역대칭변각진동과 면내대칭변각진동이  $1468cm^{-1}$ ,  $1372cm^{-1}$ ,  $-(CH_2)-$ 의 면외변각진동이  $1352cm^{-1}$ ,  $1206cm^{-1}$ ,  $1180cm^{-1}$ 에서 나타나고 있어 합성이 잘 되었음을 확인하였다. [12]

**3.2 LB막의 누적확인**

① LB막의 면적과 L막의 감소면적

subphase위에 형성된 단분자막(이하 L막)을 slide glass 위에 누적시키면 누적된면적만큼 subphase위에 형성된 L막은 감소하게 된다. 그러므로 누적된 LB막의 면적  $A_{LB}$ 는 L막의 감소면적  $A_L$ 에 비례함을 알 수 있다.

누적된 LB막의 면적( $A_{LB}$ )  $\propto$  L막의 감소면적( $A_L$ )

따라서 L막의 감소면적  $A_L$ 을 관측함으로써 slide glass에 막이 누적되는지의 여부를 예측할 수 있다.

그림5는  $C_{22}Py$ (TCNQ)를 성막물질로 한 경우의  $A_{LB}$ 와  $A_L$ 과의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 낮은 층수에서는 누적면적  $A_{LB}$ 에 비해서  $A_L$ 이 다소 크게 나타나고 있으나 누적층수가 증가하면서 이론값과 일치( $A_{LB} \approx A_L$ )하고 있다.

② UV 흡광도

유기분자의 색소가 빛을 흡수하는 성질을 이용

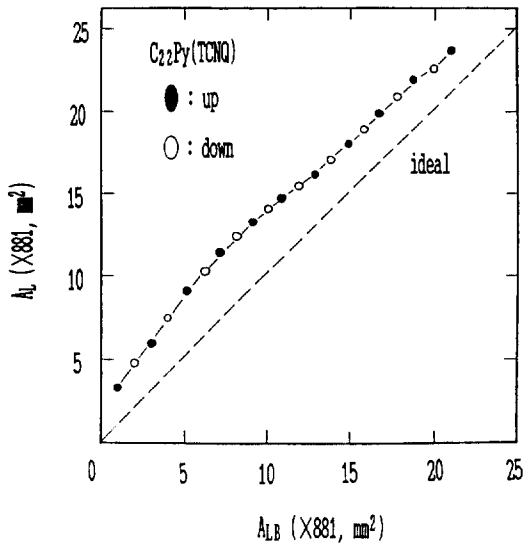


그림 5 LB막의 누적면적 대 L막의 감소면적  
Fig. 5 Deposited area of LB films vs. decreased area of L films.

하면 막이 누적되어 있음을 확인할수 있다. 흡광도와 LB막의 두께의 관계를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\ln(P/P_0) = -k'bc \propto A \tag{1}$$

$P_0$ : 흡수되기 전의 빛의 세기

$P$ : 투과한 후의 빛의 세기

$b$ : 빛의 투과길이  $c$ : 밀도  $k'$ : 비례상수  
따라서 흡광도  $A$ 는 LB막의 두께(누적층수)  $b$

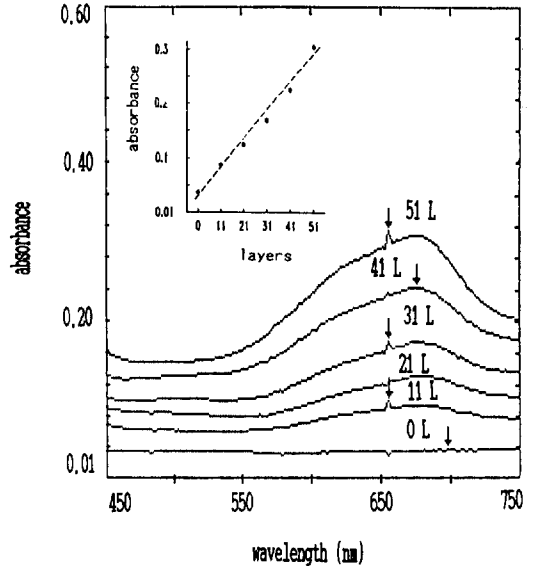


그림 6  $C_{22}Py$ (TCNQ)의 흡광도  
Fig. 6 Absorbance of  $C_{22}Py$ (TCNQ)

