

Photoacryl을 게이트 절연층으로 사용한 유기 박막 트랜지스터의 전기적 특성에 관한 연구

A Study on the Electrical Characteristics of Organic Thin Film Transistor using Photoacryl as Gate Dielectric Layer

김윤명*, 표상우*, 심재훈**, 김영관***, 김정수*

(Yun Myoung Kim, Sang Woo Pyo, Jae Hoon Shim, Young Kwan Kim, Jung Soo Kim)

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. We have fabricated organic thin film transistors(OTFTs) and discuss electrical characteristics of the devices. For the gate dielectric layer, OPTMER PC403 photoacryl(JSR Co.) was spin-coated and cured at 220 °C. Electrical characteristics of the device were investigated, where the photoacryl dielectric layer thickness and pentacene active layer thickness were about 0.6 μm and 800 Å.

Key Words : thin film transistor, pentacene active layer, photoacryl dielectric layer

1. 서 론

최근 유기물을 박막트랜지스터(thin film transistor ; 이하 TFT)와 발광다이오드 소자에 응용하기 위한 연구가 활발히 진행 중에 있으며 유기 ELD(electroluminescent device)를 능동구동방식(active matrix)으로 사용하기 위한 TFT에 대한 다양한 연구가 진행 중에 있다. 현재 능동구동소자로는 수소화된 비정질 실리콘 트랜지스터(amorphous silicon thin-film transistors ; a-Si:H TFT)나 다결정 실리콘 트랜지스터(polycrystalline silicon TFT)

가 사용되고 있다. 그러나 a-Si:H TFT소자는 전계 효과 이동도가 작아서 디스플레이의 대면적화가 어렵다는 단점을 가지고 있고, 또한 poly-Si TFT소자는 전계 효과 이동도는 크지만 소자 공정상 poly-Si 층의 균일성에 대한 문제점을 가지고 있어 다른 구동소자에 대한 연구가 필요하다. 유기물을 이용하여 소자를 제작할 경우 상온에서의 공정이 가능하기 때문에, 유연성(flexibility)이 있고 가벼운 플라스틱 기판(plastic substrate)의 사용이 가능해지고, 간단한 공정으로 소자를 제작할 수 있어서 소자 제작비용을 적게 할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 유기 물질의 연구 중에 pentacene은 현재 TFT소자에서의 활성층(active layer)으로서 많이 사용되고 있는 비정질 실리콘(amorphous silicon)과 비슷한 운반체 이동도를 가질 수 있는 것으로 알려져 있으며 최근 pentacene을 이용하여 운반체 이동도가 2 cm²/Vs 인 TFT의 제작이 보고되었다.

* 홍익대학교 전기정보 제어공학과
(서울특별시 마포구 상수동 72-1 홍익대학교,
Fax: 02-320-1110
E-mail : wflsz@hanmail.net)

** 홍익대학교 과학기술연구소

*** 홍익대학교 기초과학과

본 연구에서는 pentacene를 활성층으로 사용하고 기존의 유기 TFT에서 게이트 절연층으로 사용되고 있는 SiO₂를 대신하여 OPTIMER PC403(JSR Co.)이라는 photoacryl을 절연층으로 사용하여 TFT를 제작하였는데 이로써 소자의 전극 부분을 제외한 모든 부분을 유기물화 하였다.

2. 실험 방법

Pentacene은 p형 반도체의 특성을 나타내며 박막 형태로 만들어졌을 때 매우 높은 이동도를 가지고 있어 전기적으로 특성이 우수한 유기물로서 보고되고 있다[1]. 하나의 pentacene 분자는 5개의 방향족 탄화수소(aromatic hydrocarbon)가 연결되어 한 분자를 이룬다. Fig. 1에 채널 형성층으로 사용한 pentacene의 분자구조를 나타내었다. 불순물의 영향을 줄이기 위하여 미리 구입한 pentacene(Aldrich Chemical Co., > 97 % purity)을 다시 한 번 정제하여 사용하였다.

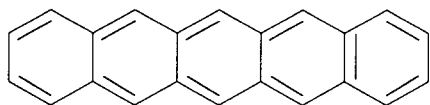


Fig. 1. The structure of pentacene molecular

유기물의 성막 방법은 유기물의 결정화에 중요한 요소를 차지한다. 단순한 열 증착법으로 성막할 때에는 성막시간의 단축과 방법상 편한 장점이 있지만 성막시 불순물도 함께 성막되기 때문에 막질이 그다지 우수하지 못하다는 단점을 가지고 있다. 활성층의 성막 방법으로는 증착시 나타나는 분자의 손상을 줄이며 유기물질의 결정성 및 표면 균일도를 향상시킬 수 있도록 Organic Molecular Beam Deposition (OMBD)법을 사용하였다. 분말 형태의 시료인 pentacene을 초고진공 챔버(chamber) 안에 있는 파이렉스(pyrex)유리로 제작된 knudsen 셀(cell)에 넣고 챔버 외부에서 전류를 인가하여 knudsen 셀의 온도를 변화시켜 pentacene의 성막 속도를 조절하면서 두께를 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 연구에서 pentacene의 증착시 진공도는 5×10⁻⁷ Torr, 증착속도는 0.3~0.7 Å/s

