

## 전기전도성 고분자를 이용한 전(全)유기고분자 박막트랜지스터의 제조 및 특성

이명섭, 이성범, 김미선, 이승욱, 강한샘\*, 강현숙\*, 주진수\*, A.J. Epstein\*\*, 이준영

성균관대학교 유기소재공학과, \*고려대학교 물리학과, \*\*Department of Physics, The Ohio State University

## All-polymer Thin Film Transistor Based On Electrically Conducting Polymers

Myung Sub Lee, Sung Bum Lee, Mi Sun Kim, Soong Wook Lee, Han Saem Kang\*

Hyun Suk Kang\*, Jinsoo Joo\*, Arthur J. Epstein\*\*, Jun Young Lee

School of Applied Chemistry and Chemical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea

\*Department of Physics, Korea University, Seoul, Korea

\*\*Department of Physics, The Ohio State University, Columbus, USA

## 1. 서 론

최근 관심의 대상이 되고 있는 유기박막트랜지스터 (Organic Thin Film Transistor, OTFT)는 현재 사용되고 있는 무기물 트랜지스터에 비해 가볍고 낮은 공정 온도와 가격으로 인하여 대면적 LCD, EL, smart card의 능동구동소자로서 적용이 가능하다고 알려져 있다[1,2]. 하지만 현재 연구되고 있는 단분자 유기물을 사용한 OTFT는 비교적 높은 온도에서 소자의 각 구성요소를 증착해야 되므로 여전히 복잡한 공정이 필요하며, 활성층으로 쓰이는 유기물과 금속전극의 계면문제도 전기적 특성이 떨어진다[3]. 따라서 전기전도성 고분자는 합성이 쉽고 전기전도도와 안정성이 우수하며 좋은 기계적 유연성과 광학특성 그리고 우수한 필름 형성 능력을 가지고 있기 때문에, 최근 들어 OTFT의 활성층 및 전극 재료로서 주목받고 있다[4,5]. 이런 OTFT에 전기전도성고분자가 사용되기 위해서는 미세구조 제조방법에 의한 pattern 형성이 필수적이다. 전기전도성 고분자의 patterning에 관한 연구는 현재까지 미미한 실정이며, 또한 현재까지 보고된 pattern 방법들은 여러 단계 공정을 거치는 복잡한 방법들이어서 실제적인 OTFT의 적용에는 한계가 있다[6,7].

본 연구에서는 기판, 절연층, 전극, 활성층 모두가 고분자 물질로 되어있는 전(全)유기고분자 박막 트랜지스터 (All-polymer Thin Film Transistor, All-polymer TFT)를 상온에서 간단한 전기전도성고분자 포토리소그래피 방법을 이용하여 제조하고 그 특성을 연구하였다.

## 2. 실험

All-polymer TFT의 전극 및 활성층으로 사용되는 전기전도성 고분자 필름의 micro-pattern은 다음에 서술한 바와 같이 제조하였다[8]. 고분자 matrix로 사용되는 poly(vinyl alcohol) (PVA)과 산화제로 사용되는 ferric p-toluenesulfonate (FTS)를 여러 가지 비율로 물/메탄올 혼합용매에 용해시킨 용액을 유연 투명한 PET 또는 PP 필름 위에 스핀코팅하여 산화제 필름을 제조하였다. photomask를 산화제 필름 위에 놓고 intensity가  $10 \text{ mw/cm}^2$ 인 365 nm의 UV를 3~10분 동안 조사하여 산화제를 pattern에 따라 분해하였다. pattern된 산화제 필름을 pyrrole 또는 (3,4-ethylenedioxythiophene) (EDOT) 단량체 기체에 노출하여 UV에 노광되지 않아 FTS가 분해되지 않은 부분에 polypyrrole (PPy) 또는 PEDOT을 증합함으로써 전기전도성고분자 pattern을 제조하였다. 이는 이미 알려진 바와 같이  $\text{Fe}^{+++}$ 가 UV에 의해  $\text{Fe}^{++}$ 로 변화하여 더 이상 단량체를 산화시킬 수 없기 때문이다.