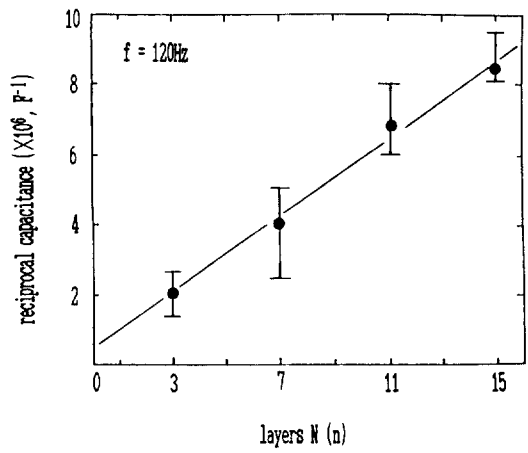


그림 7  $Al/C_{22}Py$ (TCNQ)/ $Al$ 의  $1/C$ 와 누적층수  
Fig. 7 Reciprocal capacitance vs. number of layers.

에 비례( $A \propto b$ )하게 된다. [6] 그림6은  $C_{22}Py$  (TCNQ)의 흡광도를 측정하여 나타낸 것이다. 누적층수가 증가함에 따라 흡광도가 거의 비례적으로 증가하고 있어 막이 누적되어 있음을 알 수 있다.

③  $1/c$ 과 누적층수

본 연구에서 제작한 LB막소지는  $Al_2O_3$ 와 LB막을 절연체로 갖는 이중절연체이므로 정전용량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_{ox}} + \left[ \frac{1}{C_{LB}} \right] N \quad (2)$$

여기에서  $C_{ox}$ 는 산화막의 정전용량,  $C_{LB}$ 는 LB막의 정전용량,  $N$ 은 LB막의 누적층수이다. 위 식은 결국  $(1/C_T) \propto N$ 이 되며 정전용량의 역수는 누적층수에 비례하게 된다. [7]

그림7은  $C_{22}Py$  (TCNQ)소자의 정전용량을 측정 한 데이터인데 막의 누적층수가 증가함에 따라 정전용량의 역수가 거의 비례적으로 증가하고 있어 막이 누적되어 있음을 알 수 있다.

3.3 전기적특성

① 전압-전류특성

그림8은  $Al/Al_2O_3/C_{22}Py$  (TCNQ) /  $Al$ 소자에 대하여 막의 수직방향으로  $-800mV$ 에서  $+800mV$ 의 구간에서  $500mV$  간격으로 전압을 변화시키면

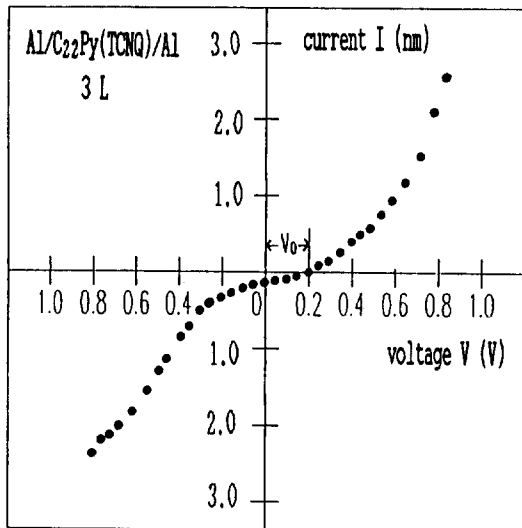


그림 8  $Al/C_{22}Py$  (TCNQ)  $Al$ 의 전압-전류특성  
Fig. 8 I - V characteristics of  $Al/C_{22}Py$  (TCNQ) /  $Al$ .

