

α -6T(sexithiophene)을 이용한 유기 박막 트랜지스터 제작 및 전기적 특성 연구

A Study on the Electrical Characteristics and Fabrication for Organic Thin Film Transistor Using α -6T(sexithiophene)

김옥병*, 김대엽*, 표상우*, 이한성*, 김영관**, 김정수*
*홍익대학교 전기제어공학과 **홍익대학교 화학공학과

Ok-Byoung Kim*, Dae-Yop Kim*, Sang-Woo Pyo*, Han-Sung Lee*, 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 conjugated thiophene oligomer have great potential to be utilized as an active layer for electronic and optoelectronic devices. In this study, α -sexithiophene(α -6T) thin films and various electrode materials were deposited by Organic Molecular Beam Deposition(OMBD) and vacuum evaporation respectively. Those films were photolithographically patterned for measurements. Electrical characterization of the thin film transistor with various channel length were measured, and field effect mobility is calculated by formula.

1. 서론

유기 반도체 물질은 성형성, 유연성, 경제성 등의 장점 때문에 무기 반도체 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 능동소자를 제작할 수 있어 경제적인 장점이 있다.^{3,4)} 이런 장점을 가지는 유기 반도체 소자는 디스플레이 능동소자로 충분히 이용이 가능하다. 현재 TFT-LCD display에서 화소의 구동소자로써 수소화된 비정질 실리콘 트랜지스터(amorphous silicon thin-film transistors; 이하 a-Si:H TFT)가 사용되고 있다.⁵⁾ 그러나 a-Si:H TFT소자의 단점 때문에 다른 구동소자에 대한 연구가 진행 중에 있다.

본 연구에서는 α -6T(sexithiophene)를 박막트랜지스터(thin film transistors, TFT)의 활성층(active

layer)으로 사용하여 TFT를 제작하였고 현재까지 무기 박막트랜지스터에서 사용되어진 SiO₂ 나 SiN_x 대신에 polyimide를 사용하여 소자의 절연체를 구현하였고 활성층의 성막 방법으로는 유기물질의 결정성 및 표면 균일도를 향상시킬 수 있는 방법인 OMBD(Organic molecular beam deposition)법으로 성막 하였다.

2. 시편 제작 및 실험 방법

본 실험에서는 채널을 형성하는 활성층으로 α -6T를 사용하였다. Thiophene 소중합체중 α -6T는 낮은 분자량과 높은 열적 안정성, 높은 순수성을 가지고 있는 소중합체로, 6개의 단량체(monomer)가 서로 체인(chain)으로 연결되어 있는 구조를 가진다.⁶⁾ 그림 1에서 α -6T의 분자구조를 나타내었다.

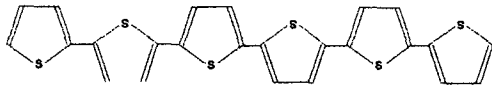


그림 1. α -6T의 분자 구조

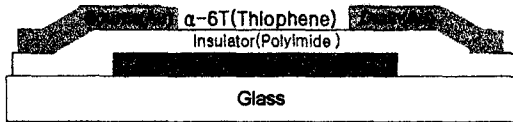


그림 2. α -6T(sexithiophene) thin film transistor의 구조

그림 2에서는 α -6T TFT 소자의 단면도를 보여 주고 있다. α -6T TFT 제작시 사용된 기판은 corning 2948을 사용하였으며, 각각의 전극들을 형성하기 위하여 Photolithography(PR)공정을 수행한 후 열 증착법(thermal evaporation)으로 각각의 전극을 증착하였다. 그림 3에서는 각각의 전극을 형성하는데 기본적인 단위공정인 PR공정 및 lift-off공정을 나타내었다.