앞의 pattern 방법을 이용하여 Figure 1과 같은 구조로 All-polymer TFT를 상온에서 제작하였으며 그 방법은 다음과 같다. 먼저, 폭 1mm, 두께 400nm 사각형 모양의 게이트 전극을 PET 필름 위에 패터닝하여 형성한다. 절연층으로 사용하는 광경화성 poly(vinyl cinnamate) (PVCN) 필름을 500nm 두께로 게이트 전극 위에 스핀코팅하고 254nm의 UV를 20분 동안 조사하여 경화시킨다. 활성층과 소스-드레인

전극 역할을 동시에 하는 폭  $30\mu\text{m}$ , 두께  $400\text{nm}$ 의 얇은 라인을 절연층 위에 게이트 전극 수직 방향으로 같은 포토리소그래피 방법에 의해 패터닝한다. 소자 제작 후, 소스 전극을 공통전극으로 하고 게이트 전극과 드레인 전극에 양의 전압을 인가하여 소자의 전기적 특성을 조사하였다. 그 결과를 통하여 소자의 turn-off gate voltage, trans-conductance를 계산하였다.

한편 소자에 사용된 PPy, PEDOT 필름의 전기전도도 및 투명도 등의 기본 특성을 FLUKE 73III Multimeter와 UV-VIS-NIR spectroscopy를 사용하여 측정하였고 광학현미경과 AFM을 사용하여 필름 표면형상 및 pattern형상을 관찰하였다.

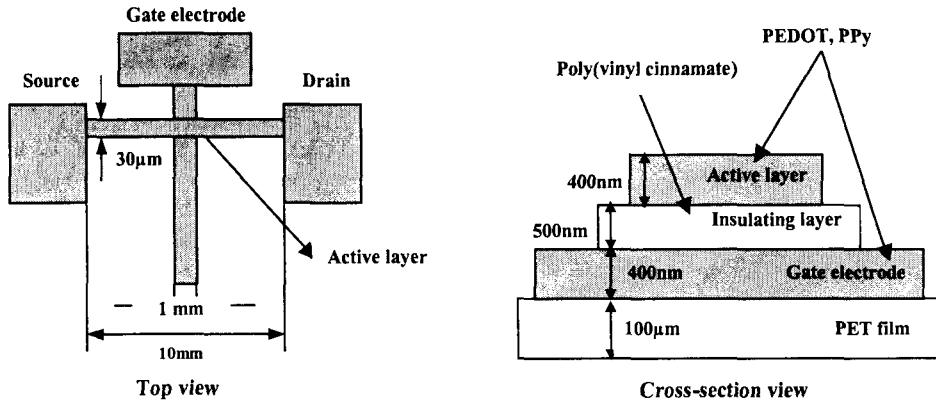


Figure 1. All-polymer TFT의 구조

### 3. 결과 및 고찰

위의 방법으로 제조된 PPy, PEDOT 필름의 표면저항과 가시광선 영역에서의 투과율은 Table 1에서 보듯이  $10^2 \sim 10^5 \Omega/\text{sq}$ 와  $50 \sim 90\%$ 의 범위에 있어 비교적 우수한 특성을 나타내었다. 그리고 PVA에 대한 산화제의 함량이 증가함에 따라 필름의 표면저항과 투과율은 감소하는 경향을 나타내었는데 이는 산화제의 함량이 증가할수록 전도성고분자의 함량이 증가하기 때문이다. 광학현미경으로 관찰한 Figure 2의 사진형상에서 보듯이 UV에 의해서 분해되지 않은 부분에만 전도성고분자가 중합된 pattern 필름이 형성됨을 확인하였다. 본 연구에서 사용된 방법을 이용하여  $20\mu\text{m}$ 이하의 선폭을 가지는 pattern을 성공적으로 얻을 수 있었으며, 전기전도성 부분과 전기절연부분의 표면저항 차이는  $10^{10} \Omega/\text{sq}$  이상으로 매우 높은 절연성을 나타내었다. 또한 AFM 이미지를 통하여 PPy, PEDOT 필름의 표면이  $10 \sim 20\text{nm}$  정도의 roughness로 굉장히 평탄함을 알 수 있었다. 이런 결과를 토대로 패터닝된 전도성고분자필름을 TFT에 적용하는 것이 가능함을 알 수 있었다.

