

## SAM 절연체를 이용한 유기박막트랜지스터 개발의 최근 동향

김성수<sup>†</sup>

### Recent Trends in the Development of Organic Thin Film Transistor Including SAM Dielectric

Sungsoo Kim<sup>†</sup>

#### Abstract

A newly developed OTFT manufacturing process using the combination of self-assembly techniques and vapor phase polymerization method revealed that a thick SiO<sub>2</sub> dielectric layer (100~200 nm) is not well compatible with conducting polymer electrode, thereby resulting in still recognizable contact resistance, unstable V<sub>th</sub> and leaking off current. A couple of very recent studies showed that this issue may be solved by replacing such inorganic dielectric with a self-assembled monolayer or multilayer (organic) dielectric. Therefore, this short review introduces recent trends in the development of high performance thin film transistor consisting of both organic semiconductor and SAM dielectric.

**Key words** : OTFT, Organic dielectric, Self-assembled monolayer, Self-assembled multilayer.

TFT-LCD 및 AMOLED의 평판디스플레이가 대면적화, 고정세화, 고화질화 함에 따라 모빌리티 등을 비롯한 소자의 성능 향상과 균일도의 향상에 대한 필요가 절실해 지고 있다. 현 생산기술인 비정질 규소 박막트랜지스터 (amorphous-Si TFT)의 제조비용이 극한으로 낮아져 있는 상황에서, 새로운 고성능의 소자에 대한 제조비용도 그와 동등 또는 더욱 낮은 제조비용으로 개발되어야 한다. 개발된 새로운 소자의 제조기술이 제조비용을 낮출 수 있는 가능성이 있다 하더라도, 지금까지와 전혀 다른 새로운 장비와 설비가 개발되고 투자되어야 한다면, 이는 또한 산업화에 대한 장애요소가 되는 어려움이 있다. 따라서 현재 디스플레이 산업의 장비와 공정을 최대한 활용하면서, 더욱 뛰어난 성능과 생산성을 가진 기술을 개발하는 것이, 산업적으로 요구된다.

현재는 비용적인 측면에서 유리한 유기물을 반도체로 이용한 TFT제조기술이 LCD, OLED등의 디스플레이 제품에 적용되는 시도가 전 세계적으로 활발히 이루어지고 있지만, 유기물 자체의 낮은 내구성 및 안정

성과 개발된 제조공정의 낮은 재현성 (eg. 용액공정)으로 인해 산업화가 매우 더디게 진행이 되고 있는 상황이다. 이와 같이 유기박막트랜지스터의 낮은 성능을 개선 시켜서 비교적 용이한 전자회로에 적용하는 것을 시작으로 (eg. RFID tag, electronic bar codes) 점차 더욱 그 응용의 범위가 커짐에 따라 thin film electronics와 disposable plastic 전자회로 등의 기술이 더욱 다양화, 성숙화 되고, 새로운 전자제품의 시장형성 및 수요 창출에 영향을 주게 될 것이다.

a-Si TFT를 사용하는LCD 제품의 경우에는 코스트 절감을 위하여 구동회로를 a-Si TFT로 설계하여 LCD의 기판 위에 집적하는 기술이 상당부분 사용되고 있다. 이 경우, 패널의 크기에 따라 집적화된 구동회로의 차지하는 면적이 5 mm~10 mm이상의 폭을 요구하게 된다 (표 1참조). 이 회로부분이 집적화됨에 따라, 구동IC 등의 코스트를 절감할 수 있지만 회로를 구성하는 TFT의 과다 전압/전류 노출에 따른 문턱전압 변동에 따라 제품의 신뢰성에 영향이 있을 수 있고, 생산수율의 감소를 막기 위해 부단한 공정 관리 등의 노력이 필요하다. 또한TFT기판을 사용하는 OLED가 실용화됨에 따라, AMOLED도 회로의 집적화 기술이 사용될 것이다.