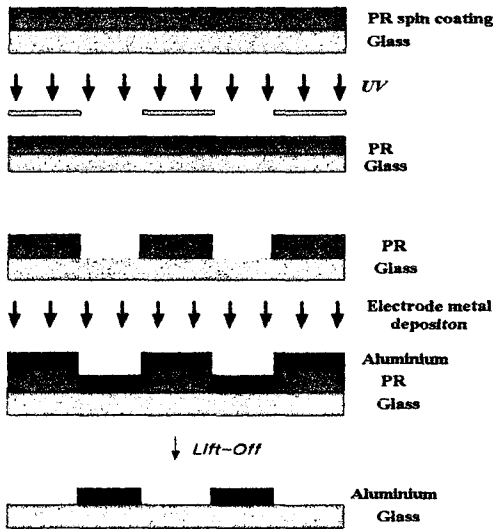


그림 3. Photolithography 및 Lift-off

게이트 전극은 Aluminum(Al)을 사용하였으며 그림 3의 단위공정을 수행한 후 전극을 형성하였다.

Al전극의 표면처리 및 절연체와의 접촉특성을 향상하기 위하여 형성된 전극을 400°C에서 1시간동안 열처리를 하였다.

형성된 게이트 전극 위에 유기물질을 이용하여 절연층을 형성하기 위하여 polyimide(JALS-171)을 두께를 100nm로 스펀 코팅하였다. 코팅된 polyimide를 230°C에서 1시간동안 curing하였다.

소스와 드레인층은 금을 사용하였는데 게이트 전극과 같은 방법으로 두께 150nm를 형성하였다. 소스와 드레인간 채널의 넓이(channel width)는 5mm로 유지하고 채널 길이가 각각 150 μ m와 200 μ m인 소자를 제작하여 소자의 전달 특성을 측정하였다.

활성층은 OMBD 장비를 이용하여 성막 하였는데, 그림 4에서는 OMBD장비의 main chamber의 구조를 나타내었다.

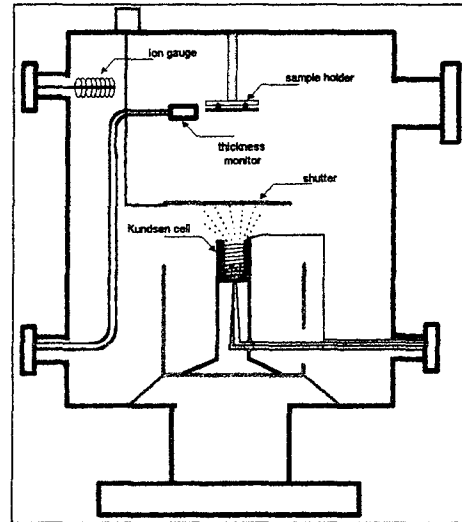


그림 4. OMBD main chamber.

α -6T인 분말시료를 초고진공 챔버(chamber)안에 있는 파이렉스(pyrex)유리로 제작된 Knudsen 셀에 넣고 챔버 외부에서 전류를 인가하여 Knudsen 셀의 온도를 변화시켜 α -6T 분자량을 조절하면서 성막 속도를 제어한다. OMBD장비는 챔버 외부에 터보 분자펌프와 로터리 펌프를 통하여 챔버 내부의 진공도를 10⁻⁹ Torr 이하로 유지할 수 있고 이온 게이지, 시편 홀더, 두께 측정 장치, Knudsen 셀 등으로 구성되어 있다. 본 실험에서 α -6T의 성막시 진공도는 10⁻⁸ Torr 이었으며 성막속도는 0.1 ~ 0.3 Å/s 유지시키면서 100nm를 성막하였다.

3. 실험 결과 및 검토

α -6T TFT의 전달 특성을 알기 위하여 TFT의 채널 length를 150, 250 μ m로 width를 5mm로 제작하였고 드레인 전압은 2V로 고정시킨 후 게이트 전압을 0V에서 -50V까지 변화시키면서 드레인 전류를 측정하였다. 각각의 소자에서 가장 큰 on/off ratio값은 10^9 이었고 이를 그림 5에 나타내었다.

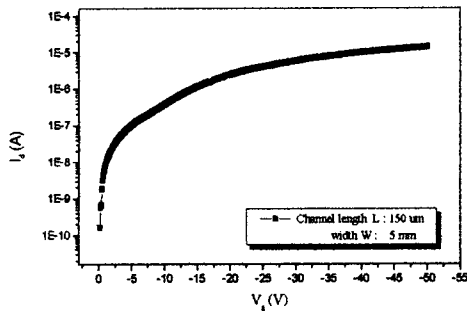


그림 5. α -6T TFT의 전달특성곡선($V_d = 2V$).

