

유기물을 이용한 전자회로 제작 및 분석

최용석\*, 박응규\*, 김보섭\*, 정진관\*, 김혁\*, 김용상\*  
 영지대학교 전기공학과\*

Fabricated and analysis of electronic circuit using organic semiconductor

Yong-Seok Choi\*, Eung-Kyu Park\*, Bo-Seop Kim\*, Jin-Gwan Jung\*, Hyuck Kim\*, Yong-Sang Kim\*  
 Dept. of Electrical Engineering, Myongji University\*

**Abstract** - 본 논문에서는 top-contact 구조의 유기 박막 트랜지스터를 이용하여 정류기와 인버터를 제작하고 전기적 특성을 분석 하였다. 게이트 절연막으로는 PMMA (polymethyl methacrylate)를 사용하였고 유기물 활성층으로 pentacene을 진공 증착하여 사용하였다. 유기 박막 트랜지스터로 제작된 정류기는 약 3 V의 DC 전압을 얻어 39 %의 효율 특성을 보였고, 인버터는 1.2의 이득값을 얻어 유기전자회로의 실용 가능성을 확인 하였다.

1. 서 론

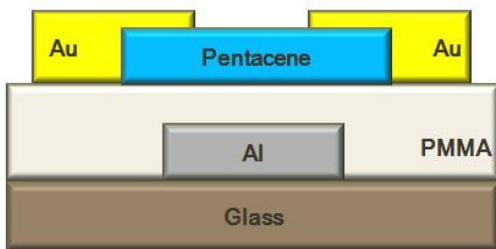
유기 박막 트랜지스터는 진공 공정이 없는 용액 공정으로 소자를 제작할 수 있기 때문에 Roll-to-Roll 공정과 잉크젯 프린팅 등의 간단한 제작공정을 사용할 수 있고 대면적 생산이 가능하다. 또한, 유기 박막 트랜지스터는 저온공정이 가능함으로 실리콘 기판이나, 유리 기판이 아닌 플라스틱 기판을 이용할 수 있어서 휘어질 수 있는 전자 소자로서 각광을 받고 있다.[1-3] 이러한 장점들로 인해, 현재 유기 박막 트랜지스터는 플렉시블 디스플레이(Flexible display), 전자종이(E-paper), RFID-tag, 태양전지(solar cell), 센서(sensor), 메모리(memory) 등 다양한 분야에 응용되고 있다.[4-6] 유기 박막 트랜지스터에 가장 널리 사용되고 있는 P형 물질인 pentacene은 벤젠 고리 5개가 연결되어진 형태로써 약 1 cm<sup>2</sup>/Vs의 이동도와 우수한 안정성을 지니고 있어 가장 많이 사용되고 있다.[7-9] 따라서, 본 논문에서는 pentacene을 활성층으로 사용한 유기 박막 트랜지스터를 이용하여 정류기와 인버터를 제작하여 전기적 특성을 분석하여 유기 박막트랜지스터의 우수성을 확인하고 앞으로 해결해야 할 문제들과 전망에 대해 논의 해보기로 한다.

2. 본 론

2.1 유기 박막 트랜지스터의 제작방법

Acetone - Isopropyl alcohol(IPA) - DI-water 순으로 세정된 유리 기판 위에 열증착방법으로 웨도우마스크를 이용하여 Al을 약 80 nm정도 증착 후, anisole 용매에 4 %의 비율로 섞인 PMMA 용액을 스핀 코팅 방법으로 180 nm 두께로 증착하였다.[10] 그리고, 100 °C에서 10분 동안 soft bake를 실시하여, 용매를 증발시킨 뒤에 160 °C에서 30분 동안 hard bake를 통하여 경화시켜 절연층을 형성하였다. 활성층으로 사용된 pentacene은 열증착법을 이용하여 0.1 Å/s의 증착 속도로 약 70 nm 증착 시켰고, 이 때 기판온도는 85 °C, 진공도는 5×10<sup>-6</sup> torr 이하로 유지하였다. 소스/드레인 전극 역시 열증착법을 이용하여 Au를 증착하였다. 증착된 소스/드레인 전극은 100 nm 두께를 갖도록 증착하였다.

