

Vapor Deposition Polymerization 방법을 이용한 유기 박막 트랜지스터의 제작

Fabrication of Organic Thin-Film Transistor Using Vapor Deposition Polymerization Method

표상우*, 김준호*, 김정수*, 심재훈**, 김영관***

(S. W. Pyo*, J. H. Kim*, J. S. Kim*, J. H. Shim**, Y. K. Kim***)

Abstract

The processing technology of organic thin-film transistors (OTFTs) performances have improved for the last decade. Gate insulator layer has generally used inorganic layer, such as silicon oxide which has properties of a low electrical conductivity and a high breakdown field. However, inorganic insulating layers, which are formed at high temperature, may affect other layers formed on a substrate through preceding processes. On the other hand, organic insulating layers, which are formed at low temperature, dose not affect pre-process. Known wet-processing methods for fabricating organic insulating layers include a spin coating, dipping and Langmuir-Blodgett film processes. In this paper, we propose the new dry-processing method of organic gate dielectric film in field-effect transistors. Vapor deposition polymerization (VDP) that is mainly used to the conducting polymers is introduced to form the gate dielectric. This method is appropriate to mass production in various end-user applications, for example, flat panel displays, because it has the advantages of shadow mask patterning and *in-situ* dry process with flexible low-cost large area displays. Also we fabricated four by four active pixels with all-organic thin-film transistors and phosphorescent organic light emitting devices.

Key Words : Vapor deposition polymerization (VDP)

1. 서 론¹⁾

최근 유기물을 박막 트랜지스터(thin film transistor)와 발광다이오드 소자에 응용하기 위한 연구가 활발히 진행 중에 있으며 유기 ELD (electroluminescent device)를 능동구동방식(active matrix)으로 사용하기 위한 박막 트랜지스터에 대

한 다양한 연구가 진행 중에 있다. 현재 능동구동 소자로는 수소화된 비정질 실리콘 트랜지스터(amorphous silicon thin-film transistors ; a-Si:H TFT)나 다결정 실리콘 트랜지스터(polycrystalline silicon TFT)가 사용되고 있다. 그러나 유기물을 이용하여 소자를 제작할 경우 고온 공정이 필요한 무기물 기반 트랜지스터에서 달리 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 유기물을 이용한 연구 · 중에 pentacene은 현재 TFT소자에서의 활성층(active

* : 홍익대학교 전기정보제어공학과
(서울시 마포구 상수동 72-1)
Fax: 02-320-1110

E-mail : wflsz@hanmail.net)

** : 홍익대학교 유기 소재 및 정보 소자 연구 센터

*** : 홍익대학교 화학공학과

layer)으로서 많이 사용되고 있는 비정질 실리콘(amorphous silicon)과 비슷한 운반체 이동도를 가질 수 있는 것으로 알려져 있으며 최근 pentacene을 이용하여 운반체 이동도가 $2 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ 인 TFT의 제작이 보고되었다[1-4]. 본 연구에서는 pentacene을 활성층으로 사용하고, 특히 기존의 유기 TFT에서 게이트 절연층으로 사용되고 있는 SiO_2 를 대신하여 VDP(Vapor deposition polymerization)이라는 방법을 사용하여 유기 박막 트랜지스터의 절연층으로 제작하였는데 이로써 소자의 전극 부분을 제외한 모든 부분을 유기물화하였고, 또한 모든 공정을 진공하에서 제작이 가능하게 하였다.

2. 실험

그림 1(c)에 제작된 유기 박막 트랜지스터소자의 구조를 나타내었다. Shadow mask를 이용하여 두께 100 nm의 알루미늄(Al)을 게이트 전극으로 증착하였고, 게이트 절연체로써 4,4'-oxydiphthalic anhydride (ODPA)와 4,4'-oxydianiline (ODA)를 동시에 증착함으로써 폴리아미네시드(polyamine acid)를 형성시킨 후, 150 °C에서 1 시간 동안 curing 하여 폴리이미드를 형성시켰다. 그 과정을 그림 1(a)에 나타내었다.

