

OTFT에 대한 OPVD시스템 적용에 대한 연구

이 명원, 김 광현, 허 영현, 김강대, 송정근, *황성범, **김용규
동아대학교 전기전자컴퓨터공학과, *경남정보대학교, **거창기능대학교
전화 : 051-200-6965 / 핸드폰 : 016-571-3147

The Study of Pentacene Thin Film Growth by Organic Physical Vapor Depositon System

Myung Won Lee, Kwang Hyun Kim, Yong Xian Xu, Dae Kang Kim,
Chung Kun Song, *Sung Bum Hwang
Dev.of Electrical & Electronics & Computer Eng., Dong-A University
840 Hadan-donga, Saha-gu, Busan, 604-714, Korea
iljime@smail.donga.ac.kr
*Dept. of Electronics Information Communication, Kyung-Nam College
**Keochang Polytechnic College

요약

본 논문에서는 OPVD시스템을 이용하여 펜타센 박막을 형성하였고 소자제작을 통해 그 특성을 평가 하였다. OPVD시스템을 이용하여 제작된 OTFT의 이동도는 $0.01\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 로써 기존의 OMBD로 제작된 OTFT보다 약 10배 정도 향상된 값을 나타냈으며, SS는 2.5 Ion/off ratio 는 10^4 , 누설전류는 100pA 였다. 이러한 OPVD시스템에 의한 방법은 대면적 성막이 가능할 뿐만 아니라 형성된 박막의 결정도 또한 기존의 OMBD방법으로 형성된 박막보다 월등하였다.

I. 서론

유기 반도체는 반도체 특성을 나타내는 공액성 유기고분자인 폴리아세틸렌이 개발된후, 유기물의 특성 즉합성 방법의 다양함, 섬유나 필름 형태로의 성형이 용이함, 유연성, 전도성, 저렴한 생산비 때문에 새로운 전기전자재료로서 기능성 전자소자 및 광소자등 광범위한 분야에서 활발한 연구가 이루어지고 있으며, 특히, 유기 박막 트랜지스터(organic thin film transistor ;OTFT)는 기존의 고체 실리콘 트랜지스터로써 실현할 수 없는 두루마리 디스플레이, 스마트카드, RF 태그 등의 응용분야의 핵심소자로 활용될 수 있기 때문에 활발한 연구가 수행되고 있다[1-3]. OTFT의 성능은 주로

유기 활성박막의 결정도에 좌우된다. 결정도는 유기박막의 성장공정과 유기박막이 성장될 게이트 절연층의 표면상태에 큰 영향을 받기 때문에 박막성장공정 및 표면상태의 최적화에 연구가 집중되고있다[4-6]. 우수한 성능으로 보고되는 현재의 OTFT의 활성층은 OMBD에 의해 증착되어진 것이다. OMBD로 증착하는 것은 양질의 결정을 형성하고 높은 성능을 얻기 위해서이다. 그러나 OMBD시스템은 대면적에 적용할수 없으며 저렴한 생산비에 대응되지 못하고 있다. 현재 잉크젯과 프린트 방법과 같은 몇몇의 다른 매력적인 방법이 제안되고 있으나 이러한 방법들은 특별한 유기물이나 폴리머 등의 새로운 물질이 요구되어지며 박막 또한 OMBD로 증착된 박막에 비해 그 질이 상당히 떨어진다.

본 논문에서는 OPVD시스템을 이용하여 박막을 형성하였고 이러한 방법은 대면적뿐만 아니라 소자제작에 대한 용이함을 제공한다. 그리고 이러한 방법에 의해 형성된 박막의 결정도 또한 기존의 OMBD방법으로 형성된 박막보다 월등하였다.

