

PVP 게이트 절연막을 이용한 유기박막트랜지스터 제작

장지근* · 서동균* · 임용규* · 장호정* · 오명환**

단국대학교 전자공학과

Fabrication of Organic TFT with PVP Gate Insulating layer

Ji-Geun Jang*, Dong-Gyoon Seo*, Yong-Gyu Lim*, Ho-Jung Chang* and Myung-Hwan Oh**

*Department of Electronics Engineering, Dankook University

San 29, Anseo-dong, Cheonan, Chungnam, 330-714, KOREA

**School of Electronics and Computer Engineering, Dankook University

San 8, Hannam-dong, Yongsan-gu, Seoul, 140-714, KOREA

초록

유기 절연층을 갖는 유기 박막트랜지스터 (organic TFT)를 제작하여 소자 성능을 조사하였다. 유기 절연층의 형성에서는 polyvinyl 계열의 PVP(poly-4-vinylphenol)와 PVT(polyvinyltoluene)를 용질로, PGMEA(propylene glycol monomethyl ether acetate)를 용매로 사용하였다. 또한, 열경화성 수지인 poly(melamine-co-formaldehyde)를 경화제로 사용하여 유기 절연층의 cross-link 를 시도하였다. MIM 구조로 유기 절연층의 특성을 측정된 결과, PVT 는 PVP 에 비해 절연 특성이 떨어지는 경향을 보였다. 게이트 절연막의 제작에서 PVP 를 copolymer 방식과 cross-linked 방식으로 실험 해 본 결과, cross-link 방식에서 낮은 누설전류 특성을 나타내었다. OTFT 제작에서는 PVP 를 용질로, poly(melamine-co-formaldehyde)를 경화제로 사용한 cross-linked PVP 를 게이트 절연막으로 이용하였다. PVP copolymer(20 wt%)에 10 wt% poly(melamine-co-formaldehyde)를 혼합한 cross-linked PVP 를 게이트 절연막으로 사용하여 top contact 구조의 OTFT 를 제작한 결과 약 $0.23 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 의 정공 이동도와 약 0.4×10^4 의 평균 전류점멸비를 나타내었다.

1. 서론

유기 반도체는 1950년대 초기부터 저분자 물질을 중심으로 연구되어 왔으나, 특성이 나쁘고 재현성이 문제되어 1970년대에 이르기까지 실제 소자에는 거의 응용되지 않았다^[1]. 1980년대에 이르러 폴리아세틸렌(polyacetylene)^[2]을 비롯, 폴리티오펜(polythiophene), PPV(polyphenylene vinyl), 프탈로시아닌(phthalocyanine)등의 유기 반도체들이 연구되기 시작하였으나^[3-4] 모두 이동도가 $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{V.s}$ 이상을 넘지 않아 전자소자 분야에서 유기 반도체의 사용은 여전히 회의적으로 남아 있었다. OTFT에 대한 연구는 1990년에 $10^{-1} \text{ cm}^2/\text{V.s}$ ^[5] 정도의 높은 이동도를 갖는 비교적 짧은 공액올리고머가 발표된 후 본격적으로 시작되었으며, 오늘날 유기 반도체로 펜타센(pentacene)을 사용하였을 때의 이동도는 a-Si TFT 수준($\sim 1 \text{ cm}^2/\text{V.s}$)을 능가하는 것도 보고되고 있다^[6]. 최근에는 연성 디스플레이의 구현을 위해 플라스틱(plastic) 기판상에 OTFT를 제작하는 연구가 진행되고 있는데^[7-8], 일반적으로 기판으로는 PES(polyethersulphone)을, 활성층으로는 펜타센을 주로 사용하고 있다. 게이트 절연층으로는 기존의 SiO_2 를 사용할 수도 있으나 SiO_2 는 비정질 구조를 가지고 있으며, 유기물과 접촉시 계면특성이 좋지 않은 단점이 있다. 따라서 유기

물을 이용한 게이트 절연층으로는 PMMA(polymethyl methacrylate), Polyimid, PVA(polyvinyl alcohol), PVP(poly-4-vinylphenol) 등 여러 가지 종류가 현재 연구 중이다^[9-10].