서 전류를 관측한 전압-전류특성을 나타낸 것이다. 그림과 같이 정(+)전압을 인가했을 때와 부(-)전압을 인가했을 때의 특성이 서로 비대칭으로 전류가 zero인 점의 전압이 zero가 아닌  $V_0$ ( $\approx 0.2V$ )의 값으로 관측이 되고 있다. 이와같은 현상은 소자의 내부에서 전압이 발생하는 초박막 특유의 전기적특성으로 생각된다. [7, 8]

② 내장전압발생특성

그림9는  $Al/Al_2O_3/C_{22}Py$  (TCNQ) /  $Al$ 소자에 직접 고저항 전자전압계(Keithley 617)를 연결하여 소자에서 발생하는 전압(내장전압)을 직접 측정하는 것이다. 소자에 전자전압계를 연결하면 전압이 zero에서부터 서서히 증가하여 일정한 전압이 되면 포화하는데 15분 간격으로 단락과 측정을 반복하여도 전압은 거의 일정하게 발생하였다. 단자의 순시발생전압  $V$ 는, 소자의 최대발생전압을  $V_0$ 라 할 경우 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다. [8]

$$V = V_0 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] \quad (3)$$

여기서  $\tau$ 는 시정수이다.

각 층별로 15개씩의 소자에서 측정한 발생전압과 LB막의 누적층수와의 분포관계를 그림10에 나타내었다. 전압을 대략  $60 \sim 250mV$ 의 범위로 약간 폭넓게 분포하고 있으며 평균값은 대체로 비슷한 값으로 나타났다. 그림11은  $Al/Al_2O_3/C_{20}Py$  (TCNQ) $_2 + C_{19}H_{39}COH$  /  $Al$ 소자의 누적층수에 대한 발생전압인데 3층과 7층의 일부에서는 약  $20 \sim 60mV$  정도로 매우 작은 전압이 발생하였다. 그러나 7층 이상의 소자에서는  $160 \sim 280mV$ 의 전압이 발생하고 있으나 평균값은 누적층수의 증가에 관계없이 대체로 비슷하게 발생했다.

그림은 4가지의 소자 즉,  $Al/Al_2O_3/Al$ ,  $Al/Al_2O_3/Au$ ,  $Al/Al_2O_3/C_{22}Py$  (TCNQ) /  $Al$ ,  $Al/Al_2O_3/C_{20}Py$  (TCNQ) $_2 + C_{19}H_{39}COOH$  /  $Al$ 소자들에 대한 내장전

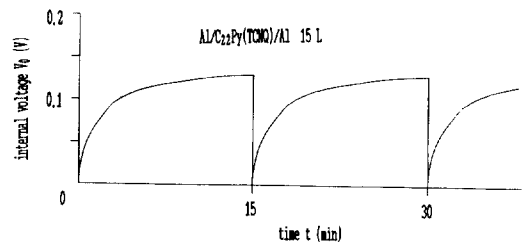


그림 9  $Al/C_{22}Py$  (TCNQ) /  $Al$ 의 전압발생  
Fig. 9 Voltage generation of  $Al/C_{22}Py$  (TCNQ) /  $Al$

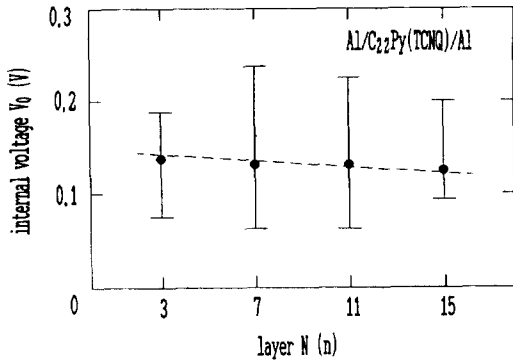


그림 10 Al/C<sub>22</sub>Py(TCNQ)/Al의 누적층수와 전압 발생  
**Fig. 10** Number of layers vs. voltage generation in Al/C<sub>22</sub>Py(TCNQ)/Al.