Pai Chai University, Department of Nano-Polymer Materials Engineering, Daejeon 302-735

<sup>†</sup>Corresponding author: skim@pcu.ac.kr

(Received : February 24, 2009, Accepted : March 11, 2009)

표 1. 각종 유형의 TFT 소자들에게 요구되는 최소성능 제한

|                              | a-Si TFT                       | LTPS TFT                   | OTFT                        |
|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 응용분야                         | TFT LCD                        | 중소형 LCD, AMOLED            | 연구개발 중                      |
| 모빌리티                         | 0.3~0.7 cm <sup>2</sup> /V.sec | >60 cm <sup>2</sup> /V.sec | ~0.1 cm <sup>2</sup> /V.sec |
| 문턱전압 변동폭 ( $\Delta V_{th}$ ) | 1 V                            | 0.2 V                      | -                           |
| 구동회로                         |                                |                            |                             |
| 집적시 소요 넓이                    | 5 mm~10 mm                     | 1 mm                       | -                           |

한편, 플렉시블 디스플레이 등의 기술이 개발됨에 따라 OTFT의 개발과 응용이 예상된다. 아직 안정성과

신뢰성, 소자의 성능 등에서 미흡한 OTFT 성능과 안정성, 제조코스트 등을 a-Si TFT 이상으로 확보하는 노력이 경주되고 있다 (표 1 참조).

유기박막트랜지스터 (OTFT)는 여러 다양한 구조의 유/무기박막들, 즉, 게이트층, 절연층, 소스/드레인전극층, 그리고 반도체층의 연속적인 적층으로 이루어져 있다. 예로서 소스/드레인 전극층을 전도성고분자의 기상중합법과 자기조립단분자막기술을 적용하여 에너지 효율적이고 저비용으로 제작할 수 있는 패터닝공정 (그림1 참조)이 최근에 국민대에서 성공적으로 개발되었으며<sup>[5,7-14,16,20]</sup> 그 위에 pentacene 및 functionalized-pentacene을 반도체 층으로 사용한 OTFT소자를 성공적으로 구축하였다 (charge carrier mobility = 0.1~0.44 cm<sup>2</sup>/Vs; I<sub>on/off</sub> = 10<sup>6</sup>; V<sub>Th</sub> = -0.84 V; Subthreshold swing