본 논문에서는 PVP(poly-4-vinylphenol)와 PVT(polyvinyltoluene)를 용질로, PGMEA(propylene glycol monomethyl ether acetate)를 용매로, poly(melamine-co-formaldehyde)를 경화제로 사용하여 다양한 혼합 조건의 유기 절연층을 만들고 MIM(metal-insulator-metal) 구조로 이들 유기 절연층의 전기적 특성을 조사하였다. 또한 PVP copolymer(20 wt%)에 10 wt% poly(melamine-co-formaldehyde)를 혼합한 cross-linked PVP 를 게이트 절연막으로 사용하여 PES 기판상에 inverted staggered 구조의 OTFT를 제작하고 이들의 특성을 관찰하였다.

2. 실험 방법

2x 2(Cm)크기의 플라스틱 PES 를 기판으로 사용하고, 분말 형태의 PVP 와 PVT 를 용질로, PGMEA 를 용매로, poly(melamine-co-formaldehyde)를 경화제로 사용하여 유기 절연층을 형성하였다.

실험에서 PVP 는 경화제인 poly(melamine-co-formaldehyde)의 첨가 여부로 PVP copolymer 와 cross-linked PVP 로 나뉘는데, cross-linked PVP 는 아세톤과 같은 용매에 영향을 받지 않아서 식각 처리를 할 수 있다는 장점이 있다^[11]. 또한 동일 polyvinyl 계열의 PVT 도 PVP 와 같은 조건으로 혼합하여 게이트 절연막으로서의 가능성을 확인하고자 하였다. PVP copolymer 는 PVP 와 PGMEA 를 혼합하였고, cross-linked PVP 는 PVP copolymer 에 poly(melamine-co-formaldehyde)를 0.5(g) 추가 혼합하였으며, PVT 역시 같은 방법으로 혼합하여 실험하였다. 합성된 유기 절연막의 절연 특성은 Fig. 1(a) 의 MIM 구조를 이용하여 측정하였다.

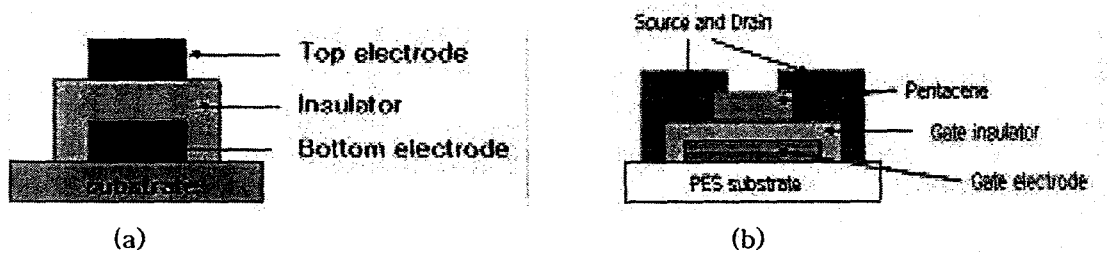


Fig. 1. Cross sectional view. (a) MIM Structures for testing the insulating characteristics of organic films and (b) structure of OTFT.

MIM 소자 제작과정으로 먼저 PES 기판위에 전자선 진공 증착기를 사용하여 Ti-30Å/Au-1000Å 두께의 하부 전극을 증착하고, 스핀코팅 방식으로 각각의 절연층을 도포한 후, 열처리 공정을 거쳐 Ti-30Å/Au-800Å 두께의 상부전극을 증착하였다. 실험에 이용된 유기 절연층의 혼성과 도포 및 경화 조건을 Table 1 에 수록하였다. 나아가 유기 절연층의 형성에서 용액의 점도가 낮을 경우, 스핀 코팅시 두께가 지나치게 얇아질 수 있어 PVP 의 경우 PGMEA 를 절반으로 줄인 실험도 병행하였다. Table 2 는 20 wt% copolymer PVP[PVP(1g)+PGMEA(5g)]에 10 wt% poly(melamine-co-formaldehyde)를 혼합한 유기 박막에 대한 실험 사양이다.