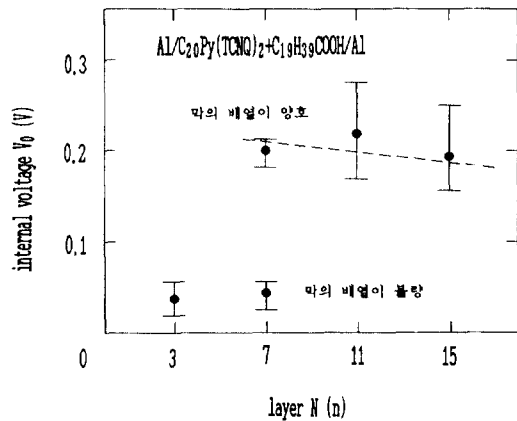


그림 11 Al/C<sub>20</sub>Py(TCNQ)<sub>2</sub>+C<sub>19</sub>H<sub>39</sub>COOH/Al의 누적층수와 전압발생  
**Fig. 11** Number of layers vs. voltage generation in Al/C<sub>20</sub>Py(TCNQ)<sub>2</sub>+C<sub>19</sub>H<sub>39</sub>COOH/Al

압발생분포를 나타낸 것이다. Al/AIO<sub>3</sub>/Au소자에서는 약간의 차이가 있으나 30~100mV의 전압이 발생하고 있는데 반하여 Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al소자에서는 전압이 발생하지 않았다.

Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al소자에서 전압이 발생하지 않은 것은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 E(전계)=0에서 분극이 없는 것으로 해석한 Hino등의 실험[7, 8]과 일치한다. 그리고 Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Au소자에서 전압이 발생한 것은 소자의 양전극이 다르기 때문에 전극간의 일함수차가 전압으로 관측되는 것임을 알 수 있다.

따라서 Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/C<sub>22</sub>Py(TCNQ)/Al소자에서 발생한 전압은 소자내부 즉, LB막에서 발생한 것으로 생각된다. 그러나 제작한 LB막소자는 Y형 홀

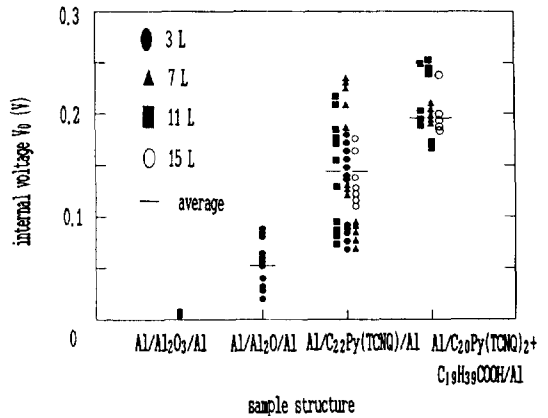


그림 12 소자의 구조와 전압발생  
**Fig. 12** Voltage generation vs. structure of devices.

수층의 구조이므로 홀수층 한층에서만 분극이 되며 나머지 짝수층은 분극의 방향이 서로 반대이기 때문에 상쇄되어 zero가 된다. 따라서 각 소자는 누적 층수에 관계없이 한층만의 분극량을 가지며 이 분극이 전압발생으로 관측된다. (8, 9, 10, 11) 또한 본 연구에서 사용한 성막분자의 소수기 부분이 절연성인 알킬기이므로 누적층수가 증가함에 따라 LB막의 소수기가 저항성분으로 비례하여 증가하기 때문에 층수가 증가함에 따라 발생전압이 감소되어야 한다. 그러나 발생전압이 대체로 비슷한 것은 소수기의 저항에 비해 고저항 전자전압계의 입력 임피던스(200TΩ)가 크기 때문인 것으로 생각된다. 한편 그림11의 3, 7층에서 내장전압이 작은 이유는 막이 질서있게 배열되어 있지 않았기 때문인 것으로 생각할 수 있다. 즉, C<sub>20</sub>Py(TCNQ)<sub>2</sub> 물질은 alkyl기가 짧아 본래 누적하기 힘든 물질이다. 그러므로 순수에서도 막의 누적이 잘되는 arachidic acid를 1:1로 혼합하여 시도하였던 것이다. 그러나 그림 11의 결과로 보면 7층 이상이 되어야 막이 비교적 질서있게 누적되는 것으로 생각할 수 있다. 전압 발생의 분포를 보면 그림 12에서 알 수 있는 바와 같이 Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al, AlO<sub>3</sub>/Au, Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/C<sub>22</sub>Py(TCNQ)/Al, Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/C<sub>20</sub>Py(TCNQ)<sub>2</sub>+C<sub>19</sub>H<sub>39</sub>COOH/Al 소자의 순으로 발생전압이 증가하고 있어 전극간의 일함수의 차이보다는 LB막의 쌍극자분극에 더욱 크게 의존하고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 유기물박막(A급) 기능소자의 개