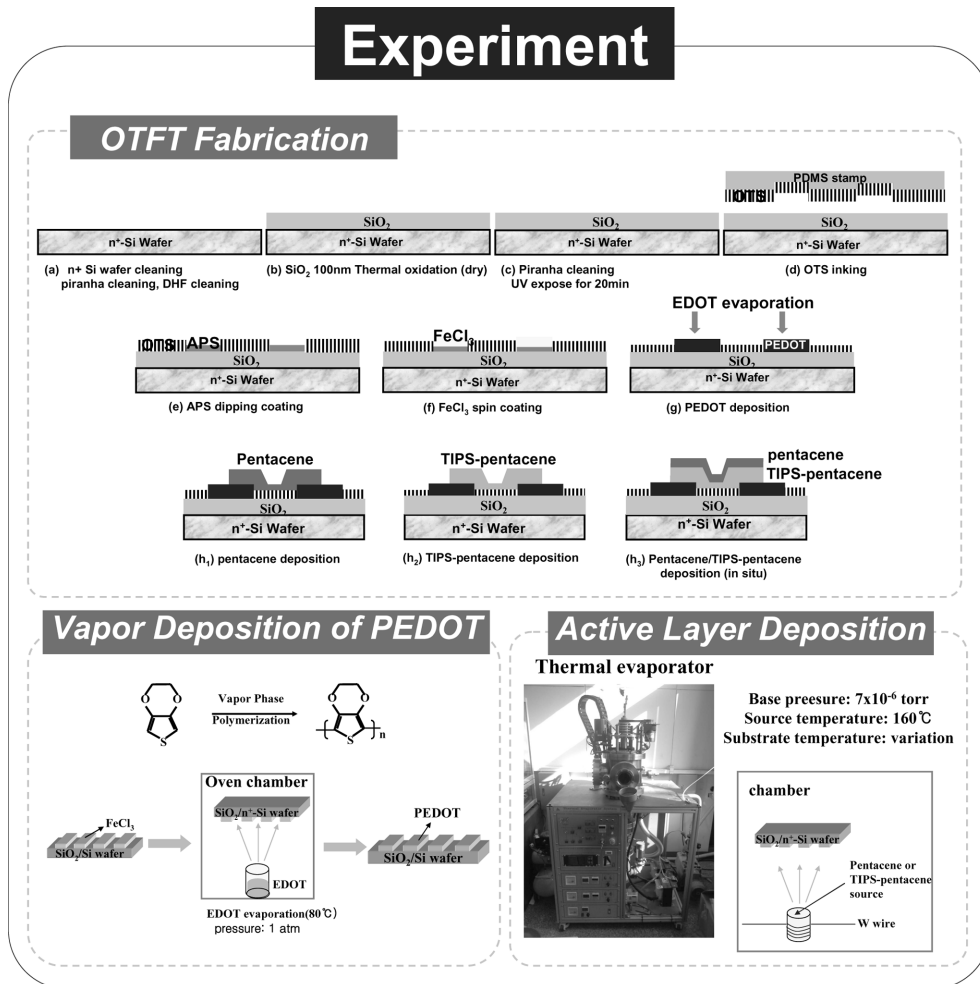


그림 1. 자기조립기술과 기상중합법을 이용한 펜타센 박막트랜지스터의 제작공정.

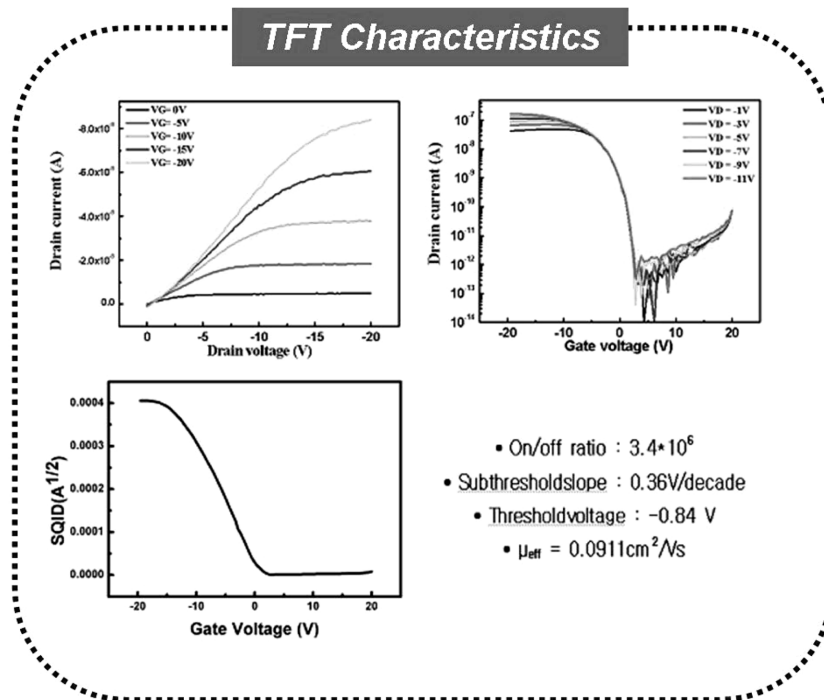


그림 2. PEDOT전극과 TIPS-pentacene으로 이루어진 박막트랜지스터의 output, transfer 특성.

= 0.36 V/dec).<sup>[2]</sup> 또한 이 소자는 기존의 골드전극을 소스/드레인 층으로 사용한 OTFT소자보다 반도체/전극 계면에서의 접촉저항이 월등히 낮음을 보였다. 즉, 유기반도체/골드전극계면에서의 접촉저항에 비교하여 유기반도체/전도성고분자 전극계면에서의 저항은 무시할 만한 수준임을 보여주었다. 이 연구결과는 저렴하면서도 고성능의 완전한 all organic TFT소자를 실리콘 웨이퍼 기반 위에 제작할 수 있는 가능성을 고무적으로 높였다는데 그 의미가 있다.

그러나 여전히 높은 구동전압과 불안정한 문턱전압 그리고 off current에서 보이는 누설전류 (그림2참조) 등은 게이트 절연체로 쓰인 실리콘 산화막이 유기반도체와의 적합성 측면에서 상당히 회의적임을 강력히 시사한다. 실제로 유기반도체에는 자기조립단분자막과 같은 유기절연체가 소자성능 증대에 상당히 유리하다는 점이 불란서의 Dominique Vuillaume그룹에 의해 처음으로 입증되었다.<sup>[21,22]</sup> 특히 최근 들어서 독일 Infineon사에 Marcus Halik 그룹<sup>[23]</sup> (그림3)과 미국 Northwestern대학에 Tobin J. Marks 그룹<sup>[24]</sup> (그림4)은 매우 얇은 알킬실란계 자기조립단분자막 (~2.5 nm) 또는 다분자막 (~5.5 nm)이 낮은 전압에서도 구동 (<1~2 V)하지만 절연성능은 반대로 더욱 뛰어난 (Capacitance ~