II. 소자제작 및 실험

2.1 OTFT의 기본 구조

그림1은 OTFT의 구조를 보여주고 있으며 기판은 하이드로필된 p타입 실리콘 기판을 사용하였다. 게이트전극과 소스, 드레인 전극은 lift-off 공정으로 Au를 이용하여 형성하였고, 절연막은 열산화막을 600Å의 두께로

성장하여 이용하였다. 유기활성층인 펜타센은 공정의 마지막으로 웨도우 마스크를 이용하여 OVPD 시스템을 통해 증착시켰다.

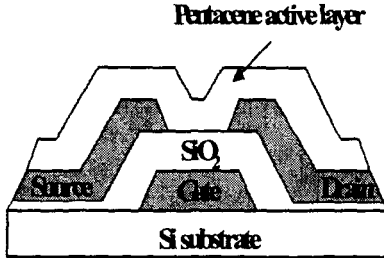


그림 1. 펜타센 OTFT의 구조

2.2 실험 및 고찰

유기박막의 품질 즉 결정도와 입계(grain)의 크기는 기판의 상태와 성장 조건에 좌우된다. 고품질 유기박막을 성막하기 위해서는 핵자밀도가 작아야 한다. 핵자밀도는 $N_i \sim \frac{F}{D}$ 의 관계를 가지는데 여기서 F는 유기분자의 증발율, D는 유기분자의 기판표면에서 확산계수를 나타낸다. 그리고, 확산계수는 $D = a^2 \cdot k_s$ 이고, a는 표면전위에너지의 마디사이의 간격이고, k_s 는 분자가 전위에너지의 마디와 마디를 이동하는 호핑율을 나타내며, $k_s \sim \exp\left(\frac{-V_s}{kT}\right)$ 이고 V_s 는 마디와 마디사이의 에너지 장벽을 나타낸다. 그러므로 큰 입계를 갖는 유기박막을 성막하기 위해서는 핵자밀도가 작아야하고, 따라서 낮은 증발율과 높은 확산계수가 요구되어진다[7]. 확산계수를 높이기 위해서는 표면에너지 장벽을 작게 만들어야 하며 증발율은 진공도와 가스의 유량으로 조절되어진다. 기존의 OMBD에서는 증착율F를 조절한다는 것이 상당히 어렵다. 왜냐하면 유기분자는 증착온도가 되면 갑자기 증착하게된다. 그리고 고진공에서는 자유행정거리가 거의 무한대에 가깝기 때문이다. 그러므로 기존의 OMBD로 OTFT의 제작에 있어서 기판의 온도를 올려주므로써 표면에서의 분자확산계수 D를 크게 하여 입계의 크기를 증가시키는 방법을 이용하고 있다. 그림1은 본 논문에서 사용한 OVPD시스템의 설계도면을 나타내었다. 박막의 형성에 있어서 펜타센 분자의 이동은 주입되는 gas의 압력과 온도기울기에 의해 제어할 수 있다. 주입되는 gas는 튜브내의 진공도를 10^{-5} Torr 에서 수십 Torr까지 조절할 수 있으며 증착율 F 또한 0.01g/h에서 0.001g/h 까지 조절을 할 수가 있다.

증발율에 있어서 진공도가 5×10^{-3} Torr 이하에서는 분자의 자유행정거리가 거의 무한대에 달하므로 증발율 조절이 어렵다. 진공도가 5×10^{-3} Torr 이상 20 Torr이하인 확산영역에서는 자유행정거리는 0.5cm - 1.5cm이고 증발율은 0.005g/h 이므로 증발율 조절이 다소 가능하다. 그리고 진공도가 20 Torr 이상인 대류영역에서는 자유행정거리가 0.1um 이고 증발율은 0.001 정도이므로 증발율 조절이 용이하다.[8-9] OVPD시스템은 기존의 진공증착 방식과 달리 진공상태에서 증착을 하면서 불활성 반응가스 N_2 를 사용하여 증발율을 조절하였다. 질소가스 유량은 30sccm, 진공도는 223mTorr, 성장시간은 20시간, 증발원 온도는 270℃ 성장온도는 80℃인 조건에서 펜타센 박막을 성장하였다.

