

## Pentacene Thin Film Transistor의 성능 개선

이 상 백, 이 명 원, 김 광 현, 허 영 현, \*송 정 근  
동아대학교 전기전자컴퓨터공학부  
전화 : 051-200-7711 / 핸드폰 : 011-843-5072

### Improvement of Pentacene Thin Film Transistor Performance

S. B. Lee, M. W. Lee, K. H. Kim, Y. X. Xu, C. K. Song  
School of Electronics, Electrical and Computer Engineering, Dong-A University  
E-mail : cksong@daunet.donga.ac.kr

#### Abstract

In Currently, OTFTs are actively studied around the world because they are expected to create new novel applications, which can not be implemented by the conventional Si semiconductor, due to the unique characteristics of organic materials. In this paper, the hole field effect mobility has been improved to the level of  $\alpha$ -Si TFTs with  $0.3\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ , simply applying the surface treatment process on the gate with organic molecules. In addition, the model has been suggested and the temperature dependence of hole mobility analyzed.

#### I. 서론

유기 반도체는 반도체 특성을 나타내는 공액성 유기 고분자인 폴리아세틸렌이 개발된 후, 유기물의 특성 즉 합성 방법의 다양함, 섬유나 필름 형태로 성형이 용이함, 유연성, 전도성, 저렴한 생산비 때문에 새로운 전기전자재료로서 기능성 전자소자 및 광소자 등 광범위한 분야에서 활발한 연구가 이루어지고 있다.

현재, OTFT는 영국의 Cavendish Lab. 네덜란드의 Phillips, 미국의 IBM Lab. Bell Lab.<sup>[1]</sup>, 펜실바니아 주립대학<sup>[2-4]</sup>, 프랑스의 CNRS 그리고 일본의 Mitsubishi 선진 외국의유수 연구소와 기업들을 중심으로 활발한 연구가 진행 중에 있다 1986년 일본의 Mitsubishi

Electric Corporation의 Tsumura 등은 유기물 반도체 Polyacetylene을 이용한 최초의 전계효과 트랜지스터를 제작하였다<sup>1</sup>. 그리고 1993년에 Mitsubishi에서는 PTV를 이용하여  $I_{on}/I_{off}$  점멸비가  $10^5$ , 이동도가  $0.22\text{cm}^2/\text{Vs}$  인 트랜지스터를 제작하였다<sup>[7]</sup>. 1997년에 펜실바니아 주립대학의 Jackson 그룹에서는  $I_{on}/I_{off}$  점멸비가  $10^8$ , 이동도가  $1.5\text{cm}^2/\text{Vs}$  으로  $\alpha$ -Si TFT보다 우수한 트랜지스터를 제작하였으며<sup>[1-3]</sup>, 1998년에는 Cavendish Lab.에서는 P3HT를 이용하여 트랜지스터를 제작하였으며,  $I_{on}/I_{off}$  점멸비가  $10^6$ , 이동도가  $0.1\text{cm}^2/\text{Vs}$  였다<sup>[4]</sup>. Bell Lab.은 CuPc를 사용하여  $I_{on}/I_{off}$  점멸비가  $4\times 10^6$ , 이동도가  $0.02\text{cm}^2/\text{Vs}$  인 트랜지스터를 제작하였다<sup>[6]</sup>. 이와 같이 다양한 유기 반도체를 활성층으로 사용하여 고전도성 TFT의 개발에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

본 논문에서는 게이트 절연막의 표면을 유기분자로서 처리하는 비교적 간단한 공정과  $\text{O}_2$  플라즈마 공정으로 유기활성 박막의 분자배열과 분자의 밀집도를 향상시켜서 분자 그래인의 크기를 개선하고, 이동도를 향상시킨 연구결과를 보고하며, 나아가서 이동도의 온도특성으로부터 유기박막의 전기적 특성을 분석하였다.

#### II. 실험

OTFT는 고준위 도핑된 Si 기판을 게이트 전극으로 사용하였고, 열산화 성장된  $\text{SiO}_2$ 를 게이트 절연막으로 사용하였다. Au로써 소스와 드레인 전극을 증착하였고, lift-off 공정으로 채널을 형성하였다. 이어서 펜타센 유기활성박막을 진공증착하여 소자를 완성하였다.