1-2.5  $\mu\text{F}/\text{cm}^2$ ; leakage current density  $\sim 10^{-9} \text{ A}/\text{cm}^2$  at a gate field of 14 MV/cm) 소자의 제작에 성공하였다. 반면에 국내에서 SAM을 이용한 유기절연체를 개발하려는 시도는 아주 최근 들어서 일부 시도되고 있다. 그러나 단지 주목할 만한 결과는 포항공대에 조길원교수 연구팀<sup>[25]</sup>과 한양대에 성명모교수 연구팀<sup>[26]</sup>에서 보고 되었으나 소자의 성능은 여전히 많이 미흡함을 알 수 있다.

이상에서 본 바와 같이 자기조립단분자나 다분자막을 이용한 유기절연막 유기반도체 트랜지스터 소자는 단기적으로 볼 때 디스플레이 장치에 사용되는 a-Si TFT와 같은 소자나 집적회로를 대체할 상당히 높은 성공 가능성을 보였음에도 여전히 유관연구분야에서 큰 주목을 받지 못하고 있는 실정이다. 또한 경제성 측면에서 all organic 박막트랜지스터는 저렴한 원가로 인해 더욱 유리할 것이다. 따라서, 이와 같은 트랜지스터 소자가 근시일 내에 실현된다면 현재 OTFT의 확보된 성능보다 동작전류를 증대시키고, 문턱전압의 취약점을 개선시켜 소자 안정성을 증대시키기에 따라, 현재 설계하여 사용하는 TFT 집적회로의 신뢰성과 수율을 향상할 뿐만 아니라, 이를 바탕으로 초대면적 디스플레이에서도 화질과 성능을 달성 가능하게 할 것이다.

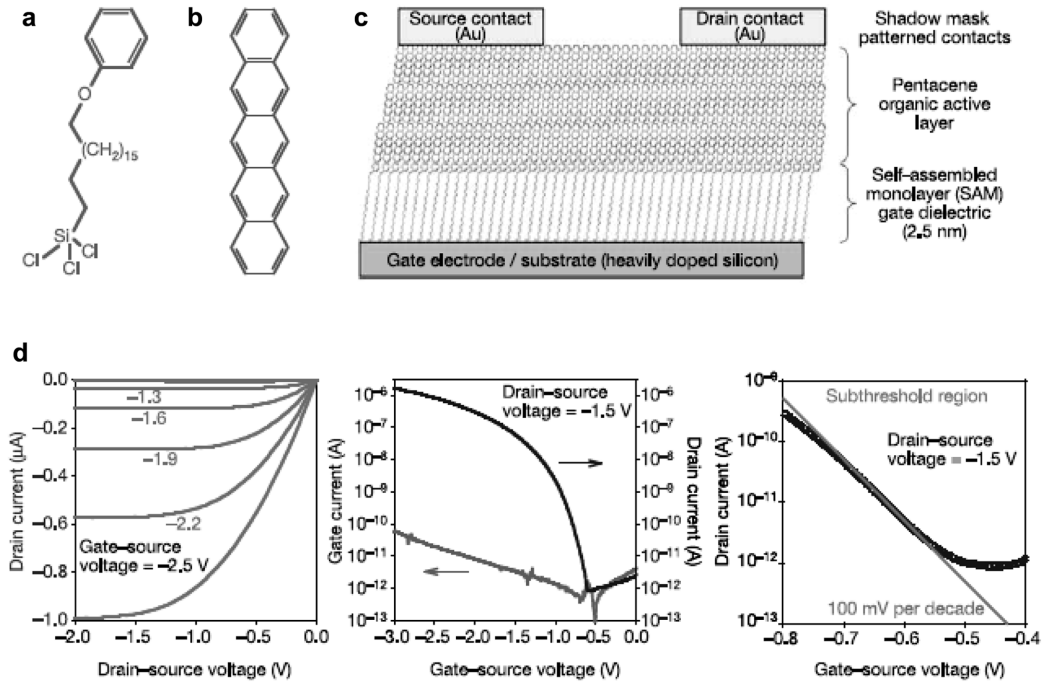


그림 3. SAM 게이트 절연체를 포함하는 박막트랜지스터의 단면도 (c), 전기적 특성 (d), 그리고 그 소자에 사용된 유기물 (PhO-OTS; pentacene)의 화학구조 (a, b)<sup>23)</sup>.

