

공액성 소중합체를 이용한 유기 박막 트랜지스터 제작 및 특성에 관한 연구

김옥병* · 김덕영** · 김영관** · 손병청** · 김정수*

*홍익대학교 전기제어공학과, **홍익대학교 화학공학과
(1999년 11월 15일 접수 ; 1999년 12월 3일 채택)

A Fabrication and Characterization of Organic Thin Film Transistor Using Conjugated Oligomers

Ok-Byoung Kim* · Duck-Young Kim* · Young-Kwan Kim**
Byoung-Chung Sohn** · Jung-Soo Kim*

*Dept. of Electrical and control Eng., Hongik Univ.

**Dept. of Chemical Eng., Hongik Univ.

(Received November 15, 1999 ; Accepted December 3, 1999)

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, a conjugated oligomer such as α -sexithiophene (α -6T) thin films was prepared by the Organic Molecular Beam Deposition (OMBD), and various electrode materials were also deposited by a simple vacuum evaporation, respectively. Those films were photolithographically patterned for the electrical measurements. Electrical characterization of the thin film transistor with various channel length were executed and the field effect mobility of these thin film transistors were also calculated by the formula using the experimental data.

1. 서론

유기 반도체 물질은 성형성, 유연성, 경제성 등의 장점 때문에 무기 반도체 전기 및 전자 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} 이런 장점을 가지는 유기 반도체 소자는 디스플레이 능동 소자로 충분히 이용이 가능하다. 현재 TFT-LCD(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display)에서 화소의 구동 소자로는 수소화된 비정질 실리콘 트랜지스터(amorphous silicon thin-film transistors; 이하 a-Si:H TFT)가 사용되고 있다.⁵ 그러나 a-Si:H TFT 소자의 단점 때문에 다른 구동소자에 대한 연구가 진행 중에 있다.

본 연구에서는 α -6T(sexithiophene)를 박막 트랜지스터의 활성층(active layer)으로 사용하여 TFT

를 제작하였고, 현재까지 무기 박막 트랜지스터에서 사용되어진 SiO₂나 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 Fig. 1에 α -6T의 분자구조를 나타내었다. Fig. 2에는 α -6T TFT 소자의 구조를 보여주고 있다. α -6T TFT 제작시 기판은 coming 2948을 사용하였으며, 각각의 전극들을 형성하기 위하여

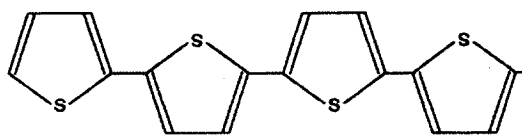


Fig. 1. The molecular structure of α -Sexithiophene(6T) using in the study

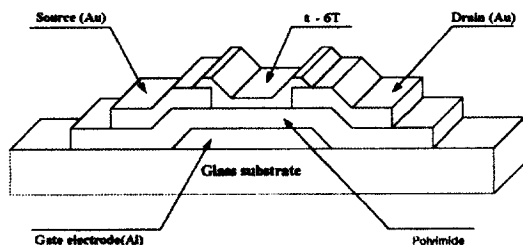


Fig. 2. The device scheme of α -6T(sexithiophene) thin film transistor

photolithography(PR) 공정을 수행한 후 열 진공 증착법(thermal vacuum evaporation)으로 각각의 전극을 증착하였다. Fig. 3에는 각각의 전극을 형성하는데 기본적인 단위 공정인 PR 공정 및 lift-off 공정을 나타내었다.

게이트(gate) 전극은 aluminum (Al)을 사용하였으며, Fig. 3의 단위공정을 수행한 후 전극을 형성시켰다. Al 전극의 표면 처리 및 절연체와의 접촉

