

## 프린팅 방법으로 형성된 전극을 이용한 유기 박막 트랜지스터의 제작 및 특성 분석

김정민\*, 서일\*, 김용상\*\*

명지대학교 나노공학과\*, 명지대학교 전기공학과\*\*

### Fabrication of Organic Thin Film Transistors using Printed Electrodes

Jung-Min Kim\*, Il Seo\*, Young-Sang Kim\*\*

Department of Nano Science & Engineering, Myongji University\*, Department of Electrical Engineering, Myongji University\*\*

**Abstract** - 본 논문에서는 유기 박막 트랜지스터의 전극을 잉크젯 프린팅과 스크린 프린팅 방법을 이용하여 유기 박막 트랜지스터를 제작하였다. 전극으로 PEDOT:PSS와 Ag 잉크를 사용하였고, 게이트 절연막으로 polymethyl methacrylate (PMMA)와 poly(4-vinylphenol) (PVP)를 사용하였다. 유기물 활성층으로 pentacene을 진공 증착하였다. 잉크젯 프린팅 방법을 이용하여 제작한 유기 박막 트랜지스터는 전계이동도 ( $\mu_{FET}$ )  $0.068 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ , 문턱전압 ( $V_{th}$ )  $-15 \text{ V}$ , 전류 점멸비 ( $I_{on}/I_{off}$  current ratio)  $>10^4$ 의 전기적 특성을 보였고, 스크린 인쇄 방법을 이용하여 제작한 유기 박막 트랜지스터는 전계이동도 ( $\mu_{FET}$ )  $0.016 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ , 문턱전압 ( $V_{th}$ )  $6 \text{ V}$ , 전류 점멸비 ( $I_{on}/I_{off}$  current ratio)  $>10^4$ 의 전기적 특성을 보였다. 이를 통하여 프린팅 방법을 이용한 유기 박막 트랜지스터 단일 소자 및 유기 전자 회로 제작의 가능성을 확인 하였다.

#### 1. 서 론

유기 박막 트랜지스터는 구부러지거나 접을 수 있고, 충격에 의해 깨지지 않는 등 많은 장점을 가지고 있다. 또한, 제작 공정이 간단하고, 제작 비용이 저렴하여 최근 활발한 연구가 진행 되고 있다. 유기 박막 트랜지스터와 관련된 응용 연구로는 스마트 카드, RFID tag, 가스 센서, 플렉시블 디스플레이 등이 있으며 응용 연구의 영역은 계속해서 확장되고 있다 [1, 2]. 이와 같은 활발한 연구의 결과, 현재 유기 박막 트랜지스터의 특성은 괄목할만한 성과를 얻었다. 하지만 이러한 소자들은 photo-lithography, evaporation, chemical vapor deposition (CVD), etching 등과 같은 기존의 반도체 제조 공정을 이용하고 있어 공정이 복잡하고 공정비가 고가인 단점을 가지고 있다. 이런 문제를 해결하기 위하여 공정이 간단하고 용액 공정이 가능한 저가의 미세접촉 프린팅 (micro-contact printing), 잉크젯 프린팅 (ink-jet printing), 스크린 프린팅 (screen printing) 방법 등이 연구되고 있다. 본 연구에서는 이러한 제작 방법 중 잉크젯 프린팅 방법과 스크린 프린팅 방법을 이용하여 유기 박막 트랜지스터의 전극을 형성하였다. 이를 이용하여 유기 박막 트랜지스터를 제작하고 I-V 측정을 통하여 전기적 특성을 분석하였다.