OTFT 제작에서는 PVP copolymer(20 wt%)에 10 wt% poly(melamine-co-formaldehyde)를 혼합한 cross-linked PVP 를 게이트 절연막으로 사용하였다. Fig. 1(b)는 설계·제작된 inverted staggered 형의 OTFT 구조이다. OTFT 제작 과정은 게이트 절연층과 상부 전극 사이에 유기 반도체 박막을 증착하는 것 외에는 MIM 소자 제작의 경우와 동일하다. 유기 반도체로는 sublimation

방식으로 고순도(순도:99.99999%) 정제된 펜타센을 OMBD(organic molecular beam deposition) 장치에서 1000Å 두께로 진공 증착하였다.

Table 1. Mixing, spin-coating and curing condition of organic insulator materials

Processes	Specifications
Solutes/Solvent	(PVP, PVT) / PGMEA
Poly(melamine-co-formaldehyde)	0.5g
Solute+ PGMEA	1:10 (g)
Spin coating	3000rpm, 30sec
Curing	100°C,10min + 200°C,5min

Table 2. Processes for the cross-linked organic films of PVP(1g) + PGMEA(5g) with poly(melamine-co-formaldehyde).

Processes	Specifications
Poly(melamine-co-formaldehyde)	0.5g,
PVP+ PGMEA	1:5 (g)
Spin coating	2000rpm, 30sec
Curing	100°C,10min + 200°C,5min

3. 결과 및 고찰

PVP 와 PVT 를 용질로 하여 제작한 Table 1 의 cross-linked 유기 절연층의 전류-전압 특성을 Fig. 2(a),(b) 에 각각 나타내었다. Fig. 3 에서 PVP 유기 절연층은 안정된 전류 특성을 보이고 있으나, 이에 비해 PVT 유기 절연층은 다소 잡음 전류를 갖는 불안정한 특성을 보여주고 있다.

또한 누설전류는 copolymer 박막에 비해 cross-linked 박막에서 훨씬 적게 나타나고 있다. 유기 절연층의 잡음 전류는 표면 거칠기에 영향을 받으며, cross-linked 박막의 낮은 누설 전류는 경화제 첨가에 의한 두께 증가에 그 원인이 있는 것으로 판단된다.

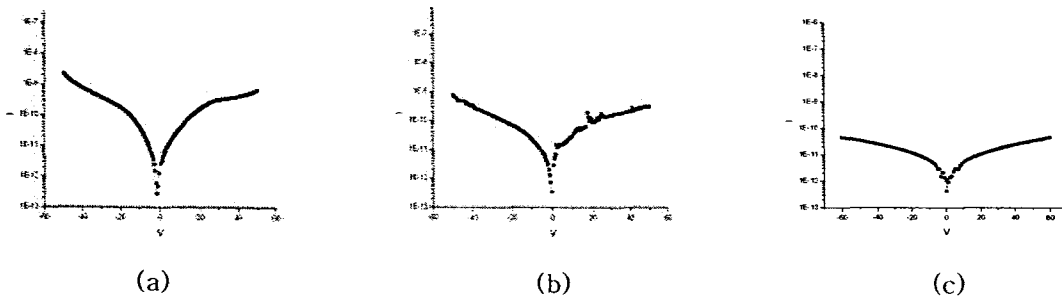


Fig. 2. The insulating characteristics of MIM structures. (a) 10 wt% PVP copolymer+5 wt% poly(melamine-co-formaldehyde), (b) 10 wt% PVT copolymer+5 wt% poly(melamine-co-formaldehyde) and (c) 20 wt% PVP copolymer+10wt% poly(melamine-co-formaldehyde).