리고 기판은 상온으로 유지하였다. 성막된 pentacene막의 두께 측정은 Ellipsometry를 사용하였다. 각 전극은 웨도우 마스크를 사용하여 패턴을 형성하였는데 게이트 전극으로는 알루미늄(Al)을 소스-드레인 전극으로는 금(Au)을 사용하여 열진공증착법으로 성막하였다. photoacryl은 스펀코팅법으로 막을 형성하였고 220 °C에서 1시간동안 열처리하여 게이트 절연층을 형성하였다. 절연층으로 사용한 photoacryl의 유전율은 3.6 이고 1.6×10¹⁵ Ω/□의 저항값을 가진다. 전극 및 절연층의 두께 측정은 α-step을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 소자구조를 Fig. 2에 나타내었고 채널 길이와 폭은 소스-드레인 전극증착시 웨도우 마스크를 사용하여 각각 50 μm 와 5 mm로 결정하였다.

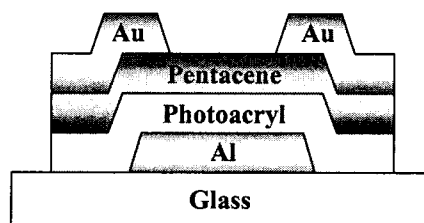
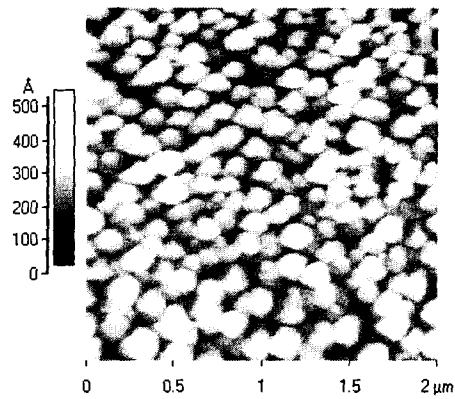


Fig. 2. The scheme of OTFT device

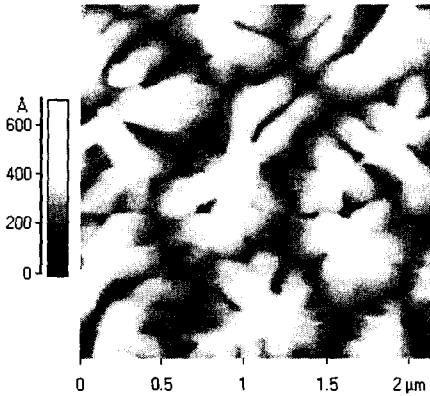
3. 결과 및 고찰

Pentacene은 약 10¹⁴ Ωcm의 저항 성분을 가지기 때문에 본 연구에서 사용된 소자구조에서는 채널 형성층에서 소스-드레인 전극까지의 거리인 pentacene의 두께는 전하들의 이동을 방해하여 소자의 전기이동도를 저하시키는 요인이 된다. 따라서 pentacene층의 두께를 줄이면 그만큼의 저항성분을 줄여 소자의 전기이동도를 향상시킬 수 있다.

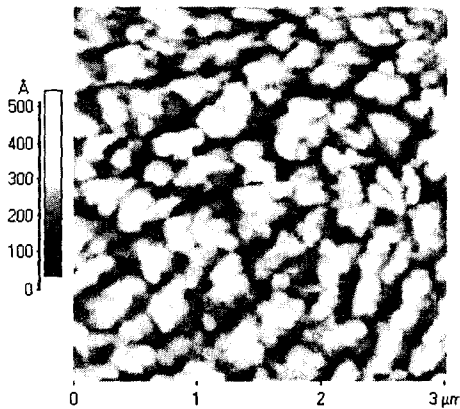
AFM(atomic force microscopy)을 이용하여 800 Å 정도 두께로 성막한 pentacene의 표면형상을 관찰하였는데 Fig. 3에 나타내었다. Pentacene막을 유리기판위에 성막한 것과 photoacryl위에 성막한 것, 그리고 PECVD(physical enhancement chemical vapor deposition)법으로 증착된 SiO₂위에 성막한 것을 각각 비교하여 그레인(grain)을 형성하는 모양과 크기가 각각 차이가 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 pentacene이 올려질 기판의 표면성질에 따른 차이때문인데 photoacryl위에 성막된 pentacene막의 그레인의 크기가 훨씬 더 크다는 것을 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. The AFM image of pentacene surface morphology : (a) On the glass, (b) On the photoacryl, and (c) On the SiO₂

그레인 크기가 크다는 것은 결정화가 잘 되었고 전기적 특성이 우수하다는 것을 의미한다. 보통 그레인의 경계에서 산란(scattering) 등이 일어나 운반체의 이동을 방해함으로써 전기적 특성을 떨어뜨린다. 그레인 크기가 크면, 그레인의 경계가 적어지게 되고 운반체의 산란 또한 적어지게 되어 전기적 특성은 그레인 크기가 작은 것에 비해 우수하다.