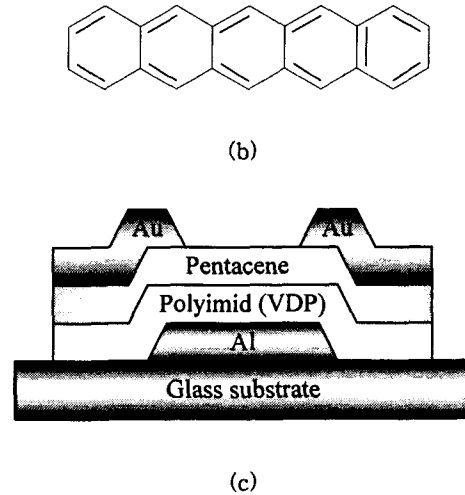
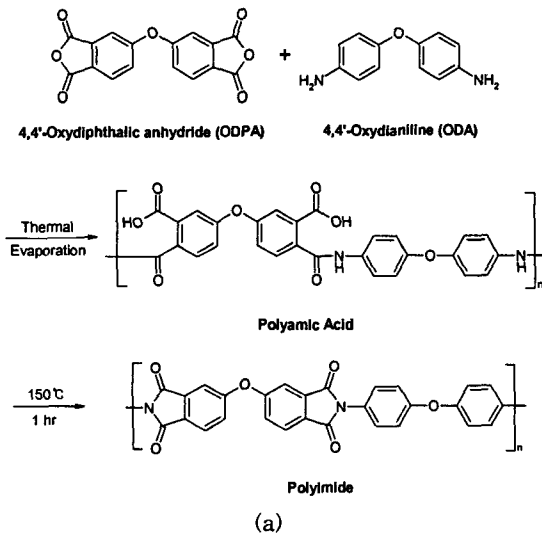


Fig. 1. (a) The preparation of polyimide via the condensation of carboxylic dianhydride and dianiline, (b) the structure of pentacene, and (c) device structure of organic thin-film transistors.

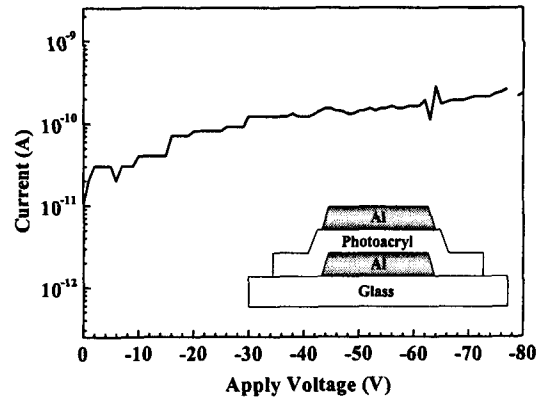


Fig. 2. The characteristic of electrical breakdown field, and its device structure.

그림 2의 ITO-polyimide-Al 구조와 파괴전계(breakdown field)의 특성을 보여주고 있다. 파괴전계(breakdown field)의 특성은 0.3 MV/cm이상의 큰 값을 나타내었고, 전기 전도도(electrical conductivity)는 약 10^{-11} S/cm 을 나타내어 wet 박막 형성의 방법 중 하나인 spin-coating에 의한 폴리이미드의 특성과 견줄만한 특성을 관측할 수 있었다.

그리고 그림 1(b)에 나타낸 pentacene 구조는 활성층으로 5×10^{-7} Torr의 진공 하에서 증착율 0.5 Å/s, 80 nm의 두께로 증착하였다. 마지막으로 게이트 전극형성의 동일한 방법으로 소오스와 드레인 전극을 금(Au)을 이용하여 형성시켰다. 소자의 채널 크기는 길이(length)가 $50 \mu\text{m}$, 너비(width)는 5 mm로 제작하였다. 나머지 4×4 어레이 인광 유기 발광 소자의 실은 차후에 설명하도록 하겠다. 이상 모든 실험은 상온에서 진행되었다.

3. 결과 및 고찰

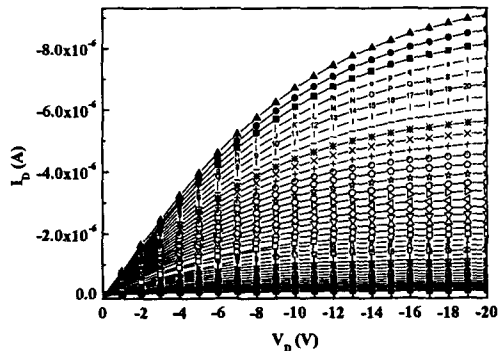


Fig. 3. The electrical output characteristics of organic thin-film transistor, $L/W=50\text{m} / 5\text{mm}$, $V_G = 0 \sim -50$ V.