Fig. 2(c)는 Table 2 에서와 같이 20 wt% copolymer PVP 에 0.5g(10wt%)의 poly(melamine-co-formaldehyde)를 첨가한 경우의 전류-전압 특성을 보여주고 있다.

OTFT 제작에서는 10 wt%의 PVP 가 재현성이 떨어지고, 절연파괴가 쉽게 일어나, PVP copolymer (20 wt%)에 10 wt% poly(melamine-co-formaldehyde)를 혼합한 cross-linked PVP 를 게이트 절연막으로 사용하였다. Fig. 3은 제작된 OTFT의 출력 특성곡선이다.

Fig. 3에서 cross-linked PVP 를 게이트 절연막으로 사용한 트랜지스터는 전형적인 장채널 MOSFET의 전류-전압 특성을 보이고 있다.

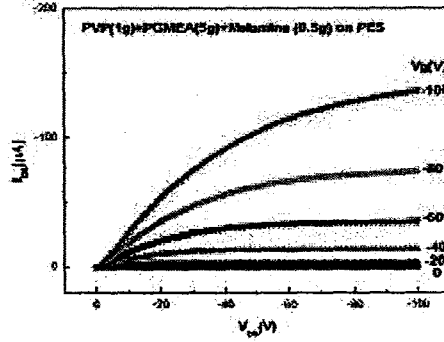


Fig. 3. Output characteristics of the OTFT with gate dielectrics of 20 wt% PVP copolymer +10 wt% poly (melamine-co-formaldehyde) on PES.

장채널 MOSFET 이론에 의하면 포화 영역에서 드레인 전류와 게이트 전압의 관계는 다음과 같이 나타난다.

$$I_d = \mu \frac{C_0 W}{2L} (V_g - V_T)^2 \quad (1)$$

식 (1)에서 μ 와 C_0 는 캐리어 이동도와 단위면적당 게이트 절연막 커패시턴스를, W 와 L 은 채널의 폭과 길이를, V_T 는 문턱전압을 각각 나타내고 있다.

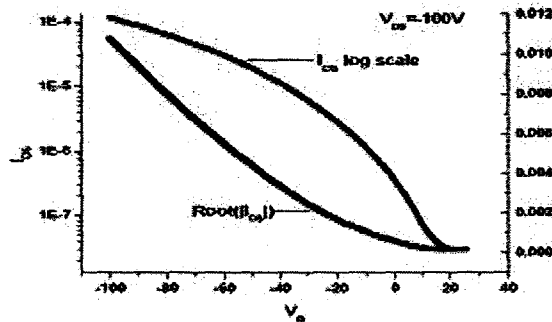


Fig. 4. $I_d : V_g$ characteristics at the drain voltage of -20V showing on/off current states.

$\sqrt{I_d} : V_g$ 곡선에 대한 점근선의 기울기와 게이트 전압축과의 교차점으로부터 트랜지스터의 캐리어 이동도와 문턱전압을 계산할 수 있다. 소자 설계에서 OTFT의 $W=10^4 \mu\text{m}$, $L=10^2 \mu\text{m}$ 로 나타나며, C_0 는 $15.4 \text{ pF}/\text{mm}^2$, 기울기는 $1.35 \times 10^{-4} [\text{A}^{1/2}/\text{V}]$ 로 측정되어 cross-linked PVP 를 게이트 절연막으로 갖는 실험상의 OTFT는 캐리어 이동도가 $0.23 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 문턱전압이 -4V 임을 알 수 있다. Fig. 4은 Fig. 2(c)에서 10% cross-linked PVP(20%)로 제작된 트랜지스터의 on/off 전류 상태를 알아보기 위해 $V_g=-100\text{V}\sim-40\text{V}$ 범위에 걸쳐 $V_d=-20\text{V}$ 조건에서의 관계를 나타낸 그림이다.

Fig. 4 에서 on/off 상태를 각각 -20V 와 20V 의 게이트 전압에서 평가할 때 on/off 전류비는 약 0.4×10^4 정도로 나타나고 있다.