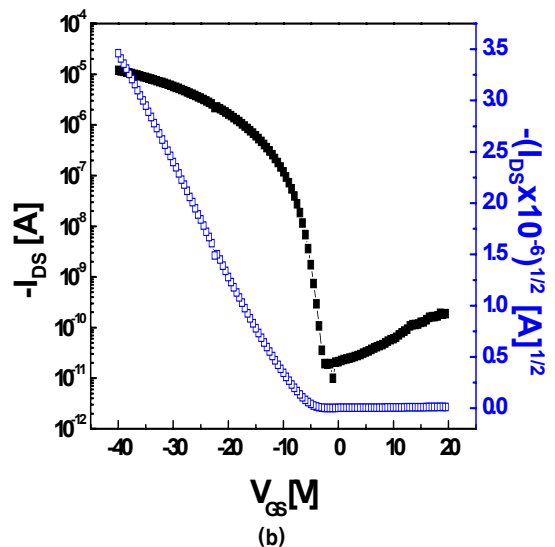
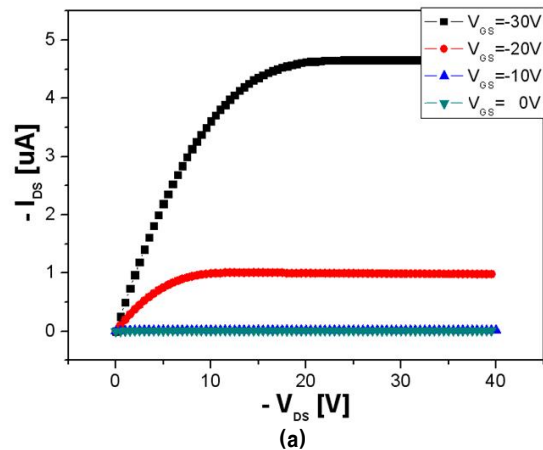
제작한 유기 박막 트랜지스터는 top-contact 구조로 <그림 1>과 같은 구조이다. 누설전류가 적은 top-contact 구조로 제작함으로써 다이오드 특성을 보다 향상시킬 수 있었다.



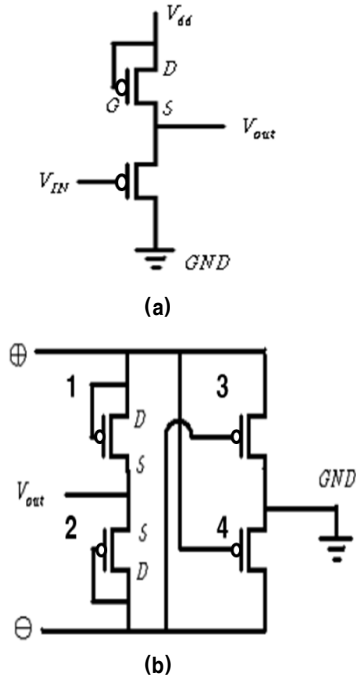
<그림 1> 유기 박막 트랜지스터의 구조

2.2 유기 박막 트랜지스터 성능분석

<그림 2>는 P형 유기 박막 트랜지스터의 성능을 보여 주고 있다. <그림 2(a)>는 유기 박막 트랜지스터의 출력특성을 나타내고 있다. 출력특성은 게이트 전압을 0 V부터 -30 V까지 변화를 주면서 드레인 전압을 0 V부터 -40 V에 따른 드레인과 소스간의 전류변화를 측정된 것이다. 또한 전달특성을 보여주는 <그림 2(b)>의 그래프는 게이트 전압을 -20 V로 고정시킨 뒤 드레인 전압을 +20 V에서 -40 V로 변화를 주며 전류를 측정하였다. 제작된 유기 박막 트랜지스터는 -11 V의 문턱전압과 약 0.20 cm<sup>2</sup>/V-s의 전하이동도를 보였다. 또한, 전류 점멸비(I<sub>on</sub>/I<sub>off</sub> current ratio)는 > 10<sup>6</sup>이고, subthreshold-slope(SS)는 1.5 V/dec의 값을 가진다.