펜타센 유기박막의 두께는 약 600Å 이다. 게이트 절연막의 유기분자 처리 효과를 분석하기 위하여 몇 개의 소자는 펜타센 박막을 증착하기 전에 HMDS, OTS, MNB 처리와 MNB, OTS 동시 처리 그리고 O<sub>2</sub> 플라즈마 처리하였다. HMDS는 실리콘 리소공정에서 기판과 photoresist 와의 결합을 향상시키기 위하여 흔히 사용하는 재료이므로 OTFT에서도 펜타센 유기박막의 결정 형성에 기여할 것으로 기대된다. HMDS는 스핀코팅하였다. OTS는 SiO<sub>2</sub> 표면의 화학 특성을 변화시켜 펜타센 박막이 결정을 개선할 것으로 기대되며, self-assembly 공정으로 적층하였다. MNB는 Au 표면의 화학 특성을 변화시켜 펜타센 박막이 결정을 개선할 것으로 기대되며, self-assembly 공정으로 적층하였다. MNB OTS 동시처리는 OTS처리 후 MNB처리를 하여 SiO<sub>2</sub> 표면과 Au 표면의 화학 특성을 변화시켜 펜타센 박막이 결정을 개선할 것으로 기대된다. O<sub>2</sub> 플라즈마 처리는 채널사이의 불순물을 제거하여 유기박막의 결정 형성에 기여할 것이 기대 된다.

막의 특성은 AFM을 이용하여 관찰하였다.

I-V 측정은 HP4155를 사용하여, 그 때 나타나는 I-V 관계에서 전기적 특성을 계산하였다.

### III. 결 과

그림1은 유기분자로 게이트 절연체의 표면이 처리된 소자와 그렇지 않은 소자의 전기적 특성을 보여 주고 있다. 모두 p형 FET의 전기적 특성을 나타내고 있다. 표면처리된 소자가 처리되지 않은 소자 보다 개선된 성능을 나타낸다.

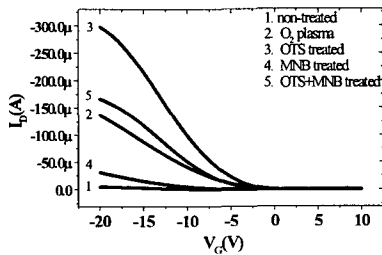


그림 1. 게이트 절연막 표면이 유기물로 처리되지 않은 OTFT와 HMDS, OTS, MNB 및 MNB OTS 동시처리 그리고 O<sub>2</sub> 플라즈마 표면처리된 OTFT의 전기적 특성 비교

특히 OTS 처리된 OTFT는 그렇지 않은 소자에 비하여 동일한 게이트 전압에서 드레인 전류가 약 100배 증가하였다. 정공의 이동도는 5.76×10<sup>-4</sup>cm<sup>2</sup>/V.sec에서 0.3cm<sup>2</sup>/V.sec로 약 1,000배 개선되었다. on/off 전류비는 5×10<sup>3</sup>에서 10<sup>6</sup>으로 약 200배 향상되었다.

이러한 전반적인 개선은 그림2의 AFM 사진에서

보듯이 표면처리를 함으로써 펜타센 유기박막의 그래인 크기가 증가하였기 때문이다. 표면처리 되지 않은 펜타센 박막은 그래인의 크기가 비교적 작고, 분자들이 뭉쳐있는 부분이 있음을 볼 수 있다. 이러한 표면의 불균일이 이동도의 감소 요인이 된다. HMDS와 O<sub>2</sub> 처리된 박막은 그래인이 다소 증가하였음을 볼 수 있고, 또한 평탄해졌음을 볼 수 있다. OTS 처리된 박막은 그래인의 증가와 함께 평탄도도 상당히 향상되었음을 알 수 있다.

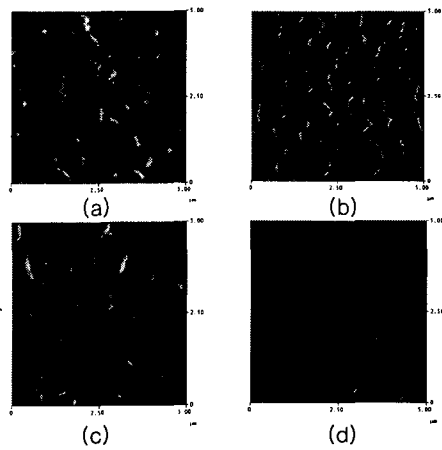


그림 2. 표면처리된 OTFT와 그렇지 않은 OTFT의 펜타센 유기박막의 AFM 사진, (a) as-deposited, (b) HMDS treated, (c) OTS treated 사진

