

◆프린팅공정장비◆

유기박막 트랜지스터를 위한 프린팅과 자기정렬공정의 결합기술

김강대*, 조정대*, 이택민*, 김충환*, 신동윤*, 김동수*, 최병오*

Novel Combination Technology of the Printing and Self-aligned Process for Organic Thin Film Transistor

Kang Dae Kim*, Jeong Dai Jo*, Taik Min Lee*, Chunghwan Kim*, Dong Youn Shin*, Dong Soo Kim* and Byung Oh Choi*

Key Words : Printed Electronics (인쇄전자소자), Self-aligned process (자기정렬공정), Roll-to-Roll (롤투롤), Organic thin film transistor (유기박막트랜지스터)

1. 서론

근래 들어 펜타센과 같은 유기 반도체의 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 유기 반도체는 합성 방법이 다양하고 섬유나 필름 형태로 성형이 용이하며 유연성, 전도성이 우수할 뿐만 아니라 상대적으로 제조 비용이 저렴하다. 이처럼 다양한 이점을 가지고 있기 때문에 유기 반도체는 오늘날 새로운 전기전자재료로서 기능성 전자소자, 광소자 등의 광범위한 분야에서 활발히 연구되고 있다. 유기박막트랜지스터는 실리콘 박막 트랜지스터와 구조적으로 거의 같은 형태를 유지하면서 제조 측면에서는 실리콘 박막 트랜지스터에 비하여 공정이 간단하고 비용이 저렴하다는 장점을 가지고 있다. 이 때문에 플렉시블 디스플레이(flexible display), 전자태그(RFID; radio frequency identification) 등의 전자제품에 유기 박막 트랜지스터를 적용하기 위한 시도들이 계속되고 있다.¹⁻³

그러나 플렉시블 디스플레이, 전자태그를 구현하기 위해서는 저가격화, 대량생산화 등의 요구 조건을 만족해야 하므로 기존의 전자소자 생산 방식과는 다른 생산 공정이 요구된다. 제작 기술적 측면에서 해결 방안으로는 롤투롤(roll-to-roll) 공정과 같은 상온에서 직접 프린팅 하는 기술 개발의 필요성이 대두 되고 있다. 이에 따른 프린팅 공정, 장비, 측정기기, 관련 프린팅재료 등이 유럽과 미국을 중심으로 연구 개발되고 있다.^{4,5}

본 연구에서는 플렉시블 전자소자(flexible electronics)의 핵심소자인 유기박막트랜지스터의 자기정렬공정, 프린팅공정, 롤투롤 프린팅 시스템에 대하여 살펴보았다.

2. 자기정렬 유기박막트랜지스터 및 제조 공정

그림 1 은 기존의 유기박막트랜지스터 구조를 나타내는 단면도 이다. 기판 위에 게이트 전극을 형성하고, 그 위에 게이트 절연막을 형성한다. 그 다음 절연막 위에 서로 일정 거리만큼 떨어져서 소스/드레인 전극을 형성한다. 마지막으로 소스/드레인 전극 사이에 유기반도체 층을 형성한다. 이

* 한국기계연구원 나노기계연구본부
Tel. 042-868-7609, Fax. 042-868-7176
Email : kds671@kimm.re.kr
인쇄전자소자 및 공정, 롤투롤(roll-to-roll) 시스템에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

러한 기존의 유기박막트랜지스터는 소스/드레인 전극과 게이트 전극과 중첩부분을 가지게 된다. 이 중첩부분은 기생저항과 기생용량을 유발하여, 이로 인해 유기박막트랜지스터의 전기적 특성을 저하시킨다. 뿐만아니라 유기박막트랜지스터의 전극은 증착 공정으로 형성되어 롤투롤(roll-to-roll) 제조가 힘들며 상대적으로 제조 단가가 비싸다.

따라서 유기박막트랜지스터에서 소스/드레인 전극과 게이트 전극 사이에 중첩되는 부분이 발생하지 않도록 하면서 프린팅 공정으로 형성하여 제조 공정을 단순화 하는 것이 필요하다.