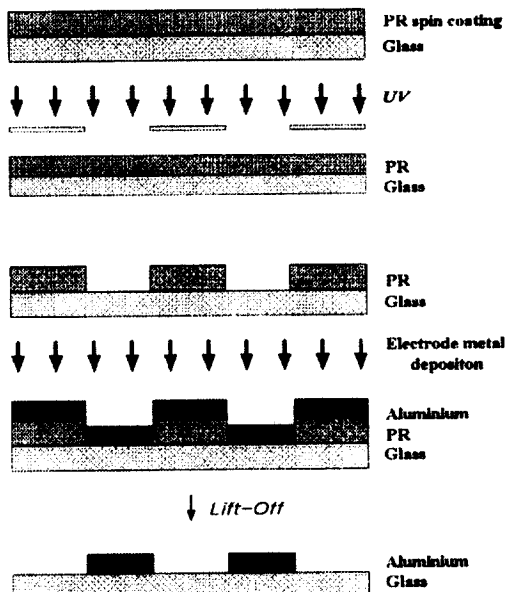


Fig. 3. The photolithography and lift-off processing

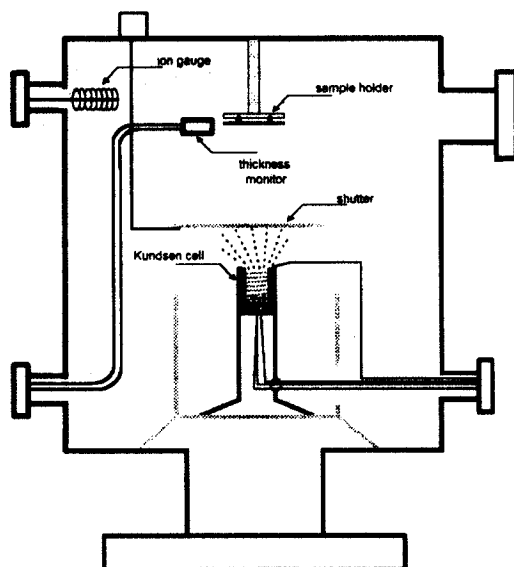


Fig. 4. The structure of OMBD main chamber

특성을 향상시키기 위하여 형성된 전극을 400°C에서 1시간 동안 열처리를 하였다. 형성된 게이트 전극 위에 유기물을 이용하여 절연층을 형성시키기 위하여 polyimide(JALS-171)로 두께가 100nm가 되도록 스핀 코팅(spin-coating)하였다. 코팅된 polyimide를 230°C에서 1시간동안 curing하였다. 소스(source)와 드레인(drain)은 gold(Au)를 사용하였으며, 게이트 전극과 같은 방법으로 두께 150nm를 형성시켰다. 소스와 드레인간 채널 넓이(channel width)는 5mm이고, 채널 길이(channel length)는 150 μ m인 소자를 제작하여 전기적 전달 특성을 측정하였다.

활성층은 OMBD 장비를 이용하여 성막 하였는데, Fig. 4에서는 OMBD장비의 주 챔버(main chamber)의 구조를 나타내었다. 분말 상태의 시료인 α -6T를 초 고진공 챔버 안에 있는 파이렉스(pyrex)로 제작된 Knudsen 셀(cell)에 넣고 챔버 외부에서 전류를 인가하여 Knudsen 셀의 온도를 변화시켜 α -6T 성막 속도를 조절하면서 두께를 제어하였다. OMBD 장비는 챔버 외부에 설치된 터보 분자 펌프와 로터리 펌프를 통하여 챔버 내부의 진공도를 10⁻⁹ torr 이하로 유지할 수 있었으며, 이온 게이지, 시편 홀더, 두께 측정 장치 및 Knudsen 셀 등으로 구성되어 있다. 본 실험에서 α -6T 성막시 진공도는 10⁻⁸ torr 이었으며, 성막 속도는 0.1~0.3 Å/s를 유지시키면서 100nm를 성막 하였다.

3. 실험 결과 및 검토

α -6T TFT의 전달 특성을 알아보기 위하여 TFT의 채널 길이를 150 μ m로, 채널 넓이를 5mm로 제작하였고, 드레인 전압은 2V로 고정시킨 후 게이트 전압을 0V에서 -50V까지 변화시키면서 드레인 전류를 측정하였다. 각각의 소자에서 가장 큰 on/off ratio값은 10⁵이었고 이를 Fig. 5에 나타내었다. 측정

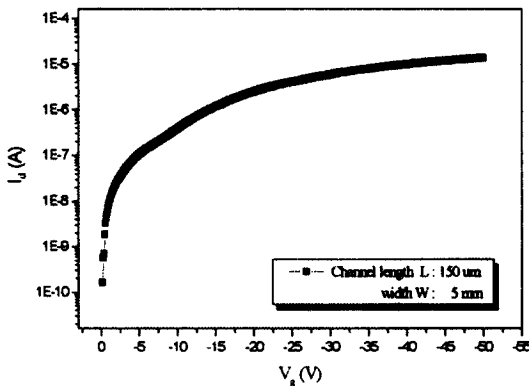


Fig. 5. The transfer characteristic curve of α -6T TFT fabricated in this study ($V_d = 2V$)