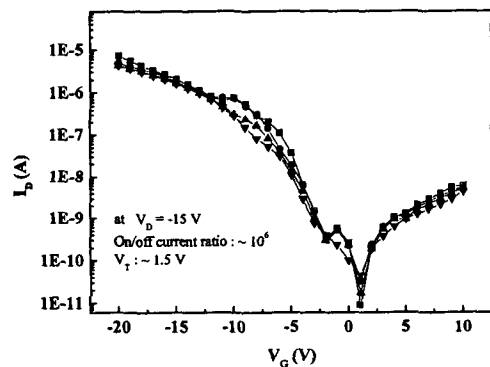


Fig. 4. The electrical transfer characteristics of organic thin-film transistor.

그림 3은 게이트 전압에 따라 드레인 전류의 값

을 나타낸 유기 박막 트랜지스터 소자의 electrical output 특성이고, 소자의 전달 특성을 그림 4에 나타내었다. 소자의 saturation 영역에서의 mobility는 약 $0.143\text{cm}^2/\text{Vs}$ 이고, on/off 전류는 10^6 A/A이었다. 문턱 전압은 -7 V, sub-threshold 전압은 1.2 V/decade의 값을 얻을 수 있었다. 게이트 절연체의 두께를 $0.45 \mu\text{m}$ 로 하여 드레인 전류 값을 약 8×10^{-6} 정도 얻었지만, $0.15 \mu\text{m}$ 로 했을 때는 향상된 값을 얻을 수 있었다. 그렇지만 게이트 절연체로 흐르는 손실 전류(leakage current) 값은 조금 많이 흐르는 것을 알 수 있었다. 그림 4에서 보듯이 정 전압 게이트 전압에서도 전류가 $10^{-9} \sim 10^{-8}$ 정도 흐르는 것을 볼 수가 있다. 4×4 어레이 소자를 제작하면 손실 전류는 더욱더 심해지는 것을 관측 할 수가 있다. 그러나 그림 3은 유기 박막 트랜지스터 소자가 게이트 전압에 따라 드레인 전류 값이 정확히 sweep되는 것을 확인하였고, 게이트 절연체를 진공 증착으로 가능하다는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 pentacene을 활성층으로 사용하고, 특히 기존의 유기 TFT에서 게이트 절연층으로 사용되고 있는 SiO_2 를 대신하여 VDP(Vapor deposition polymerization)이라는 방법을 사용하여 TFT의 절연층으로 제작하였는데 이로써 소자의 전극 부분을 제외한 모든 부분을 유기물화 하였고, 또한 모든 공정을 진공 하에서 제작이 가능하게 하였다. 소자의 mobility는 약 $0.143\text{cm}^2/\text{Vs}$ 이고, on/off 전류는 10^6 A/A이었다. 문턱 전압은 -7 V, sub-threshold 전압은 1.2 V/decade의 값을 얻을 수 있었다. 또한 유기 발광 소자를 구동시키기 위해 2개의 유기 박막 트랜지스터를 이용하여도 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 중점연구소 지원 사업 연구비(과제번호 KRF-99-005-E00019)에 의하여 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] G. Horowitz, R. Hajlaoui, R. Bourguiga, M. Hajlaoui, *Synthetic Metals*, **101**, 401 (1999).
- [2] A. Dodabalapur, L. Torsi, and H. E. Katz

- Science*, **268**, 270 (1995).
- [3] Y.-Y. Lin, D. J. Gundlach, S. F. Nelson, and T. N. Jackson, *IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES*, **44**, 1325 (1997).
- [4] D. J. Gundlach, C.-C. Kuo, S. F. Nelson, and T. N. Jackson, Center for Thin Film Devices and Electronic Materials and Processing Research Laboratory, The Pennsylvania State University, (1999).
- [5] C. W. Tang and S. A. Van Slyke, *Appl. Phys. Lett.*, **51**, 913 (1987).
- [6] M. A. Baldo, S. Lamansky, P. E. Burrows, M. E. Thompson, and S. R. Forrest, *Appl. Phys. Lett.*, **75**, 4 (1999)
- [7] D. F. O'Brien, M. A. Baldo, M. E. Thompson, and S. R. Forrest, *Appl. Phys. Lett.* **74**, 442 (1999)
- [8] Y.-Y. Lin, D. J. Gundlach, S. F. Nelson, and T. N. Jackson, *IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS*, **18**, 606 (1997).
- [9] D. J. Gundlach, Y. Y. Lin, T. N. Jackson, *IEEE Electron Device Lett.*, **18**, 87 (1997).
- [10] H. S. Nalwa, "Handbook of organic conductive molecules and polymers", **2**, pp. 2-55, 1997.