<그림 2> 유기 박막 트랜지스터의 출력특성 (a) 및 전달특성 (b)

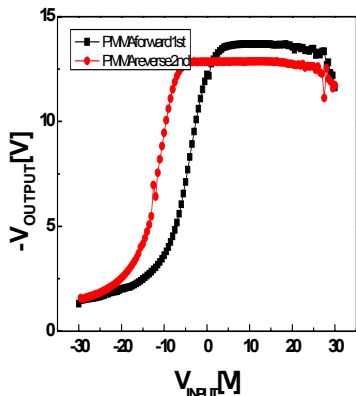


〈그림 3〉 인버터(Inverter)(a) 와 정류기(Rectifier)(b) 회로도

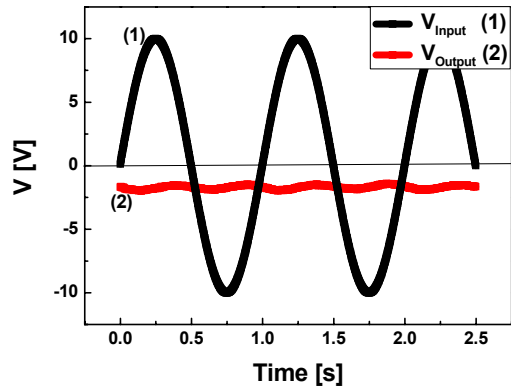
### 2.3 인버터(Inverter), 정류기(Rectifier) 동작원리

〈그림 3〉은 유기 박막 트랜지스터를 이용하여 구성된 전자회로도이다. 〈그림 3(a)〉는 인버터 회로도로서, 입력과 상반되는 출력전압을 보내주는 장치이다. 인버터는 직류를 교류로 바꾸어 주는 회로로 많이 이용되고 있다. 인버터는 2개의 P형 트랜지스터로 구성되며 로드 트랜지스터와 드라이브 트랜지스터로 나누어진다. 위의 그림에서는 위쪽 트랜지스터가 로드 트랜지스터가 된다. 로드 트랜지스터는 게이트와 드레인이 쇼트되어 있기 때문에  $V_{dd}$ 에 (-)전압을 인가 시 항상 도통하게 된다. 그리하여 출력전압이 발생하게 되는데, 드라이브 트랜지스터는 발생된 출력전압을 조절하여 인버터를 동작하게 한다.  $V_{in}$ 에 (-) 전압이 인가 시 GND와  $V_{out}$ 이 서로 도통됨으로 전압강하가 일어나게 되고 (+)전압 인가 시 GND와  $V_{out}$ 은 단락됨에 따라 출력전압 그대로 발생되게 되는 원리로 동작하게 된다. 이러한 원리로 본 논문에서는 로드 트랜지스터는 L/W 비율이 1:100으로 제작되었고 드라이브 트랜지스터는 L/W의 비율이 1:400으로 제작되었다.

〈그림 3(b)〉은 브릿지 정류기 회로를 나타낸다. 브릿지 정류기 회로는 2개의 다이오드와 2개의 트랜지스터로 동작하게 된다. 브릿지 정류기는 일반적인 다이오드에 비해 복잡하지만 전파정류가 가능하기 때문에 보다 높은 성능을 보이고 있다. 동작 원리는 입력 단에 두 개의 다이오드는 교류 입력 시 항상 (-) 전압 쪽을 도통시켜주기 때문에  $V_{out}$ 에는 항상 (-) 전압이 나오게 되어 전파정류가 일어나게 된다. 이러한 원리로 동작하는 브릿지 정류기의 모든 소자는 1:400의 L/W 비율로 제작 되었다.