Table 1. 산화제 농도 변화에 따른 PPy, PEDOT 필름의 표면저항과 투과도 변화

FTS / PVA 비 (wt%)		3	5	8	10	15
PPy	표면저항 ( $\Omega/\text{sq}$ )	$2.5 \times 10^9$	$1.1 \times 10^9$	$1.3 \times 10^4$	$6.3 \times 10^3$	$2.5 \times 10^3$
	투과도 (%)	92	88	72	66	53
PEDOT	표면저항 ( $\Omega/\text{sq}$ )	$4.1 \times 10^4$	$5.8 \times 10^2$	$3.6 \times 10^2$	$3.4 \times 10^2$	$2.8 \times 10^2$
	투과도 (%)	97	87	77	67	54

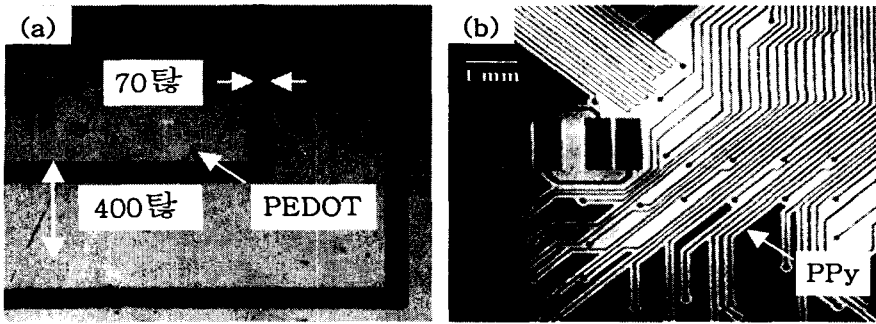


Figure 2. 전기전도성고분자 Micro-patterns 의 광학 현미경 사진

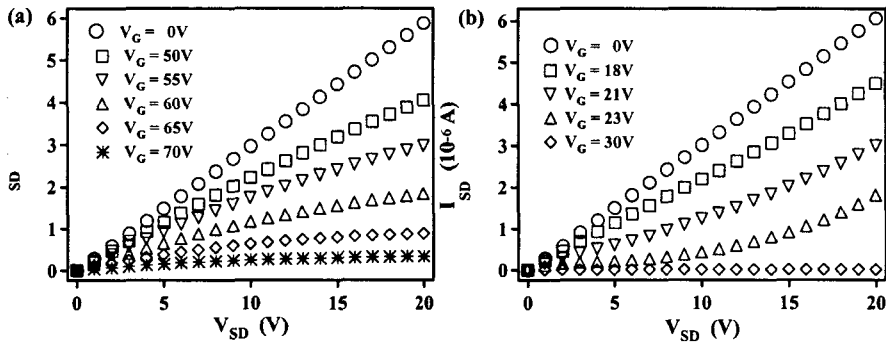


Figure 3. PPy(a), PEDOT(b)을 이용한 All-polymer TFT의 전기적 특성

Figure 3에서 보듯이 PPy, PEDOT을 사용한 소자 모두 게이트 전압 ( $V_G$ )이 증가할수록 소스-드레인 전류( $I_{SD}$ )가 줄고 있다. 이를 통하여 소자가 공핍모드에서 작동하고 있으며, 정공이 주 운반자인 p-type임을 알 수 있다. 또한 PEDOT을 사용한 소자가 PPy를 사용한 소자에 비해 성능이 우수하였으며 PPy의 경우 turn-off gate voltage가 70V, trans-conductance는  $-0.25\mu\text{A}/\text{V}$ , PEDOT의 경우 각각 30V,  $-0.5\mu\text{A}/\text{V}$ 로 계산되었다.