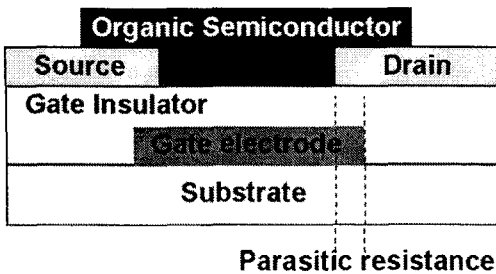


Fig. 1 The device structure of conventional organic thin film transistor

그림 2 은 자기정렬 유기박막트랜지스터의 제작 공정을 나타낸다. 먼저 알루미늄 게이트 전극을 유리기판 위에 40nm 까지 열 증착(thermal evaporation)하여 형성하고, 리프트오프(lift-off) 공정을 이용하여 패터닝 한다. 게이트 절연체는 열경화 PVP(thermal cross-linked poly-4-vinylphenol)를 스핀 코팅하여 형성하고, 200° C 의 진공오븐에서 경화시킨다. 그 다음, 자외선 경화 가능한 실버 페이스트(UV curable Ag Paste)를 그림 2(a)와 같이 스크린 프린팅 공정으로 형성한다. 곧 바로 그림 2(b)와 같이 알루미늄 게이트 전극을 마스크로 사용하여 후면 노광한다. 이 때 경화되는 실버 페이스트 전극의 두께를 줄이기 위하여 부분적으로 경화를 시켰다. 자외선 경화 강도는 7mW/cm² 이고, 조사시간은 20min 이다. 그 다음 그림 2(c)와 같이 경화되지 않는 채널영역과 페이스트의 상층부분을 현상공정을 이용하여 제거한다. 이 때 깨끗한 게이트 표면을 얻기 위하여 현상액은 아세톤을 사용하였다. 소스-드레인 전극의 패터닝이 형성되고 난 뒤, 전극의 전기적 특성을 향상시키기 위하여

200°C 에서 20min 동안 베이킹(baking)하였다. 마지막으로 그림 2(d)와 같이 P3HT 유기반도체를 클로로벤젠(chlorobenzene) 용매에 1wt% 농도로 희석하여 drop-casting 하여 형성하였다.

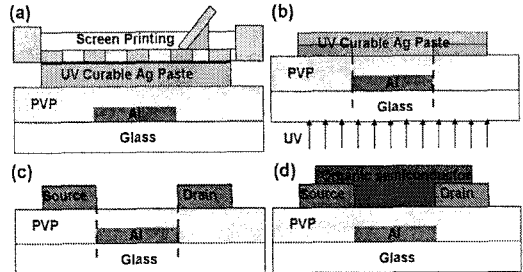


Fig. 2 The fabrication process of self-aligned OTFT and: (a) screen printing, (b) rear side UV exposure, (c) development, (d) deposit organic semiconductor

면저항(Rs)는 four-point probe 시스템을 이용하여 측정하였다. 소스/드레인 실버 페이스트(Ag Paste)의 면저항은 6-0.2Ω/□의 값으로 나타났으며, 스퍼터링으로 형성된 ITO 전극(2Ω/□)보다 크거나 비슷하였으나, 열경화 타입의 실버 페이스트(0.1Ω/□)보다 크게 나타났다. 완전 경화하였을 때 면저항은 0.2 Ω/□값으로 균일한 특성을 보였으나, 부분경화시 면저항 값의 변동이 심했다. 균일하면서, 낮은 면저항 값을 얻기 위해서는 완전경화 시켜야 하나 소스/드레인 전극 패턴이 깨끗하게 형성되지 않는 문제가 있었다. 이는 두꺼운 실버 페이스트 전극 안에서 자외선이 산란하기 때문이다.

그림 3 은 제작된 자기정렬 유기박막트랜지스터의 광학현미경 사진이다. 사진에 나타난 바와 같이, 소스/드레인 전극 패턴이 게이트 전극에 따라 형성되므로 자기정렬에 의해 게이트 전극과 중첩되지 않는 구조를 가진다. 따라서 기생저항과 기생용량을 제거할 수 있고 전기적 특성을 향상시킬 수 있다. 더구나, 열증착과 같은 진공공정 방식 대신 프린팅 공정으로 패터닝하여 그 공정이 매우 간단해진다.

그림 4 는 P3HT(poly(3-hexylthiophene))를 유기 반도체로 사용한 자기정렬 유기박막트랜지스터의 transfer, output 특성 그래프이다. 자기정렬된 P3HT-박막트랜지스터의 이동도는 1.4×10⁻³ cm²/V.s, 온-오프 비율은 10 의 특성을 나타내었다.