발이라는 목표를 설정해 놓고, 그 기초연구로써 성막물질의 합성기술 개발과 LB막 누적기술 및 누적 확인기술의 습득, 그리고 LB막에서 전기적 고유특성인 내장전압의 발생에 대한 기초적인 연구에 목적을 두고 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 성막물질인 *N*-alkyl pyridinium(TCNQ) (1:1)과(1:2)착체를 합성하였고 C.H.N 분석, UV 및 IR의 분석을 통하여 합성이 매우 잘 되었음을 확인하였다.
- (2) LB막의 누적은 subphase를 C<sub>22</sub>Py(TCNQ)는 순수에서 그리고 막으로 형성되지 않은 C<sub>20</sub>Py(TCNQ)<sub>2</sub>는 arachidic acid와 1:1로 혼합한 후, CdCl<sub>2</sub>와 KHCO<sub>3</sub>로 처리한 subphase상에서 막을 누적하고 L막의 감소, UV흡광도 그리고 정전용량등을 측정하여 막이 누적되어 있음을 확인하였다.
- (3) Y형으로 누적한 LB막소자에서 발생한 내장 전압은 대략 100~300mV로 관측되었으며 발생원인이 LB막의 누적과정에서 유극성분자를 극성화시킴으로써 영구쌍극자분극이 전압으로 발생하는 것으로 추정하였다.

이 연구는 1990년도 한국과학재단 연구비 (과제번호 901-0706-0021-1) 지원으로 연구되었습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] F.L. Carter, Molecular Electronic Devices, Marcel Dekker, New York, 1982
- [2] 권영수, 강도열, "신기능소자 개발의 행방 (Ⅲ)-분자계산기," 전기학회지, 37권, 11호, pp. 41~49, 1988
- [3] 전자시보; 제530호 14면, 제554호 7면 관련

기사

- [4] 정순욱 박사 학위 논문, (*N*-alkyl pyridinium)-(TCNQ)(1:2)착체의 합성과 Langmuir-Blodgett초박막의 전기적특성, 홍익대학교, 1988
- [5] 강도열, 권영수, 강훈, 최명규, 김재호, "LB초박막의 누적기술과 이방성 전기전도," 대한전기학회 논문지, 40권, 1호, pp. 82~90, 1991
- [6] Galen W. Ewing, Instrumental Methods of Chemical Analysis, McGraw-Hill, 4th Ed., New York, 1975, p. 35
- [7] 串田正人, 日野太郎, "ポリインミドLB超薄膜コンテナの特性," 日本電氣學會論文誌, 109券, 12號, pp. 515~522, 1989
- [8] 串田正人, 日野太郎, 權寧守, "超薄牟MIM素子の電壓發生," 日本電氣學會論文誌, 109券, 7號, pp. 287~294, 1989
- [9] S.K. Srivastava et al, "Thickness dependence of internal voltage in metal-insulator-metal structure with dissimilar electrodes," J. Appl. Phys., Vol. 49, No. 6, pp. 2583~2586, 1978
- [10] S.K. Srivastava et al, "Intrinsic voltage in insulating films in aluminium-barium stearate-aluminium structures," J. Appl. Phys., Vol. 49, No. 6, pp. 3402~3405, 1978
- [11] S.K. Srivastava et al, "Measurement of the work function of some metals using internal voltage in MIM structures," J. Appl. Phys., Vol. 50, No. 4, pp. 2852~2855, 1979
- [12] Robert M. Silverstein, Spectrometric Identification of Organic Compounds, John Wiley & Sons, 4th Ed., 1981