측정된 결과 값에서 높은 게이트 전압을 인가하여도 드레인 전류 값이 낮은 이유는 활성층에서 채널(channel)의 형성이 잘 이루어지지 않은 것으로 추정되며 그 이유는 polyimide에 의한 활성층에서의 채널의 형성이 원활하지 못한 것이라 사료되어진다.

α -6T TFT의 문턱전압과 전계효과 이동도의 수식은 다음과 같은 수식들로 인하여 얻어질 수 있다.

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

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

수식에서 μ 는 전계효과 이동도이고 W 는 channel width, L 은 length를 나타낸다. 또한 C_i 는 단위면적당 절연체의 캐패시턴스 성분이며 V_{th} 는 문턱전압, V_g 는 게이트전압, V_d 는 드레인-소스간의 전압을 나타낸다.

그림 6에서는 α -6T TFT소자의 드레인 전극과 게이트 전극을 단락 시킨 후 측정된 전류-전압특성곡선에서 수식 (2)을 이용하여 $I_d^{1/2}$ 대 $V_g = V_d$ 의 특성곡선을 나타내었다. 수식에 의해 구한 α -6T TFT의 전계효과 이동도는 0.0016 cm^2/Vs 로 나타났으며 문턱

전압값은 -9.60V로 관측되다. 특성 곡선 안의 linear fitting 직선은 문턱전압 값을 나타내고 있다.

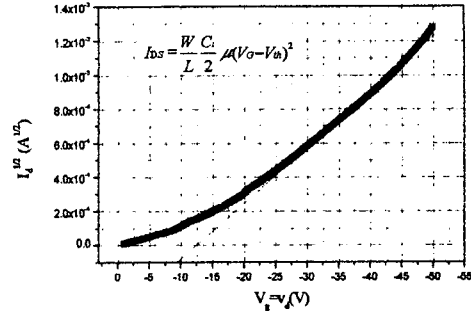


그림 6. 포화영역에서 측정된 α -6T TFT의 전류-전압 특성곡선($L = 150\mu m, W = 5mm$)

4. 결론

본 연구에서는 유기물 중에서 α -6T을 활성층으로 사용하여 트랜지스터를 제작하였으며, 그 박막의 전기적 특성에 관하여 연구를 하였다. 소스-드레인 은 금을 사용하였고, 게이트 전극으로는 알루미늄을 사용하였다. 공정을 단순화하기 위해 절연층으로 유기물인 polyimide를 사용하였다,

α -6T TFT의 전달특성으로 전계효과 이동도는 0.0016 cm^2/Vs 이었고 문턱전압값은 -9.60V로 나타났다. 추후에 polyimide 이외에 다른 유기물 중 절연체 성질과 박막형성이 용이한 유기물을 TFT소자의 절연체로 이용하여 제작한다면 더욱 좋은 소자특성이 기대된다. 또한 활성층 성막시 기판온도를 가열하여 성막 한다면 더욱 좋은 α -6T의 결정성을 얻을 수 있기 때문에 차후에 이러한 연구가 수행되어야 할 것이다.

Acknowledgements

This study is supported by the academic research fund of ministry of education, Republic of Korea.

References

- 1) T. Tsumura et al, Synth. Met., 25, 11 (1990).
- 2) A. Assaif, C. Svensson, M. Willander, and O. Inganas, Field-effect mobility of poly(3-hexylthiophene). Appl. Phys. Lett., vol. 53, pp.195-197, (1988)
- 3) A. Dodabalapur, L. Torsi, and H. M. 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 "Differentiation of effects due to Grain and Grain Boundary Traps in Laser annealed Poly-Si Thin Film Transistors" *J. Appl Phys.* Vol. 37, pp.1721 ~ 1727, (1998)
- 6) S. Hotta & K. Waragai, *Adv. Mater.*, 5, 896 (1993).