

Polyimide를 게이트 절연층으로 사용한 유기 박막 트랜지스터의 전기적 특성에 관한 연구

김용변, 김윤명, 김영관, 김정수
 *홍익대학교 전기제어공학과, **홍익대학교 화학공학과

A study on electrical characteristics of organic thin film transistor using polyimide for gate dielectric layer

Ok-Byoung Kim, Yun-Myoung Kim, Young-Kwan Kim, Jung-Soo Kim
 *Dept. of Electrical and control Eng., Hongik Univ., **Dept. of Chemical Eng., Hongik Univ.

Abstract - Organic semiconductors based on 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, polyamic acid was spin-coated and cured into polyimide at 350°C. Electrical characteristics of the devices were investigated, where the channel length and width was 50µm and 5mm. It was found that field effect mobility was 0.012cm²/Vs, and on/off current ratio was 10³.

1. 서 론

유기 반도체 물질은 성형성, 유연성, 경제성 등의 장점 때문에 기존의 전기전자 소자들을 대체하거나 보완할 수 있는 소재로 그 응용 범위가 크다.^{1,2)} 섬유나 필름 형태로 성형하기가 쉽고, 가볍고 유연하다는 물리적 특성 외에도 적은 비용으로 능동 소자를 제작할 수 있어 경제적인 장점이 있다.^{3,4)} 이러한 장점을 가지는 유기 반도체 소자는 디스플레이 능동소자로 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.⁵⁾ 그러나 a-Si:H TFT 소자는 전계 효과 이동도가 작아서 디스플레이의 대면적화가 어렵다는 단점 때문에 다른 구동소자에 대한 연구가 진행 중에 있다. 특히 유기물을 활성층으로 사용한 유기 TFT에 대한 연구에 많은 관심이 모아지고 있다.

본 연구에서는 pentacene을 박막트랜지스터 (thin film transistors; TFT)의 활성층 (active layer)으로 사용하여 TFT를 제작하였고 기존의 박막트랜지스터에서 게이트 절연막으로 사용되고 있는 SiO₂ 나 SiN_x를 대신하여 polyimide를 절연막으로 사용하였다. Polyimide는 스펀 코팅과 경화 과정을 통해 간단하게 성막할 수 있으므로 TFT 제작 공정을 단순화시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 활성층의 성막 방법으로는 유기물질의 결정성 및 표면 균일도를 향상시킬 수 있는 방법인 OMBD (Organic Molecular Beam Deposition)법으로 성막 하였다.

2. 본 론

2.1 소자의 구조 및 제작 방법

본 실험에서는 채널을 형성하는 활성층으로 진공 증착이 가능한 pentacene을 사용하였다. Pentacene은 p형 반도체의 특성을 나타내며 박막 형태로 만들어졌을 때 매우 높은 이동도를 가지는 유기물로서 보고되고 있다.⁶⁾ 하나의 pentacene 분자는 5개의 방향족 탄화수소가 연결되어 한 분자를 이룬다. 그림 1은 채널 형성층으로 사용된 pentacene의 분자 구조이다.

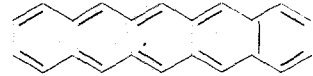


그림 1. pentacene의 분자 구조.

그림 2는 pentacene TFT 소자의 단면도이다. 유리 기판 위에 게이트 전극을 형성하기 위하여 photolithography (PR) 공정을 수행한 후 열 증착법 (thermal evaporation)으로 알루미늄 (Al)을 증착하였다.

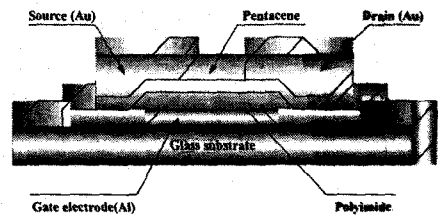
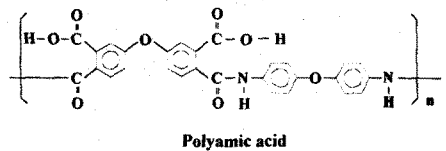
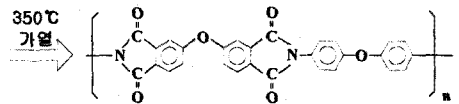


그림 2. pentacene thin film transistor의 구조.

형성된 게이트 전극 위에 절연층을 형성하기 위하여 polyamic acid를 스펀 코팅하고 350°C에서 1시간동안 경화시켜 polyimide를 형성하였다. 그림 3에서 경화시키기 전의 polyamic acid의 분자구조와 350°C에서 경화시킨 후의 polyimide의 분자구조를 나타내었다.



