

유기물 게이트 절연체를 사용한 pentacene 유기 박막 트랜지스터의 전기적 특성에 관한 연구

김윤명\*, 김옥병\*, 김정수\*, 김영관\*\*, 정태형\*\*\*

\*홍익대학교 전기제어공학과, \*\*홍익대학교 화학공학과, \*\*\*한국정보통신연구원

A Study on the Electrical Characteristics of Pentacene Organic Thin Film Transistor using Organic Gate Insulator

Yun-Myoung Kim\*, Ok-Byoung Kim\*, Jung-Soo Kim\*, Young-Kwan Kim\*\*, Tae-Hyung Zyung\*\*\*

Dept. of Electrical and Control Eng., Hongik Univ. \*\*Dept. of Chemical Eng., Hongik Univ.

Electronics and Telecommunication Research Institute, Yusung, P.O.Box 106, Taejeon, 305-600.

**Abstract** - Organic semiconductors based on vacuum-deposited films of fused-ring polycyclic aromatic hydrocarbon have great potential to be utilized as an active layer for electronic and optoelectronic devices. In this study, pentacene thin films and electrode materials were deposited by Organic Molecular Beam Deposition (OMBD) and vacuum evaporation respectively. For the gate dielectric layer, OPTMER PC403 photo acryl (JSR Coporation.) was spin-coated and cured at 220 °C. Electrical characteristics of the devices were investigated, where the channel length and width was 50 μm and 5 mm. It was found that field effect mobility was 0.039 cm<sup>2</sup>V<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>, threshold voltage was -7 V, and on/off current ratio was 10<sup>6</sup>.

기판온도는 주지 않았다. Pentacene은 p형 반도체의 특성을 나타내며 박막 형태로 만들어졌을 때 매우 높은 이동도를 가지는 전기적 특성이 우수한 유기물로서 보고되고 있다. 하나의 pentacene분자는 5개의 방향족 탄화수소(aromatic hydrocarbon)가 연결되어 한 분자를 이룬다.<sup>6)</sup> 그림 1에 채널 형성층으로 사용한 pentacene의 분자구조를 나타내었다.

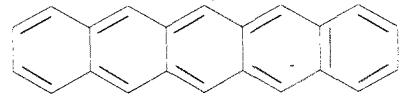


그림 1. Pentacene의 분자 구조.

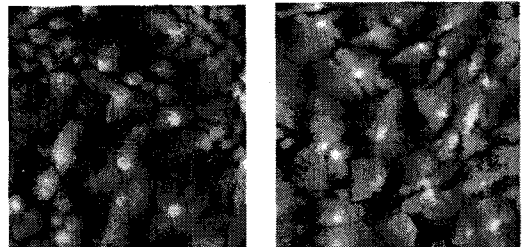
1. 서 론

유기 반도체 물질은 성형성, 유연성, 경제성 등의 장점 때문에 기존의 전기전자 소자들의 무기 반도체 물질을 대체하거나 보완할 수 있는 소재로 그 응용 범위가 크다.<sup>1),2)</sup> 또한 섬유나 필름 형태로 성형하기 쉽고, 가볍고 유연하다는 물리적 특성 외에도 적은 비용으로 능동 소자를 제작할 수 있어 경제적인 장점이 있다.<sup>3),4)</sup> 이러한 장점을 가지는 유기 반도체 소자는 디스플레이 능동 소자로 충분히 이용이 가능하다. 현재 TFT-LCD display에서 화소의 구동소자로는 수소화된 비정질 실리콘 트랜지스터 (amorphous silicon thin-film transistors: a-Si:H TFT)가 사용되고 있다.<sup>5)</sup> 그러나 a-Si:H TFT소자는 전계 효과 이동도가 작아서 디스플레이의 대면적화가 어렵다는 단점 때문에 다른 구동 소자에 대한 연구가 진행 중에 있다. 특히 최근에는 유기물을 활성층으로 사용한 유기 TFT에 대한 연구에 많은 관심이 모아지고 있다.