된 결과 값에서 높은 게이트 전압을 인가하여도 드레인 전류 값이 낮은 이유는 활성층에서 채널의 형성이 잘 이루어지지 않은 것으로 추정되며, 그 이유는 polyimide에 의한 활성층에서의 채널 형성이 원활하지 못했기 때문이라고 생각된다.

α -6T TFT의 문턱전압과 전계 효과 이동도의 수식은 다음과 같은 수식들로 얻어질 수 있다.

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

$$I_d = \frac{W \cdot C_i \cdot \mu}{2L} (V_g - V_{th})^2$$

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

Fig. 6에서는 α -6T TFT 소자의 드레인 전극과 게이트 전극을 단락 시킨 후 측정된 전류-전압 특성 곡선이며 수식 (2)를 이용하여 $V_g = V_d$ 에 대한 $I_d^{1/2}$ 의 특성 곡선을 나타내었다. 수식에 의해 구한 α -6T TFT의 전계 효과 이동도는 0.0016cm²/V·S로 나타났으며 문턱전압값은 -9.60V로 관측되었다.

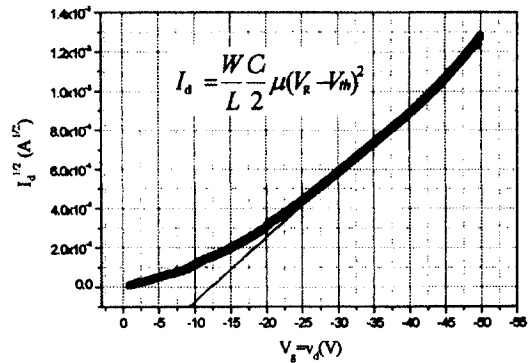


Fig. 6. The current-voltage characteristic curve of α -6T TFT in saturation region ($L = 150\mu m, W = 5mm$)

특성 곡선 안의 linear fitting 직선은 문턱전압 값을 나타내고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 유기물 중에서 α -6T를 활성층으로 사용하여 트랜지스터를 제작하였으며, 그 박막의 전기적 특성에 관하여 연구를 하였다. 소스-드레인은 Au를 사용하였고, 게이트 전극으로는 Al을 사용하였다. 공정을 단순화 하기 위해 절연층으로 유기물인 polyimide를 사용하였다.

α -6T TFT의 전달특성으로 전계효과 이동도는 0.0016cm²/V·S 이었고 문턱전압 값은 -9.60V로 나타났다. 추후에 더 뛰어난 절연성을 가지면서 박막 형성이 용이한 polyimide를 개발하여 TFT소자의 절연체로 이용한다면 더욱 좋은 소자 특성을 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 또한 활성층 성막시 기판온도를 가열하여 성막 한다면 더욱 향상된 α -6T의 결정성을 얻을 수 있기 때문에 차후에 이러한 연구가 수행되어야 할 것이다.

Acknowledgements

이 논문은 1999학년도 홍익대학교 교내 연구비에 의하여 연구되었음

References

- 1) Tsumura T., et al, *Synth. Met.*, 25, 11 (1990).
- 2) Assadi A., Svensson C., Willander M., and

- Inganas O., Field-effect mobility of poly(3-hexylthiophene). *Appl. Phys. Lett.*, **53**, pp.195-197, (1988)
- 3) Dodabalapur A., Torsi L., and Katz H. E., *Science* **268**, p.270 (1995).
- 4) Brown A. R., Pomp A., Hart C. M., and de Leeuw D. M., *Science* **270**, p.972 (1995).
- 5) Armstrong C. A., Uppal S., "Differentiation of effects due to Grain and Grain Boundary Traps in Laser annealed Poly-Si Thin Film Transistors" *J. J. Appl Phys.* **37**, pp.1721 ~ 1727 (1998)
- 6) Hotta S. and Waragai K., *Adv. Mater.*, **5**, p.896 (1993).