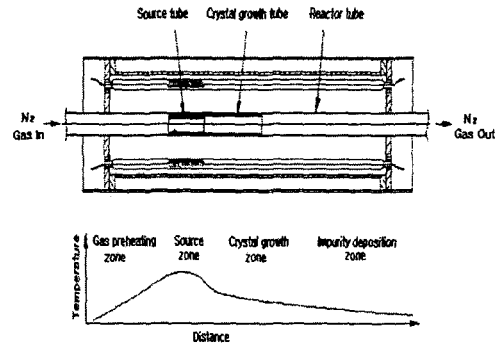


그림2. OPVD시스템 설계도면

그림3에서 보는바와 같이 펜타센 입계의 모양은 OMBD로 증착된 것과는 상당히 다르다. 이것은 기판에서의 펜타센 분자의 확산계수가 OMBD의 경우와 다를 수 있다. 그러나 그림4에서 OVPD로 증착된 펜타센 박막의 결정구조가 기존의 OMBD로 증착된 펜타센 결정구조가 거의 비슷함을 XRD 측정을 통해 알 수 있었다.

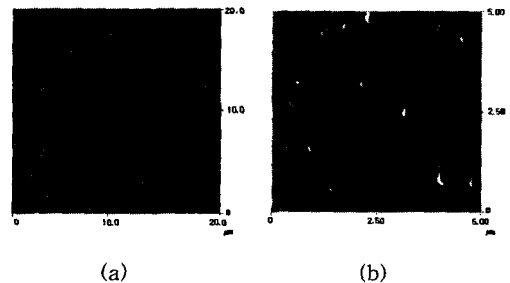


그림3. (a)OPVD시스템에 의해 증착된 펜타센 박막 AFM 이미지
(b)OMBDS시스템에 의해 증착된 펜타센 박막 AFM 이미지

표1. OPVD시스템을 이용한 펜타센 OTFT의 성능지수

| Channel length | Mobility(cm ² /V.sec) | SS(V/dec) | V _T (V) | Ion/off | Off-state current(A) |
|----------------|----------------------------------|-----------|--------------------|----------------------|------------------------|
| 20 μm | 0.0137 | 2.5 | -0.3 | 1.13×10 ⁴ | 1.01×10 ⁻¹⁰ |

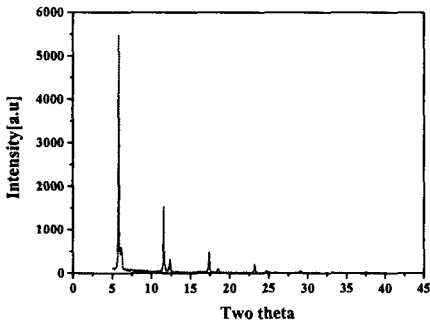
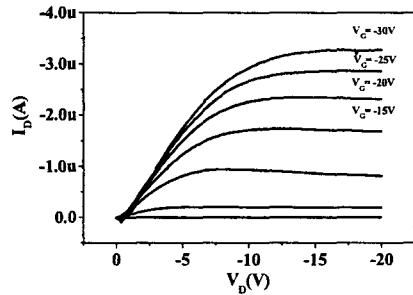


그림4. OPVD시스템에 의해 증착된 펜타센 박막의 XRD 측정 그래프



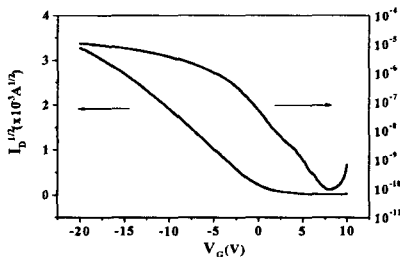
(b)