Polyamic acid



Polyimide

그림 3. polyamic acid와 polyimide의 분자구조.

절연막인 polyimide층이 잘 형성되었는지 확인하기 위해 적외선 분광법으로 흡수 스펙트럼을 측정하였다. 그림 4는 polyimide의 적외선 흡수 스펙트럼을 나타낸 것이다. 파수가 1780 cm⁻¹에서 C=O에 의한 대칭 신축 진동이 나타났고, 1724 cm⁻¹에서 C=O에 의한 비대칭 신축 진동이 나타났다. 1502 cm⁻¹에서 C-C에 의한 신축 진동

이 나타났으며, 1376 cm^{-1} 에서 C-N에 의한 신축 진동이 나타났다. Polyimide의 특징적인 피크를 확인함으로써 경화 과정을 통해 polyamic acid가 polyimide로 변화된 것을 확인할 수 있었다.

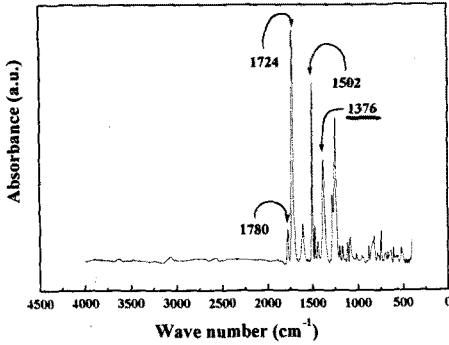


그림 4. polyimide의 적외선 스펙트럼.

게이트 절연막인 polyimide 위에 채널을 형성하는 pentacene을 OMBD법으로 성장하였다. 성장시 챔버 내부의 진공도는 5×10^{-7} Torr를 유지하였고, 성장 속도는 0.1~0.3 Å/s가 되도록 하였다. 소스와 드레인 전극은 채널 형성층인 pentacene과 ohmic 접합을 이루기 위해 일함수가 큰 금(Au)을 사용하였으며, 반도체 마스크를 통하여 채널의 길이가 50 μm , 채널의 넓이가 5 mm가 되도록 소자를 제작하였다.

2.2 Pentacene TFT의 전기적 특성

본 연구에서 제작된 pentacene TFT의 전기적 특성을 알기 위하여 소자의 전달 특성과 출력 특성을 각각 측정하였다. 전달 특성을 알기 위하여 드레인 소스-간 전압은 -30 V로 고정시킨 후 게이트 전압을 0 V에서 -30 V까지 변화시키면서 드레인 전류를 측정하였다.

pentacene이 p형 반도체 특성을 가지기 때문에 다수 캐리어는 정공이 되고, 유기 박막 트랜지스터는 축적 모드(accumulation mode)에서 동작하기 때문에 소스 전극을 공통 전극으로 하고 게이트 전극과 드레인 전극에 음의 전압을 인가해준다. 소자의 on/off 전류의 비는 10^5 이었고, 이를 그림 5에 나타내었다.

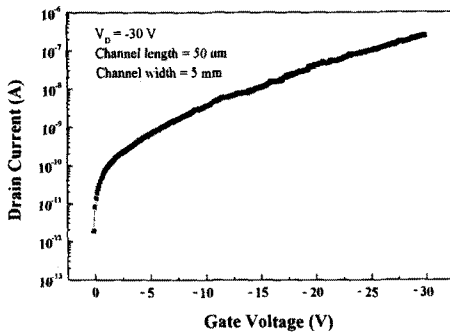


그림 5. pentacene TFT의 전달 특성 곡선.

pentacene TFT의 문턱전압과 전계 효과 이동도는 다음과 같은 수식들을 이용하여 얻어질 수 있다. 식 (1)은 선형 영역에서 드레인 전류를 나타내고, 식 (2)는 포화 영역에서 드레인 전류를 나타낸다.

$$I_d = \frac{WC_i\mu}{L} [(V_g - V_{th})V_d] - \frac{1}{2} V_d^2 \quad (1)$$

$$I_d = \frac{WC_i\mu}{2L} (V_g - V_{th})^2 \quad (2)$$

수식에서 μ 는 전계 효과 이동도이고 W 는 채널의 넓이, L 은 채널의 길이를 나타낸다. 또한 C_i 은 단위 면적당 절연체의 캐패시턴스 성분이며 V_{th} 는 문턱전압, V_g 는 게이트 전압, V_d 는 드레인-소스간의 전압을 나타낸다.