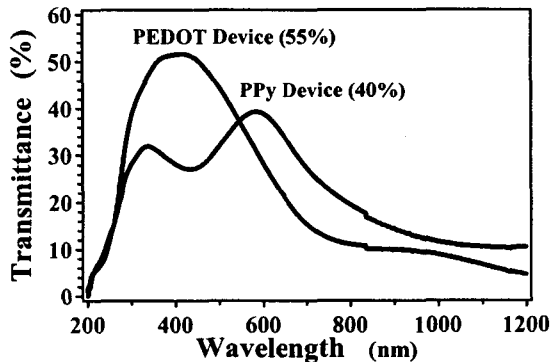


Figure 4. 가시광선영역에서의 All-polymer TFT의 투과도

본 연구에서 제작된 All-polymer TFT의 가장 큰 장점은 소스-드레인 전극과 활성층을 동시에 패터닝할 수 있는 일체형이기 때문에 전하 주입이 용이하며 Figure 4에서 보듯이 소자의 구성요소가 모두 비교적 투명한 고분자이기 때문에 투과도가 기존의 TFT보다 우수하다. 따라서 유연 투명성을 요구하는 여러 분야의 구동소자로서 역할을 할 수 있다고 생각한다.

#### 4. 결론

본 연구를 통하여 간단한 포토리소그래피를 통한 전도성고분자의 패터닝을 이용하여 All-polymer TFT를 성공적으로 제작했다. 소자들은 양의 게이트 전압 하에서 공핍모드에서 작동하였으며 PEDOT을 사용한 소자가 PPy를 사용한 소자에 비해 성능이 우수하였다. 모든 소자의 구성 요소가 상온에서 스펀코팅에 의해 간단히 제조할 수 있어 비용과 공정을 줄일 수 있으며, 모두 고분자물질이기 때문에 유연 투명한 소자를 제작 할 수 있었다. 따라서 All-polymer TFT는 유연성과 투명성을 중요시하는 여러 가지 전자제품에 응용 될 수 있다고 생각한다.

#### 5. 참고 문헌

1. F. Ebisawa, T. Kurokawa and S. Nara, "Carrier multiplication in semiconductors induced by the absorption of high-intensity CO<sub>2</sub> laser light", J Appl Phys, 54, pp.3220-3235(1983).
2. Y. Lin, D.J. Gundlach, S. Nelson and T.N. Jackson, "Stacked pentacene layer organic-thin film transistor with improved characteristics", IEEE Device Letters, 18, pp.606-609(1997).
3. C.D. Dimitrakopoulos and P.R. Malenfant, "Organic thin film transistors for large area electronics", Advanced Materials, 14, pp.99-117(2002).
4. F. Garnier, "Thin film transistors based on organic conjugated semiconductors", Molecular Crystals, 2, pp.455-461(1997).
5. A.G. MacDiarmid, "A novel role for organic polymers", Current Applied Physics, 1, pp.269-279(2001).
6. D.M. Collord and C.N. Sayre, "Micron-scale patterning of conjugated polymers on microcontact printed patterns of self-assembled monolayers", Synthetic Metals, 84, pp.329-332(1997).
7. T. Makela, S. Pienimaa, S. Jussila, H. Isotalo, "Lithographic patterning of conductive polyaniline", Synthetic Metals, 101, pp.705-706(1999).
8. M.S. Choi, K.T. Song, Y.C. Kim, Y.J Kim and J.Y. Lee, "Photolithographic patterning of electrically conducting polypyrrole film", Mol Cryst Liq Cryst, 377, pp.181-184(2002).