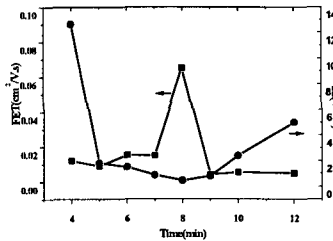
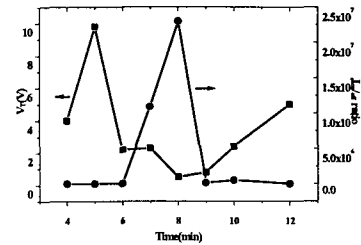


그림 3. O<sub>2</sub> 플라즈마 처리시간에 따른 OTFT 특성 비교

그림 3. 를 보듯이 O<sub>2</sub> 플라즈마 처리를 시간에 따른 각각의 성능비교를 하였다. 채널을 형성하기 위하여 lift off를 사용하는데 이때 채널사이에 남아있는 PR 및 여러 불순물들을 효과 적으로 제거할 수 있는 조건을 찾았다. 짧은 시간에서는 불순물들이 덜 제거됨에 의해 성능이 나빠지며 오랜 시간에서는 O<sub>2</sub> 플라즈마 영향에 의해 산화막에 전하축적현상으로 성능이 나빠진다는 보고가 있다. 그래서 적당한 시간을 찾게 되었다. O<sub>2</sub> 플라즈마 8분 처리가 가장 좋은 성능보였다. 이것으로 채널의 청결도가 소자에 미치는 영향이 중요하다는 것을 알 수 있다.

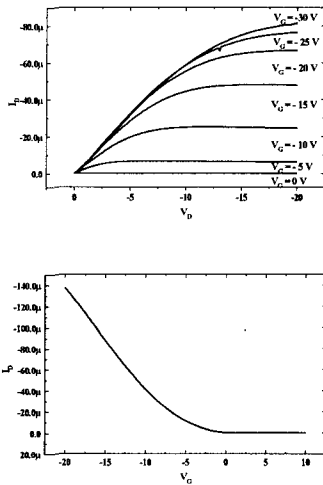


그림 4. 최적 O<sub>2</sub> 플라즈마 OTFT 전기적 특성 그래프

그림 4.은 최적 조건인 O<sub>2</sub> 플라즈마 8분 처리한 OTFT의 전기적 특성 그래프이다.

MNB 처리는 위에 소개한 물질과 다르게 산화막이 아닌 Au 전극위에 펜타센을 성장을 도와주는 물질이다. MNB는 OTS와 달리 Au위에 self-assembly하였다.

우리는 MNB와 OTS를 같이 처리함으로써 산화막 표면과 전극인 Au 표면을 동시에 처리하여 더 향상된 결과를 나타낼줄 알았으나 OTS처리한 소자보다 이동도면에서 1/2감소하였다. 아마 OTS처리후 MNB처리하는 과정에 OTS와 MNB가 반응하여 성능이 떨어지지 않았나 본다 그래서 우리 실험실은 현재 MNB의 대체물질을 찾고 있다.

표면처리 효과는 두 가지로 볼 수 있다. 첫째는 게이트 절연막의 표면에 있을 수 있는 결함이나 오염원을 유기분자막으로 포장하거나 제거 하여 유기활성분자가 엉겨서 그래인을 형성할 핵의 밀도를 줄임으로써 그래인 크기가 증가한 것으로 생각된다. 두 번째는 유기분

자를 처리함으로써 게이트 절연막과 Au 표면의 화학 특성이 변화했기 때문이다.

정공의 이동도를 온도 변화에 따라 측정하여 펜타센 박막의 전기적 특성을 분석하였다. 그림5에서 보듯이 표면처리되지 않은 소자의 이동도는 온도가 감소함에 따라 지속적으로 감소하였으나, 표면처리된 소자의 이동도는 초기에 감소하다가 다시 증가하는 형태를 보여 주었다. 그래인 경계의 전기적 특성이 이동도의 온도의존성을 결정한다. 정공포획이 지배적일 때는 온도 감소에 대하여 지속적인 이동도의 감소를 나타낸다. 이것은 그래인 경계에 포획된 정공이 가전자대에 정공의 전송을 방해하는 에너지 장벽을 형성하기 때문이다. 온도가 낮을 경우 페르미 에너지가 가전자대로 접근하므로 정공포획 에너지 준위에 포획되는 정공의 농도가 증가하여 에너지 장벽의 크기가 증가하여 정공의 이동도가 감소한다.