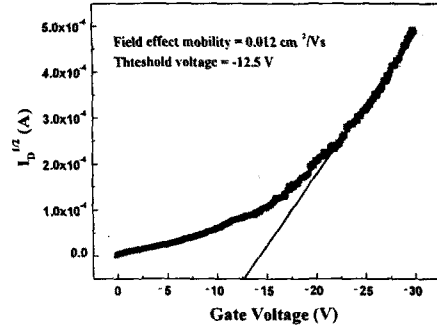


그림 6. pentacene TFT의 출력 특성 곡선.

그림 6에서는 측정된 전류-전압 특성 곡선에서 수식 (2)를 이용하여 V_g 에 대한 $I_d^{1/2}$ 의 특성곡선을 나타내었다. 식 (2)에 의해 계산된 pentacene TFT의 전계 효과 이동도는 0.012 cm^2/Vs 로 나타났으며 특성 곡선 안의 linear fitting 직선은 문턱 전압이 -12.5 V임을 나타내고 있다.

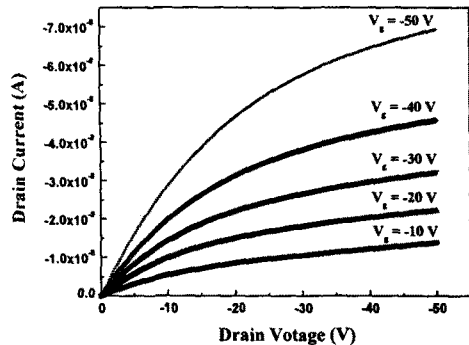


그림 7. pentacene TFT의 출력 특성 곡선.

그림 7은 본 연구에서 제작한 트랜지스터의 출력 특성을 나타낸 것이다. 각 게이트 전압에 대해서 드레인 전압이 증가함에 따라 드레인 전류가 증가하고, 포화되는 특성을 얻을 수 있었다. 그리고, 게이트 전압이 증가함에 따라 드레인 전류가 증가하는 특성을 얻을 수 있었다. 이로부터 게이트 전압이 증가함에 따라 TFT의 활성층인 pentacene에서 채널이 형성되는 것을 확인하였고 포화영역이 잘 나타나는 특성 곡선을 확인할 수 있었다.

3. 결 론

본 연구에서는 유기물 반도체인 pentacene을 활성층으로 사용하여 트랜지스터를 제작하였으며, 그 박막의 전

기적 특성에 관하여 연구를 하였다. 소스-드레인은 금을 사용하였고, 게이트 전극으로는 알루미늄을 사용하였다. 공정을 단순화하기 위한 방법으로 절연층에 유기물인 polyimide를 사용하였다. polyimide를 사용함으로써 열적 성장이나 화학적 증착 공정(CVD)을 거치지 않고도 게이트 절연막을 형성할 수 있었고, TFT에서 전극을 제외한 다른 층들에 모두 유기물이 사용된 TFT를 제작할 수 있었다.

pentacene TFT의 전계 효과 이동도는 $0.012 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이었고, on/off 전류비는 10^5 , 문턱 전압은 -12.5 V 로 나타났다. 차후에는 본 실험에서 사용된 polyimide 이외에 다른 유기물 중 절연 성질과 박막 형성이 용이한 유기물을 TFT 소자의 절연체로 이용하여 제작한다면 더욱 좋은 소자 특성이 기대된다. 또한 활성층 성장시 기판 온도를 가열하여 성장 한다면 더 좋은 pentacene의 결정성을 얻을 수 있기 때문에 더 큰 전계 효과 이동도를 얻을 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 1998년도 한국학술진흥재단 과학기술기초중점연구지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] T. Tsumura et. al, Synth. Met., 25, 11 (1990)
- [2] A. Assadi, C. Svensson, M. Willander, and O. Inganas, Appl. Phys. Lett., 53, 195 (1988)
- [3] A. Dodabalapur, L. Torsi, and H. E. Katz, Science, 268, 270 (1995).
- [4] A. R. Brown, A. Pomp, C. M. Hart, and D. M. de Leeuw, Science, 270, 972 (1995).
- [5] C. A. Armstrong, S. Uppal, J. J. Appl Phys. 37, 1721 (1998)
- [6] D. J. Gundlach, Y. Y. Lin, T. N. Jackson, IEEE Electron Device Lett., 18, 87 (1997)
- [7] F. Garnier, Chemical Physics, 227, 253 (1998)