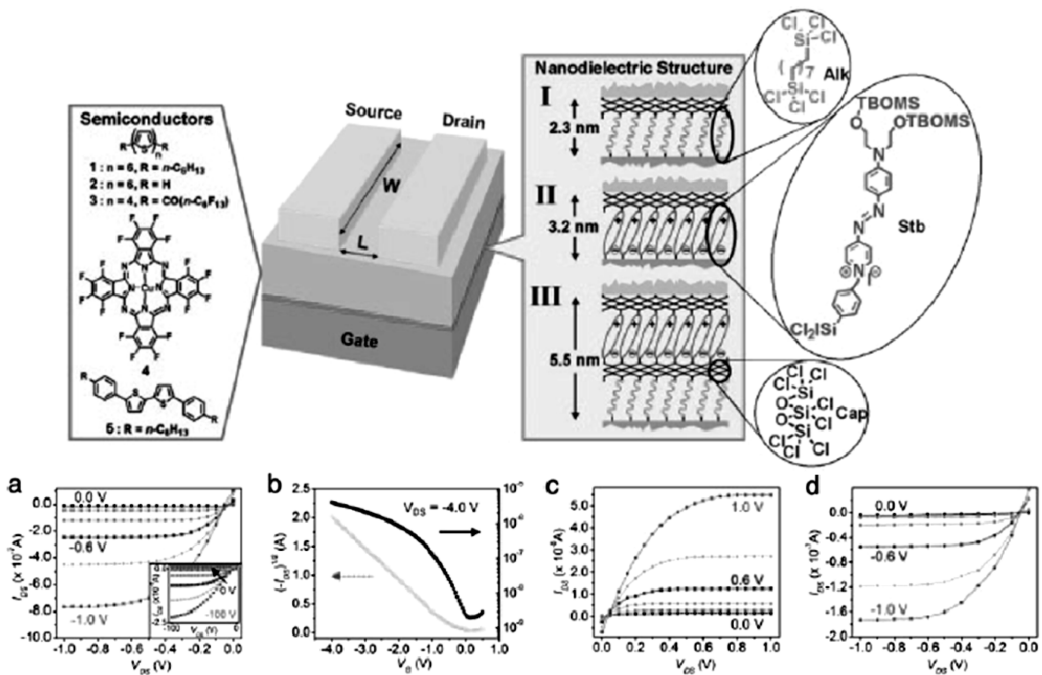


그림 4. 자기조립 절연체막 (I, II, III) (왼쪽)과 여러 유기반도체 (오른쪽 1-5)의 분자구조를 포함하는 박막트랜지스터의 구조도. 게이트층은 n-타입 Si 웨이퍼 또는 ITO가 사용되었다. 자기조립 절연체막 I, II, III와 유기반도체 (1 또는 4)를 포함하는 박막트랜지스터의 전기적 특성. (a) II/반도체 1; (inset)SiO<sub>2</sub>/반도체 1 (b) III/반도체 1 (c) III/반도체 4 (d) ITO게이트 위에 III/반도체 1<sup>24)</sup>.

AMOLED같이 고 이동도와 엄격한 특성 균일도를 요구하는 디스플레이에서도 문턱전압의 안정성을 제고함으로써 OTFT기술의 산업화 적용을 더욱 앞당길 수 있다. 디스플레이 분야만이 아닌 플렉시블 전자시스템의 응용분야에 대한 TFT 응용 시기도 앞당기고 그 가능성을 높일 것이다.