그림5. OTFT의 (a) I_{ON}-V_G 특성 (b) I_D-V_D 특성

또한 펜타센 OTFT는 그림5와 같이 p형 FET의 특성을 나타내고 있다. 측정된 I-V 관계 그래프와 식(1)의 FET 전류-전압 관계식으로부터 OTFT의 성능을 나타내는 지수들 즉 전계이동도(μ_{FET}, cm²/V.sec), 전류점멸비(I_{ON/OFF}), 문턱전압(V_T, V), sub-threshold slope(SS, V/dec), 차단상태의 소오스와 드레인 전극간 누설전류(I_{OFF}, A) 등을 추출하였다. 제작한 소자에 대해서 성능 지수들을 추출하였고, 이들을 표1에 정리하였다.

$$I_D = \frac{WC_{OX}}{2L} \mu (V_G - V_T)^2 \text{-----(1)}$$

OPVD로 제작된 펜타센 박막을 활성층으로 사용하는 OTFT는 기존의 OMBD로 제작된 OTFT보다 이동도가 0.01cm²/V.sec로써 약 10배 정도 향상된 값을 나타냈으며, 이러한 이유는 그림3에서 보듯이 입계의 크기가 증가되어져 있는것에서 찾을수 있다.



(a)

III. 결론

본 연구에서는 OPVD시스템을 이용하여 펜타센 박막 증착하여 OTFT를 제작하였다. 펜타센 박막은 OMBD로 제작된 펜타센 박막보다 큰 입계를 얻을수 있었으며, 결정구조 또한 비슷함을 알수 있었다. 소자 제작에 있어서도 기존의 OMBD보다 쉽게 제작할수 있었으며 소자의 성능에 있어서도 향상된 값을 나타내었다. 그러므로 이러한 OPVD시스템은 보다 광범위한 영역에서 적용할수 있는 적절한 방법임을 알수 있었다.

IV. 참고문헌

- [1] H.Klauk, D.J.Gundlach, J.A.Nichols, and T.N. Jackson, "Pentacene organic thin-film transistors for circuit and display applications" IEEE Trans. Electro Devices, Vol-46, p1258, 1999.
- [2] J.H.Schon, Ch.Kloc, E. Bucher, and B. Batlogg, "Efficient organic photovoltaic diodes based on doped pentacene" Nature, Vol-403, p408, 2000.
- [3] C.D.Dimitrakopoulos, B.K.Furman, T.Graham, S.Hedge, S.Purushothaman, "Field-effect transistors comprising molecular beam deposited, α, ω-di-hexyl-hexathienylene and polymeric

- insulator" *Synth. Met.*, Vol-92, p47, 1998.
- [4] A.R.Brown, C.P.Jarret, D.M. de Leeuw, M.Matters, "Field-effect transistors made from solution-processed organic semiconductors" *Synth. Met.*, Vol-88, p37, 1997.
- [5] Y.Lin, D.J.Gundlach, S.F.Nelson, and T.N. Jackson, "Stacked pentacene layer organic thin-film transistors with improved characteristics" *IEEE Elect. Dev. Lett.*, Vol-18, p606, 1997.
- [6] C.D.Dimitrakopoulos, A.R.Brown, and A.Pomp, "Molecular beam deposited thin films of pentacene for organic field effect transistor applications" *J. Appl. Phys.*, Vol-80, p2501, 1996.
- [7] F. Heringdorf, M.C.Reuter, and R.M.Tromp, "Growth dynamics of pentacene thin films" *Nature*, Vol-412, p517, 2001.
- [8] Ch. Kloc, P.G.Simpkins, T.Siegrist, R.A. Laudise "Physical vapor growth of centimeter-sized crystals of α -hexathiophene" *J. Crystal Growth* 182, p416, 1997.
- [9] R.A. Laudise, Ch. Kloc, P.G. Simpkins, T. Siegrist, "Physical vapor growth of organic semiconductors" *J. Crystal Growth* 187, p449, 1998.

본 논문은 과학기술부의 21세기 프론티어연구개발사업인 차세대정보디스플레이 기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.