〈그림 4〉 인버터(Inverter) 특성 그래프



〈그림 5〉 브릿지 정류기(Bridge Rectifier) 특성 그래프

### 2.4 인버터(Inverter), 정류기(Rectifier) 측정 및 분석

인버터는 드라이브 트랜지스터 동작 전원에서 전압강하가 일어나 출력전압이 떨어지게 된다. 본 논문에서는 P형 트랜지스터를 이용하였기 때문에 〈그림 4〉와 같이 (-) 전압에서 전압 강하가 일어나지 않기 때문에 0 V로 전압이 변하는 것을 확인할 수 있다. 이 때  $V_{dd}$ 는 -30 V 인가하였고 입력 전압은 +30 V에서 -30 V를 1차적으로 인가한 뒤에 -30 V에서 +30 V를 인가해주었다. 〈그림 4〉를 분석한 결과, 본 논문의 인버터는 약 1.2의 이득을 얻을 수 있었고, 문턱전압은 -5 V로 측정되었다. 〈그림 5〉는 브릿지 정류기의 전파 정류 특성 그래프이다. 그림의 파형은 정류기의 입력단자에 peak-to-peak 전압이 20 V인 교류 전압을 인가한 후 오실로스코프를 통하여 출력단의 파형을 관찰한 것이다. 그 결과 약 3 V의 DC 전압을 얻었다. 이때 입력전압 10 V의 AC 전압은 약 7.07 V의 DC 값을 가짐으로 브릿지 정류기는 약 39%의 효율의 성능을 보였다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 pentacene 과 PMMA를 이용하여 유기 박막 트랜지스터를 제작하였다. 소자는 약  $0.20 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 의 이동도의 성능을 보였다. 이와 같은 단일소자를 바탕으로 인버터와 정류기를 제작하였다. 인버터는 1.2의 이득과 -5.5 V의 문턱전압을 가지는 특성을 보여주었고, 브릿지 정류기에서는 10 V 교류전압 입력 시 3 V의 직류전압을 얻을 수 있었다. 이때, 브릿지 정류기는 약 39%의 정류효율을 보였다. 이와 같은 결과들은 유기 박막 트랜지스터가 저가의 전자회로에 응용 될 수 있는 가능성을 보여주었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 김성현, "유기 전자소자,OTFT", 전자통신동향분석, 제20권 제 5호, 56, 2005
- [2] 배병성, "OTFT 소자와 회로 연구개발 동향", EP&C, 2006년 1월호, 68-73, 2006
- [3] H. Klauk, M. Halik, U. Zschieschang, F. Eder, D. Rohde, G. Schmid, and C. Dehm, "Flexible organic complementary circuits" IEEE Trans. on Electron Dev, vol.52, no.4, 618, 2005
- [4] 박영돈, 장윤석, 최현호, 조길원, "유기박막 트랜지스터의 연구현황과 전망", 공업화학 전망, 제11권 제5호, 30, 2008
- [5] 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.
- [6] L. Zhou, A. Wang, S.C. Wu, J. Sun, S. Park, T.N. Jackson, "All-organic active matrix flexible display", Appl. Phys. Lett. Vol. 88, pp. 083502, 2006.
- [7] 김성현, 최혜영, 김규창, 장진, "Flexible Display 를 위한 유기 박막 트랜지스터의 제작 및 특성 연구", 전기전자재료 16, 10, 2003
- [8] 허영현, "플라스틱기판에 펜타신 유기 박막 트랜지스터를 이용한 집적회로 제작", 전자공학회 논문지, 44권, 11호, 2007
- [9] Hagen Klauk, "Fast Organic Thin-Film Transistor Circuits", IEEE Electron Device Letters, VOL.20, NO.6, 289-291, 1999
- [10] 하승규, 권오식, "유기반도체 재료", 고분자 과학과 기술, 17, 63, 2006