유기물의 성막 방법은 유기물의 결정화에 중요한 요소를 차지한다. 단순한 열 증착법으로 성막할 때에는 성막 시간의 단축과 방법상 편한 장점이 있지만 성막시 불순물도 함께 성막되기 때문에 막질이 그다지 우수하지 못하다는 단점을 가지고 있다. 또한 TFT소자 제작시에 게이트 절연층의 막 성질에 따라 그 위에 성막되는 pentacene의 막 질에도 많은 영향을 미치게 된다. 활성층의 성막 방법으로는 유기물질의 결정성 및 표면 균일도를 향상시킬 수 있는 방법인 Organic Molecular Beam Deposition (OMBD)법이 성막하였다.

활성층의 결정화와 표면 형상을 알아보기 위하여 게이트 절연층으로 가장 많이 사용하고 있는 SiO<sub>2</sub> 와 비교해 보기 위하여 SiO<sub>2</sub> 게이트 절연층 위에 성막한 pentacene(그림 2(a))과 OPTMER PC403 게이트 절연층 위에 성막한 pentacene(그림 2(b))의 Atomic force microscopy(AFM) 이미지를 살펴 보았다. 활성층의 그래인들의 모양과 크기가 SiO<sub>2</sub> 위에 증착하였을 때와 비슷하였다.

본 연구에서는 pentacene을 박막 트랜지스터(thin film transistors: TFT)의 활성층(active layer)으로 사용하여 TFT를 제작하였고 기존의 박막 트랜지스터에서 게이트 절연층으로 사용되고 있는 SiO<sub>2</sub> 나 SiN<sub>x</sub>를 대신하여 OPTMER PC403 (JSR Coporation.)이라는 photo acryl polymer 물질을 절연층으로 사용하였다. OPTMER PC403은 스핀 코팅과 경화 과정을 통해 간단하게 절연층으로 구성 할 수 있으므로 TFT제작 공정을 단순화시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.



(a)

(b)

(a) SiO<sub>2</sub> 위에 증착한 pentacene 박막의 표면  
(b) PC403 위에 증착한 pentacene 박막의 표면

그림 2. OMBD로 성막한 pentacene의 AFM이미지.

2. 본 론

2.1 소자의 구조 및 제작 방법

본 연구에서는 TFT소자에서 채널을 형성하는 활성층으로 진공 증착이 가능한 pentacene을 사용하였다. 증착시 진공도는 10<sup>-6</sup> torr, 증착율은 0.2~0.3 A/s 이었으며

이번 연구에서 사용된 pentacene TFT소자의 구조를 그림 3에 나타내었다. 유리 기판 위에 photolithography (PR)공정으로 전극패턴을 형성한 후에 열 진공 증착법 (thermal vacuum evaporation)으로 알루미늄(AI)을 증착하고 lift-off 과정을 통하여 게이트 전극을 형성하였다.

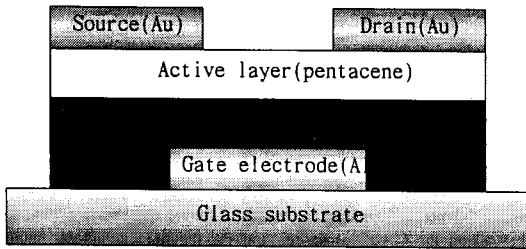


그림 3. Pentacene TFT의 구조.

형성된 게이트 전극 위에 OPTMER PC403 을 스프인 코팅하고 220 °C 에서 1시간동안 경화시켜 1.2 μm 두께의 게이트 절연층을 형성하였다. 절연층으로 사용한 OPTMER PC403의 유전율은 3.6 이고  $1.6 \times 10^{15} \Omega/\square$  의 저항값을 가진다. 절연층 위에 OMBD법으로 pentacene을 1500Å 두께로 성장하였다. 마지막으로 소스와 드레인 전극을 새도우 마스크를 사용하여 채널 길이와 폭을 각각 50 μm , 5 mm 로 결정하고 금(Au)을 증착하여 소자를 완성하였다.

## 2.2 Pentacene TFT의 전기적 특성

본 연구에서 제작된 pentacene TFT 소자의 전기적 특성을 알아보기 위하여 소자의 전달 특성(transfer characteristic)과 출력 특성(output characteristic)을 각각 측정하였다.