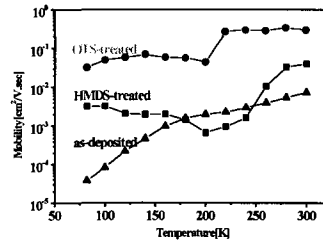


그림 5. HMDS 및 OTS로 표면처리된 OTFT와 그렇지 않은 OTFT의 정공 이동도의 온도 특성

온도가 증가함에 따라 페르미 에너지는 전도대로 접근함에 따라 포획되는 정공의 농도가 감소하게되고, 따라서 에너지 장벽의 크기도 감소하여 정공의 이동도가 증가한다. 그러나, 전자포획이 지배적일 때는 온도 특성이 달라진다. 전자포획 에너지 준위에 포획된 전자는 가전자대에 에너지 우물을 형성하게 된다. 온도가 낮을 경우 페르미 에너지 준위가 가전자대로 접근하므로 포획된 전자의 농도가 감소하고, 따라서 우물의 깊이는 작아져서 정공의 전송이 비교적 수월하여 이동도는 다소 크게 나타난다. 그리고, 온도가 증가하면 페르미 에너지 준위가 전도대로 접근함에 따라 포획된 전자의 농도가 증가하여 에너지 우물의 깊이가 깊어져서 정공의 이동도는 감소한다. 그러나, 온도가 계속 증가하면 포획된 전자의 농도가 증가하여 우물의 깊이는 더욱 깊어지지만 포논의 영향 때문에 우물에 갇힌 정공들이 쉽게 우물을 탈출하게 되어 오히려 정공의 이동도는 다시 증가한다. 그러므로, 표면처리된 OTFT의 경우 온도에 대한 이동도의 특성이 최소값을 나타내는 것은 그래인 경계에 전자포획이 지배적으로

나타나기 때문인것으로 추정된다

	$\mu_{FET}(cm^2/Vs)$	$V_T(V)$	$SS(V/dec)$	$I_{on/off}$ ratio	Off state current
Untreated	$5.76 \times 10^{-4}$	-2.37	2.01	$5 \times 10^3$	$5.9 \times 10^{-11}$
O <sub>2</sub> Plasma	0.065	0.5	0.46	$2.3 \times 10^7$	$5.49 \times 10^{-12}$
HMDS	0.04	-3.31	0.97	$10^5$	$10^{-10}$
MNB	0.036	-2.3	3.2	$2.0 \times 10^4$	$1.0 \times 10^{-9}$
OTS	0.26	0.00	1.05	$10^6$	$5 \times 10^{-11}$
MNB+OTS	0.11	-0.6	0.3	$1.3 \times 10^7$	$1.2 \times 10^{-11}$

표1

표1은 각각의 표면 처리 결과를 표로 나타내었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 게이트 절연막의 표면을 유기분자로 처리하여 표면상태를 변화시킴으로써 정공의 이동도를 획기적으로 개선하였다. 또 게이트 절연막 표면의 불순물을 제거하여 이동도를 개선하였다 특히 OTS로 표면처리된 OTFT의 경우 이동도는  $0.3cm^2/V.sec$ , on/off 전류비는  $10^6$ 으로 나타났으며, 이러한 성능은 유기EL 디스플레이의 구동소자로 활용할 수 있는 수준이다. 그리고, 표면처리된 OTFT의 이동도의 온도특성은 전자포획이 지배적인 반면에 그렇지 않은 경우 정공포획이 지배적으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 지역기술개발용역사업에 의하여 지원 되었음

#### 참고문헌(또는 Reference)

- [1] Zhenan Bao, "Materials and Fabrication Needs for Low-Cost Organic Transistor Circuits", *Adv. Mater.* vol. 12, no. 3, pp. 227-230, 2000
- [2] D.J. Gundlach, Y.Y. Lin, T.N. Jackson, S.F. Nelson, and D. G. Schlom, "Pentacene Organic Thin-Film Transistors - Molecular Ordering and Mobility", *IEEE Electron Device Letts.*, vol. 18, pp. 87, 1997.
- [3] Y.Y. Lin, D.J. Gundlach, T.N. Jackson, and H. Klauk, "Pentacene-Based Organic Thin-Film Transistors", *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 44, pp.1325, 1997.
- [4] H. Klauk, D.J. Gundlach, J.A. Nichols, and T.N. Jackson, *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 46, pp. 1258, 1999.
- [5] H. Sirringhaus, N. Tessler, and R.H. Friend, "Integrated Optoelectronic Devices Based on

- Conjugated Polymers", *Science*, vol. 280, pp. 1741, 1998.
- [6] Z. Bao, A.J. Lovinger, and A.Dodabalapur, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 69, pp. 3066, 1996.