본 실험에서는 OTFT 제작을 위한 유기 게이트 절연막 처리가 연구되었으며, cross-linked PVP 를 게이트 절연막으로 사용할 경우, α -Si TFT 수준의 고 이동도, 높은 on/off 전류비 그리고 낮은 문턱전압과 낮은 게이트 누설전류를 갖는 우수한 성능의 p 형 OTFT 를 제작할 수 있었다.

4. 결 론

유기 박막트랜지스터 제작에서 유기 절연층의 형성과 처리 방법이 소자 성능에 미치는 영향을 조사하였다. 유기 절연층의 형성에서는 polyvinyl 계열의 PVP 와 PVT 를 용질로, PGMEA 를 용매로 사용하였다. 또한 열경화성 수지인 poly(melamine-co-formaldehyde)를 경화제로 사용하여 유기 절연층의 cross-link 를 시도하였다. MIM 구조로 유기 절연층의 특성을 측정된 결과, PVP 가 PVT 에 비해 저 잡음전류 특성을 보였다. PGMEA 에 대한 PVP 의 혼합비는 20 wt% 일 경우가 10 wt%의 경우에 보다 낮은 누설전류 특성을 나타내었으며, cross-linked PVP 가 copolymer PVP 에 비해 우수한 전기적 절연 특성을 보였다. OTFT 제작에서는 20 wt% PVP copolymer 에 10 wt%의 poly(melamine-co-formaldehyde)를 경화제로 첨가한 cross-linked PVP 를 게이트 절연막으로 이용하였다. 실험 결과, cross-linked PVP 구조의 OTFT 는 전형적 장채널 p 형 MOSFET 의 출력 특성을 나타내었다. 본 실험에서 제작된 cross-linked PVP 구조를 갖는 OTFT 는 약 -4V 의 문턱전압과 $0.23 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 의 전계효과 이동도, 그리고 0.4×10^4 의 전류 점멸비를 나타내었다.

감 사 의 글

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-02) 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] C. K Chiang, C. R. Fincher, Jr., Y. W. Park, and A. J. Heeger, H. Shirakawa, E. J. Louis, S. C. Gau, and Alan G. MacDiarmid, Phys. Rev. Lett. 39, 1098(1977).
- [2] F. Ebisawa, T. Kurokawa, S. Mara, J. Appl. Phys, 54, 3255 (1983).
- [3] H. Koezuke, A. Tsumura, T. Ando, Field-effect transistors with polythiophene thin films, Synth. Met., 18:699-704, 1987
- [4] G. Guillaud, M. AlSadoun, M. Maritrot, J. Simon, M. Bouvet, Field-effect transistors based on intrinsic molecular semiconductors, Chem. Phys. Lett., 167:503-506, 1990
- [5] F. Garnier, G. Horowitz, X. Z. Peng, D. Fichou, An all organic soft thin film transistor with very high carrier mobility, Adv. Mater., 2:592-594, 1990
- [6] J. H. Schon, C. Kloc, B. Batlogg, Org. Electron. 1, 57(2000).
- [7] K. Kudo, M Yamashina, T. Morizumi, Jpn. J. Appl. Phys, 23, 130 (1984).
- [8] A. Tsumura, H. Koezuka, Y. Ando, Appl. Phys. Lett, 49, 1210 (1986).
- [9] H. Klauk, D. J. Gundlach, J. A. Nicoles, C. D. Sheraw, M. Bonse and T. N. Jackson, Solid State Technol., 43, 63 (2000).
- [10] H. Klauk, D. J. Gundlach, J. A. Nicoles, T. N. Jackson, Electron Devices, IEEE Transactions on. 46, 1258-1263 (1999).

- [11] H. S Byun, G. G Kim, Y. K Kim, H. K Han, C. K. Song, Pentacene TFTs using PVP Organic Gate Insulator on Plastic Substrate, 한국통신학회, 대한전자공학회 추계합동학술대회집, 44-47 (2004).