Pentacene은 p형 반도체 특성을 가지기 때문에 다수 캐리어(majority carrier)는 정공(hole)이 되고, 유기 박막 트랜지스터는 축적 모드(accumulation mode)에서 동작하기 때문에 소스 전극을 공통 전극으로 하고 게이트 전극과 드레인 전극에 음의 전압을 인가하여 전기적 특성을 측정하였다.

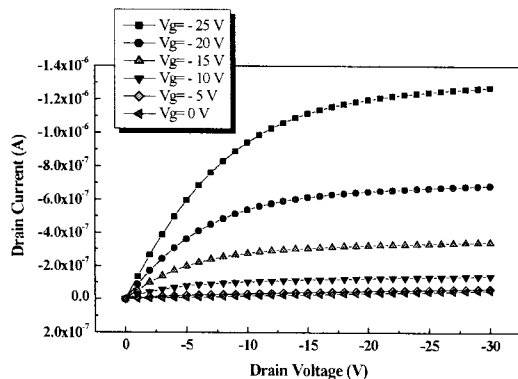


그림 4. Pentacene TFT의 출력 특성 곡선.

그림 4는 본 연구에서 제작한 유기 박막 트랜지스터의 출력 특성을 나타낸 것이다. 게이트 전압을 -5 V, -10 V, -15 V, -20 V, -25 V 로 각각 인가하였고, 드

레인 전압의 증가에 대한 드레인 전류의 증가와 포화되는 트랜지스터의 출력 특성을 얻을 수 있었다. 그리고, 게이트 전압의 증가에 대한 드레인 전류가 증가하는 특성을 얻을 수 있었다. 이로부터 게이트 전압이 증가함에 따라 TFT의 활성층인 pentacene에서 채널이 형성되는 것을 알 수 있었으며 포화영역이 잘 나타나는 특성 곡선을 확인할 수 있었다.

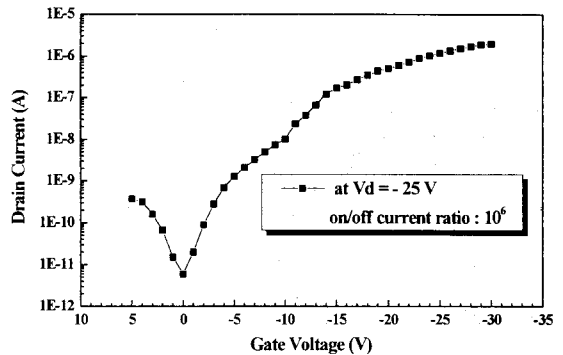


그림 5. Pentacene TFT의 전달 특성 곡선.

그림 5는 본 연구에서 제작한 유기 박막 트랜지스터의 전달 특성을 나타낸 것이다. 드레인과 소스 사이의 전압을 -25 V 로 고정시키고 게이트 전압을 0 V 에서 -30 V 까지 변화시키면서 드레인 전류를 측정하였다. Pentacene TFT 소자의 문턱 전압과 전계 효과 이동도는 다음과 같은 수식들을 이용하여 얻어질 수 있다. 식 (1)은 선형 영역(linear region)에서 드레인 전류를 나타내고, 식 (2)는 포화 영역(saturation region)에서 드레인 전류를 각각 나타낸다.<sup>7)</sup>

$$I_d = \frac{W}{L} C_i \mu \left[ (V_g - V_t) V_d - \frac{V_d^2}{2} \right] \quad (1)$$

$$I_d = \frac{W}{2L} C_i \mu (V_g - V_t)^2 \quad (2)$$

수식에서  $\mu$  는 전계 효과 이동도이고  $W$  는 채널의 폭,  $L$  은 채널의 길이를 나타낸다. 또한  $C_i$  는 단위 면적당 절연체의 캐패시턴스 성분이며  $V_t$  는 문턱전압,  $V_g$  는 게이트 전압,  $V_d$  는 드레인 전압을 각각 나타낸다.