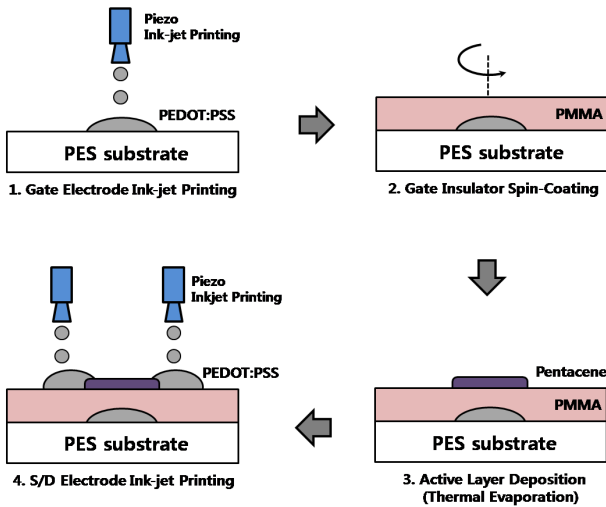


그림 1. 잉크젯 프린팅 방법을 이용한 유기 박막 트랜지스터의 제조 공정

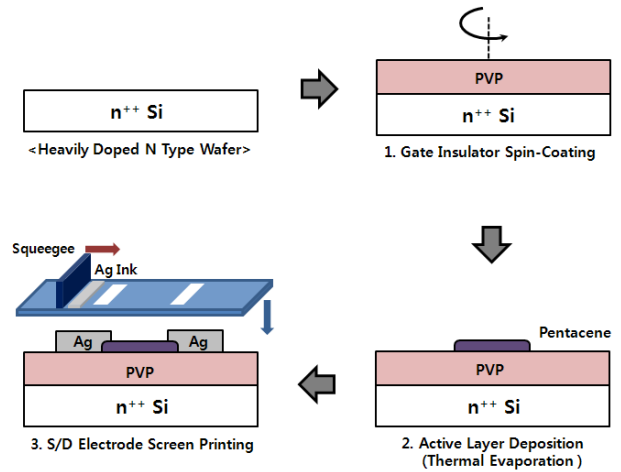


그림 2. 스크린 프린팅 방법을 이용한 유기 박막 트랜지스터의 제조 공정

#### 2. 본 론

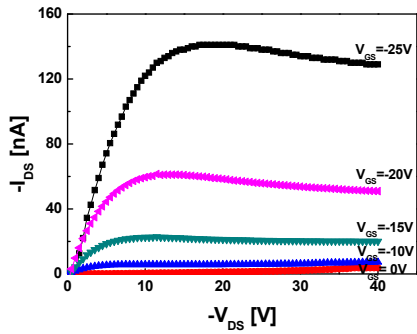
##### 2.1 유기 박막 트랜지스터의 제작

그림 1은 잉크젯 프린팅 방법을 사용하여 전극을 증착한 유기박막 트랜지스터의 제조 공정에 대한 개략도를 보여준다. 구조는 Top contact 방식의 inverted staggered 구조를 가지고 있다. 세척된 PES 필름 위에 PEDOT:PSS 잉크를 사용하여 게이트 전극을 형성하였다. 그 위에 유기물 게이트 절연막으로 분자량이 950K인 polymethyl methacrylate (PMMA)를 스핀코팅방법으로 2000 rpm, 60초 동안 증착 시킨 후, 오븐을 이용하여  $160 \text{ }^\circ\text{C}$  에서 30분간 열처리 해주었다. 이때 형성된 PMMA막의 두께는 260 nm이다. Pentacene 증착은 열 증착법을 이용하여  $0.1 \text{ } \text{\AA}/\text{s}$ 의 증착 속도로 약 100 nm 증착 시켰고, 이때 기판온도는  $85 \text{ }^\circ\text{C}$ , 진공도는  $5 \times 10^{-6}$  torr 이하로 유지하였다. Pentacene 증착시 shadow 마스크를 이용하여 패터닝 하였고, 소스/드레인 전극은 게이트 전극과 동일하게 PEDOT:PSS를 잉크젯 프린팅 하여 증착하였다.

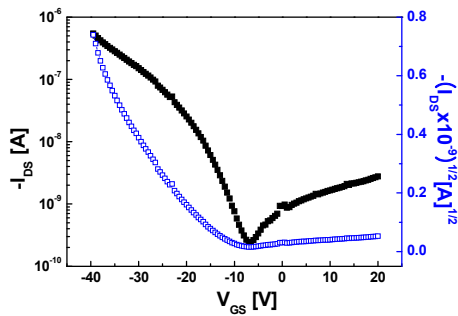
그림 2는 스크린 인쇄 방법을 사용하여 전극을 증착한 유기 박막 트랜지스터의 제조 공정을 보여주고 있다. 구조는 잉크젯 프린팅 방법을 이용하여 제작한 소자와 동일하게 제작하였다. 세척된  $n^{++}$  Si wafer 위에 유기물 게이트 절연막으로 poly(4-vinylphenol) (PVP)를 사용하여 증착 하였다. PVP는 propylene glycol monomethyl ether acetate (PGMEA) 와 cross-linking agent (CLA) poly(melamine-co-formaldehyde)를 혼합하여 cross-linked PVP를 제조하여 사용하였다 [3]. 제조된 cross-linked PVP는  $0.5 \text{ } \mu\text{m}$  syringe filter를 사용하여 불순물을 제거하고 균일한 특성을 보이게 하였다. 제작된 cross-linked PVP는 스핀코팅 방법으로 2000 rpm, 35초 동안 증착 시킨 후, 오븐을 이용하여  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 10분,  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 60분간 열처리 해주었다. 이때 형성된 cross-linked PVP막의 두께는 480 nm이다. Pentacene 증착은 잉크젯 프린팅 방법으로 제작한 소자와 동일하게 증착하였고, 소스/드레인 전극은 스크린 인쇄 방법을 이용하여 Ag를 증착 하였다