Photoacryl을 기존 두께의 반 정도인 0.6 μm 두께로 성막한 후, MIM(metal-insulator-metal)구조를 사용하여 절연과피현상 실험을 하였고 Fig. 4에 나타내었다. 필요로 하는 동작 전압영역에서 절연과피 현상이 일어나지 않았기 때문에 게이트 절연층으로 사용한 photoacryl의 두께를 줄여 소자를 제작할 수 있게 되는데, 이때 절연층의 두께가 줄어들면서 더 작은 동작 전압영역에서 채널층에 전하들을 축적할 수 있게 되므로 TFT 동작 특성이 향상된다.

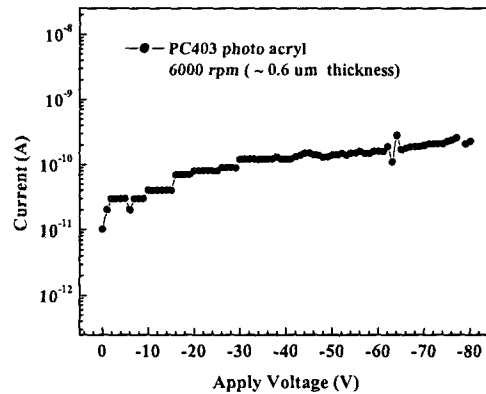
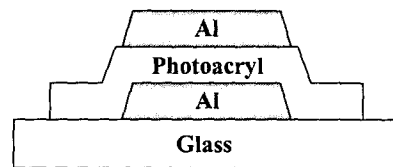


Fig. 4. The scheme of MIM sdevice and I-V characteristic

Pentacene은 p형 반도체 특성을 가지기 때문에 다수캐리어(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 전

압을 인가하여 전기적 특성을 측정하였다. 소자의 전기적 특성은 Keithley 238, 617 source measurement unit을 사용하여 이루어졌다.

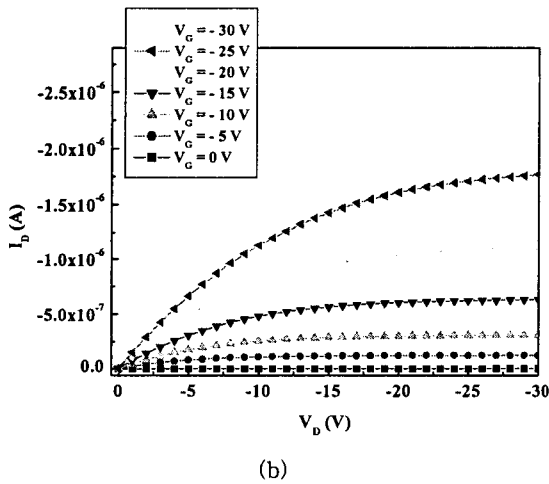
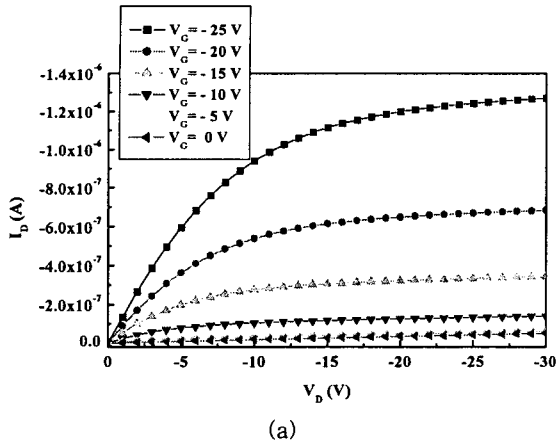


Fig. 5. The output characteristics of OTFTs : (a) Pentacene thick. = 1500 Å / Photoacryl thick. = 1.2 μm, and (b) Pentacene thick. = 80 Å / Photoacryl thick. = 0.6 μm

Fig. 5에서 pentacene층의 두께와 절연층의 두께를 각각 ~80 Å과 ~0.6 μm로 줄인 소자는 절연층의 두께가 줄어들면서 더 작은 동작 전압 영역에서 채널층에 전하들을 추적 할 수 있게 되고, 또한 pentacene층의 두께를 줄여 채널에서 소스-드레인 전극으로 이동할 때 캐리어들이 받게되는 저항성분이 줄어들었기 때문이다.

4. 결론

본 연구에서는 photoacryl을 OTFT의 게이트 절연층으로 사용하여 소자를 제작하여 전기적 특성을 살펴보았다. Photoacryl은 스펀코팅과 열처리과정으로 간단히 성막할 수 있으며 또한 SiO₂를 게이트 절연층으로 사용하는 OTFT소자에서 결정성 향상을 위해 pentacene 증착시 SiO₂ 위에 OTS(octadecyltrichlorosilane) 처리[2]를 하는 부가적인 방법 없이도 pentacene층의 결정성이 좋은 장점을 가지고 있다. 제작한 OTFT의 게이트 절연층의 두께와 pentacene층의 두께를 줄임으로써 소자의 전기적 특성을 향상시킬 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2001년도 홍익대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] 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.
- [2] 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