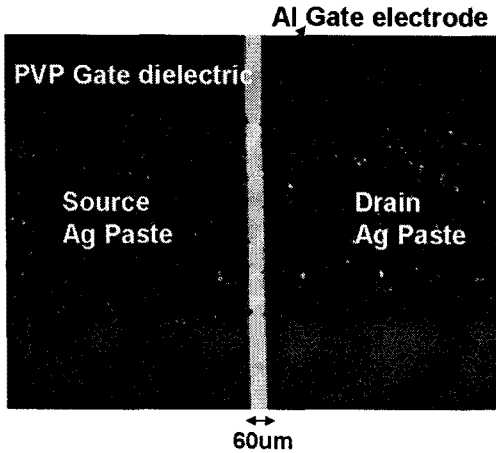


Fig. 3 Top-view of printed and self-aligned OTFT

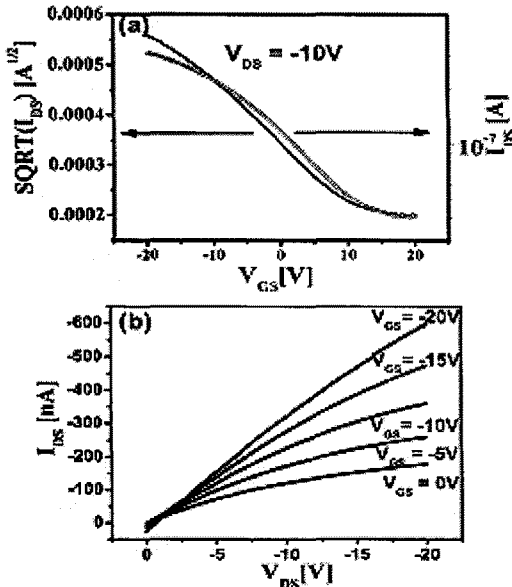


Fig. 4 (a) Transfer and (b) output characteristics of self-aligned P3HT TFT (W/L = 1750μm/55μm)

3. 롤투롤 프린팅 시스템

자기정렬 유기박막트랜지스터 제조공정은 롤투롤 공정을 이용할 수도 있다. 그림 5 는 본 연구에서 제안하는 롤투롤 공정을 예시한 개념도이다. 기판은 릴 형태로 제공되고, 연속적으로 이송되는 상태에서 공정들이 연속하여 진행된다. 게이트 전극 공정은 마이크로 콘택 프린팅이나 나노

임프린팅을 이용할 수 있고, 게이트 절연막 형성 공정은 라미네이팅을 이용할 수 있다. 소스/드레인 전극은 스크린 프린팅 공정 후, 앞서 설명한 바와 같이 자외선 후면 노광 및 현상 공정을 거쳐 형성한다. 마지막으로 디스펜싱 공정으로 유기 반도체막을 형성한다. 이상으로, 유기박막트랜지스터를 롤투롤 프린팅 시스템을 이용하여 제조할 수 있으므로 전체 제조공정을 단순화 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 유기박막트랜지스터의 제조방법을 개발하였다. 특히 소스/드레인 전극이 게이트 전극과 자기정렬되어 형성됨으로써 서로 중첩되지 않는 구조를 가지며, 이에 따라 전기적 특성이 향상될 수 있다. 더구나, 포토레지스트 패터닝을 이용하여 도전막을 패터닝 방식 대신 프린팅 공정으로 직접 패터닝하는 것이 가능하므로 그 공정이 매우 간단해진다. 또 한 롤투롤 공정을 이용하여 유기박막트랜지스터를 제조할 수 있으므로, 전체 제조공정을 단순화시킬 수 있다.

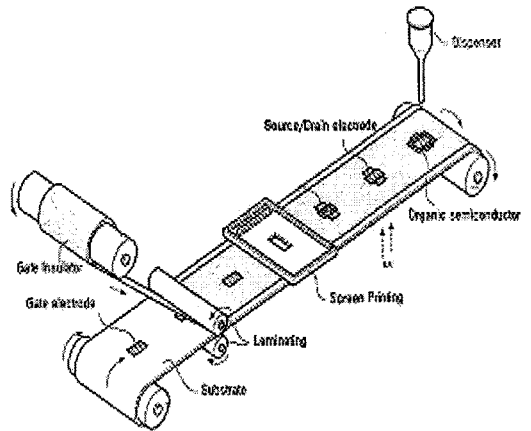


Fig. 5 Concept of roll-to-roll printed OTFT

후기

이 논문은 2007 년도 정부(과학기술부)의 재원으로 국제과학기술협력재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. M60602000002-06E0200-00210).

참고문헌

1. Forest, S. R., "The path to ubiquitous and low-cost organic electronics appliances on plastic," *Nature*, Vol. 428, pp. 911-918, 2004.
2. Eder, F., Klauk, H., Halik, M., Zschieschang, U., Schmid, G. and Dehm, C. "Organic electronics on paper," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 84, No. 14, pp. 2673-2675, 2004.
3. Baude, P. F., Ender, D. A., Haase, M. A., Kelley, T. W., Muyres, D. V. and Theies, S. D., "Pentacene-based radio-frequency identification circuitry," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 82, No. 22, pp. 3964-3966, 2003.
4. Sele, C. W., Werne, T. V., Friend, R. H. and Sirringhaus, H., "Lithography-Free, Self-Aligned Inkjet Printing with Sub-Hundred-Nanometer Resolution," *Adv. Mater.*, Vol. 17, No. 8, pp. 997-1001, 2005.
5. Knobloch, A., Manuelli, A., Bernds, A. and Clemens, W. "Fully printed integrated circuits from solution processable polymers," *J. Phys. Lett.*, Vol. 96, No. 4, pp. 2286-2291, 2004.