##### 2.2 결과 및 토의

그림3, 그림4는 각각 잉크젯 프린팅과 스크린 프린팅 방법으로 제작된

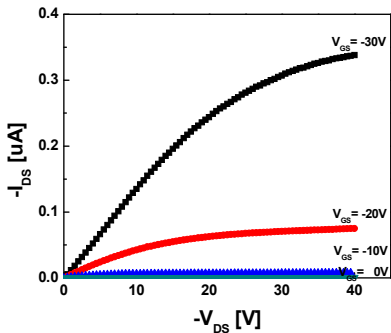


(a)

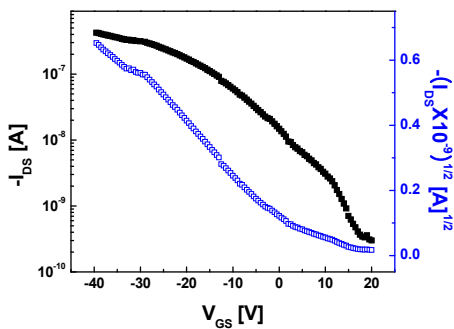


(b)

그림 3. PEDOT:PSS 전극을 잉크젯 프린팅한 유기 박막 트랜지스터의 전기적 특성 분석: (a)출력 특성, (b)전달특성



(a)



(b)

그림 4. Ag 전극을 스크린 프린팅한 유기 박막 트랜지스터의 전기적 특성 분석: (a)출력 특성, (b)전달특성

pentacene 박막 트랜지스터의 전기적 특성을 보여주고 있다. 출력 특성을 알아보기 위하여 드레인 전압 ( $V_{DS}$ )을 0 V부터 -40 V까지 0.5 V 간격으로 가해 주고, 게이트 전압 ( $V_{GS}$ )을 변화시켜 주었다. 초기 낮은  $V_{DS}$ 에서 높은 전도도를 가지고  $V_{DS}$ 가 증가할 때 전도도가 감소하는 것은 pentacene과 소스/드레인 전극이 ohmic-contact 되었다는 것을 의미한다. Pentacene 박막 트랜지스터의 전달 특성을 측정하기 위하여,  $V_{DS}=-20$  V로 고정하고,  $V_{GS}$  전압을 -40 V에서 20 V까지 0.5 V 간격으로 인가하며 측정하였다. 이를 통하여, 잉크젯 프린팅 방법을 이용하여 전계이동도 ( $\mu_{FET}$ )  $0.068 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ , 문턱전압 ( $V_{th}$ ) -15 V, 전류 점멸비 ( $I_{on}/I_{off}$  current ratio)  $>10^4$ 의 전기적 특성을 갖는 소자와 스크린 인쇄 방법을 이용하여 전계이동도 ( $\mu_{FET}$ )  $0.016 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ , 문턱전압 ( $V_{th}$ ) 6 V, 전류 점멸비 ( $I_{on}/I_{off}$  current ratio)  $>10^4$ 의 전기적 특성을 갖는 pentacene 유기 박막 트랜지스터를 제작 할 수 있었다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 프린팅 방법을 이용하여 pentacene 유기 박막 트랜지스터를 제작하였다. 잉크젯 프린팅 방법을 이용하여 제작한 유기 박막 트랜지스터는 전계이동도 ( $\mu_{FET}$ )  $0.068 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ , 문턱전압 ( $V_{th}$ ) -15 V, 전류 점멸비 ( $I_{on}/I_{off}$  current ratio)  $>10^4$ 의 전기적 특성을 보였고, 스크린 인쇄 방법을 이용하여 제작한 유기 박막 트랜지스터는 계이동도 ( $\mu_{FET}$ )  $0.016 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ , 문턱전압 ( $V_{th}$ ) 6 V, 전류 점멸비 ( $I_{on}/I_{off}$  current ratio)  $>10^4$ 의 전기적 특성을 보였다. 비록 프린팅 공정으로 제작된 유기 박막 트랜지스터의 전기적 특성은 아직까지 기존 공정으로 제작된 유기 박막 트랜지스터 특성에 미치지 못하지만, 지속적인 연구를 통하여 프린팅 공정 조건을 조금 더 개선한다면 유기 전자 회로의 응용도 가능하리라 판단된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] C. D. Sheraw, L. Zhou, J. R. Huang, D. J. Gundlach, T. N. Jackson, M. G. Kane, I. Hill, "Organic thin-film transistor-driven polymer-dispersed liquid crystal displays on flexible polymeric substrates", Applied physics letters, Vol. 80, pp. 1088, 2002.
- [2] L. Zhou, A. Wanga, S.C. Wu, J. Sun, S. Park, T.N. Jackson, "All-organic active matrix flexible display", Appl. Phys. Lett. Vol. 88, pp. 083502, 2006.
- [3] Hyun Sook Byun, Yong-Xian Xu, Chung Kun Song, "Fabrication of high performance thin film transistors using poly(4vinylphenol) as the gate insulator on polyethyleneterephthalate substrates", Thin solid films, Vol. 493, pp. 278, 2005.