### 참고문헌

- [1] Sungsoo Kim, Ilsun Pang, Sungkyun Park, Sang-Shin Park and Jaegab Lee. *Journal of Physical Chemistry B*. In preparation. 2008.
- [2] Hoesup So, Hyunho Kim, Ilsun Pang, Taekwan Kim, Sungsoo Kim, and Jaegab Lee. *Applied Physics Letters*. Submitted. 2008.
- [3] Ilsun Pang, Jin-Hyo Boo, Honglae Sohn, Sungsoo Kim, and Jaegab Lee. *Bulletin of the Korean Chemical Society*. 29, pp.1349-1352. July 20, 2008.
- [4] Sungsoo Kim, Taewook Kwon, Honglae Sohn, Jin-Yeol Kim, Hyunjung Shin, Chul Kim, and Jaegab Lee. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 8, pp. 5080-5084. October 1, 2008.
- [5] Tae Kwan Kim, Hoesup Soh, Hyunho Kim, Sungsoo Kim, and Jaegab Lee. *Electronic Materials Letters*. 4, pp. 85-89. June 15, 2008.
- [6] Sungsoo Kim, Honglae Sohn, Jin-Hyo Boo, and Jaegab Lee. *Thin Solid Films*. 516, pp. 940-947. January 30, 2008.
- [7] Ilsun Pang, Sungsoo Kim, and Jaegab Lee. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 7, pp. 3792-3794. November 1, 2007.
- [8] Ilsun Pang, Sungsoo Kim, and Jaegab Lee. *Journal of the Korean Physical Society*. 51, pp. 1093-1095. September 1, 2007.
- [9] Sungsoo Kim, *Electronic Materials Letters*. 3, pp. 109-114. November 1, 2007.
- [10] Ilsun Pang, Sungsoo Kim, and Jaegab Lee. *Surface & Coatings Technology*. 201, pp. 9426-9431. September 25, 2007.
- [11] Sungsoo Kim, Ilsun Pang, and Jaegab Lee. *Aminosilane Macromolecular Rapid Communications*. 28, pp. 1574-1580. August 1, 2007.
- [12] S. Kim, T. W. Kwon, J. Y. Kim, H. Shin, and J. G. Lee, M. M. Sung. *Journal of the Korean Physical Society*. Vol. 49. No 1. pp. 736-740. December 19, 2006.
- [13] H. M. Lee, T. K. Hong, S. Kim, J. H. Lee, J. G. Lee\*, C. H. Kang, J. H. Lee, D. H. Kim, C. O. Jeong, S. Y. Kim, S. K. Lim. *Journal of the Korean Physical Society*. Vol. 49. No 1. pp. 702-706. December 19, 2006.
- [14] Sungsoo Kim, Kilwon Cho and Joan E. Curry. *Langmuir*. Vol 21. No 18. pp. 8290-8296. August 30, 2005.
- [15] Do Hwan Kim, Yeong Don Park, Yunseok Jang, Sungsoo Kim and Kilwon Cho. *Macromolecular Rapid Communications*. Vol 26. No 10. pp. 834-839. May 19, 2005.
- [16] Joan E. Curry and Sungsoo Kim. *Dekker Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology*. Marcel Dekker Publisher. pp. 1-9. March 2004.
- [17] Sungsoo Kim, Hugo K. Christenson and Joan E. Curry. *Journal of Physical Chemistry B*. Vol 107. No 16. pp. 3774-3781. April 24, 2003.
- [18] Sungsoo Kim, Hugo K. Christenson, and Joan E. Curry. *Langmuir*. Vol 18. No 6. pp. 2125-2129. March 19, 2002.
- [19] 자기조립단분자막을 이용한 패턴형성방법. 국내특허출원. 10-2007-0027169. 출원인: 산학협력단, 국민대학교. 발명자: 김성수, 이재갑, 팽일선, 박희정. 2007년 3월.
- [20] D. K. Aswal, S. Lenfant, D. Guerin, J. V. Yakhmi, D. Vuillaume. *Analytica Chimica Acta* Vol 568. pp. 84-108. 2006.
- [21] Antonio Facchetti, Myung-Han Yoon, and Tobin J. Marks. *Adv. Mater.* Vol 17. pp. 1705-1725. 2005.
- [22] M. Halik, H. Klauk, U. Zschieschang, G. Schmid, C. Dehm, M. Schutz, S. Malsch, F. Effenberger, M. Brunnbauer, and F. Stellacci. *Nature*. Vol 431. October 21, 2004.
- [23] M. Yoon, A. Facchetti, and T. J. Marks. *PNAS*. Vol 102. No 13. pp. 4678-4682. March 29, 2005.
- [24] Y. D. Park, D. H. Kim, Y. Jang, M. Hwang, J. A. Lim, and K. Cho. *APL*. Vol 87, 243509. December 7, 2005.
- [25] B. H. Lee, K. H. Lee, S. Im, M. M. Sung. *Organic Electronics*. Vol 9. pp. 1146-1153. September 6, 2008.