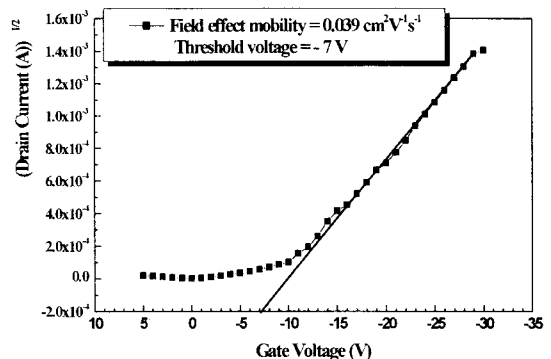


그림 6. Pentacene TFT의 전달 특성 곡선.

그림 6에서는 게이트 전압  $V_g$  에 대한  $I_d^{1/2}$  의 특성 곡선을 나타내었다. 소자의 채널 길이  $L$  은  $50 \mu\text{m}$  , 채널 폭  $W$  는  $5 \text{ mm}$  , 게이트 절연체의 커패시턴스  $C_i$  값은  $2.656 \text{ nF/cm}^2$  ( $f=100 \text{ kHz}$ )이다. 식 (2)을 사용하여 pentacene TFT 소자의 전계 효과 이동도를 구하면  $0.039 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 로 나타났으며 linear fitting의 결과 값은 문턱 전압을 나타내는데  $-7 \text{ V}$  이다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 유기물 반도체 중에서 전기적 특성이 우수한 pentacene을 활성층으로 사용하고 게이트 절연층으로 간단한 스피코팅과 경화과정으로 성막할 수 있는 OPTMER PC403 을 이용하여 유기 박막 트랜지스터를 제작하였다. 제작된 pentacene TFT 소자의 전달특성에서 전계효과 이동도가  $0.039 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$  이었고, 문턱 전압값이  $-7 \text{ V}$ , on/off current ratio 가  $10^6$  으로 나타났다. 활성층을 성막할 때 패터닝 시키면 누설전류를 감소시킬 수 있을 것이며 또한 게이트 절연체와 활성층 사이의 불순물의 영향을 줄이고 활성층을 성막할 때 기판에 적절한 온도를 줌으로써 pentacene의 결정성을 향상시키면 더 좋은 특성을 얻을 수 있을 것이다.

본 연구에서 제작한 유기 박막 트랜지스터는 절연층과 활성층을 유기물로 사용하면서 전극을 제외한 부분을 유기물화 하였다. 소자의 특성을 더욱 향상시킨다면 무기 박막 트랜지스터와 비교하여 상당한 경쟁력을 가질 수 있을 것이다.

본 연구는 한국정보통신연구원의 국내위탁연구 과제(2000년도)에 의하여 수행되었음.

### (참 고 문 헌)

- [1] Zhenan Bao, John A. Rogers and Howard E. Katz, "Printable organic and polymeric semiconducting materials and devices", Journal of Chemistry Materials Feature Article, 1999
- [2] Hagen Klauk, David J. Gundlach, Jonathan A. Nichols, and Thomas N. Jackson, "Pentacene Organic Thin-Film Transistors for Circuit and Display Applications", IEEE Transactions on electron devices, vol. 46, no. 6, 1999.
- [3] A. Dodabalapur, L. Torsi, and H. E. Katz, "Organic transistors: Two-dimensional transport and improved electrical characteristics.", Science, 268, pp. 270-271, 1995.
- [4] A. R. Brown, A. Pomp, C. M. Hart, and D. M. de Leeuw, "Logic gates made from polymer transistors and their use in ring oscillators.", Science, vol. 270, pp. 972-973, 1995.
- [5] C. A. Armstrong, S. Uppal, J. J. Appl. Phys. vol. 37, p. 1721, 1998.
- [6] D. J. Gundlach, Y. Y. Lin, T. N. Jackson, "Pentacene organic thin film transistors-Molecular ordering and mobility." IEEE Electron Device lett., vol. 18, pp. 87-89, 1997.
- [7] Gilles Horowitz, Mohsen E. Hajlaoui, and Riadh Hajlaoui, "Temperature and gate voltage dependence of hole mobility in polycrystalline oligothiophene thin film transistors.", J. Appl. Phys. vol. 87, no. 9, p. 4456, 2000.