

프린팅 공정을 이용한 전자소자 제작

Fabrication of electronic devices using printing process

*#김강대¹, 조정대¹, 이택민¹, 김충환¹, 신동윤¹, 김동수¹, 최병오¹

*#K. D. Kim¹(kangdae@kimm.re.kr), J. D. Jo¹, T. M. Lee¹, C. H. Kim¹, D. Y. Shin¹, D. S. Kim¹, B. O. Choi¹

¹ 한국기계연구원 정보장비연구센터

Key words : Printed Electronics, Printing Process, Organic thin film transistor(OTFT)

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 시도가 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 연속공정이 가능하여 대량생산의 용이성, 전자소자의 집적화 가능성, 기존의 박막트랜지스터에 비해 경비의 대폭절감의 가능성, 환경친화성을 고려한 상온에서 직접 프린팅 하는 기술 개발의 필요성이 대두 되고 있다. 이에 따른 프린팅 장비, 측정기기, 관련 프린팅재료 등이 유럽과 미국을 중심으로 연구 개발되고 있다[4,5].

저가격화, 고효율을 위해서는 재현 가능하며, 균일한 프린팅 기술이 핵심이다. 기본적인 2차원/3차원의 구조를 다양한 전도성, 반도체성, 절연성 재료에 대해 프린팅 할 수 있으며, 중첩인쇄를 통해 전자 소자를 생산해내는 전자소자용 롤투롤 프린팅 시스템에 대한 연구가 반드시 필요하다.

본 연구에서는 플렉시블 디스플레이, 전자태그의 핵심소자인 유기박막트랜지스터의 소자구조, 프린팅공정, 롤투롤 프린팅 시스템에 대하여 살펴보았다.

2. 자기정렬 유기박막트랜지스터 및 제조 공정

Figure 1은 기존의 유기박막트랜지스터 구조를 나타내는 단면도이다. Figure 1에 나타난 바와 같이, 기판 위에 게이트 전극을 증착하고 패터닝하여 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. 이러한 기존의 유기박막트랜지스터는 소스/드레인 전극과 게이트 전극과 중첩부분을 가지게 된다. 이 중첩부분은 기생저항과 기생용량을 유발하여, 이로 인해 유기박막트랜지스터의 전기적 특성을 저하시킨다. 뿐만 아니라 게이트전극, 소스/드레인전극, 유기반도체층이 증착공정으로 형성되어 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.

Figure 2는 본 연구에서 제작한 자기정렬 유기박막트랜지스터의 제작 공정을 나타낸다. 게이트 전극과 게이트 절연체는 기존의 유기박막트랜지스터와 같은 공정으로 형성하였다. 게이트

전극(A1)을 증착하고 패터닝하여 형성한 뒤 게이트 절연체(PVP)를 스핀코팅으로 형성하였다(Figure 2(a)). 그 다음 Figure 2(b)와 같이 스크린 프린팅 공정으로 UV Curable Ag Paste를 도포한다. 그 다음 게이트 전극을 마스크로 사용하여 후면 노광을 실시하여 서로 일정 거리만큼 떨어져서 소스/드레인 전극을 형성한다. 게이트 전극에 의해 가려진 부분은 물성이 그대로 유지되지만, 게이트 전극에 의해 가려지지 않은 부분은 자외선에 의해 경화되면서 물성이 변하게 된다. 추후 현상 공정에서 경화된 부분은 현상액에 의하여 제거되지 않으며 경화되지 않은 부분은 현상액에 의하여 제거된다(Figure 2(c)). 마지막으로 유기반도체를 디스펜싱과 같은 공정을 이용하여 형성한다(Figure 2(d)). Figure 3은 제작된 자기정렬 유기박막트랜지스터의 광학현미경 사진이다. 사진에 나타나듯이, 소스/드레인 전극은 게이트 전극을 마스크로 형성되므로 자기정렬(self-align)에 의해 게이트 전극과 중첩되지 않는 구조를 가진다. 따라서 기생저항과 기생용량을 제거할 수 있고 전기적 특성을 향상시킬 수 있다. 더구나, 포토레지스트 패턴을 이용하여 도전막을 패터닝 방식 대신 프린팅 공정으로 직접 패터닝하는 것이 가능하므로 그 공정이 매우 간단해진다.

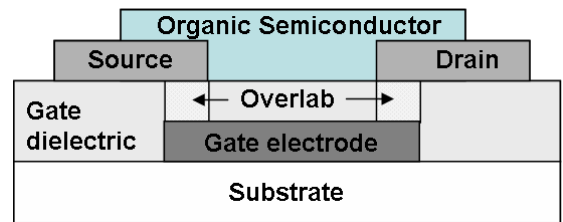
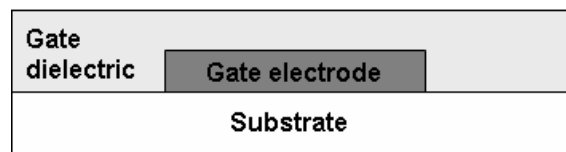
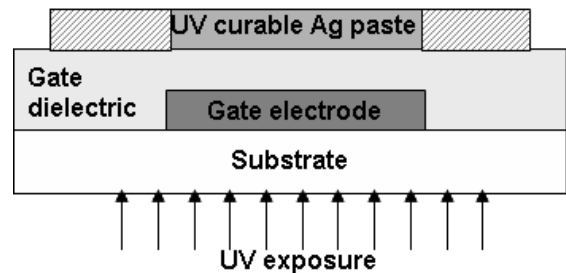


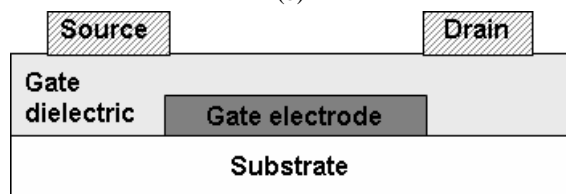
Fig. 1 The device structure of conventional OTFT.



(a)



(b)



(c)

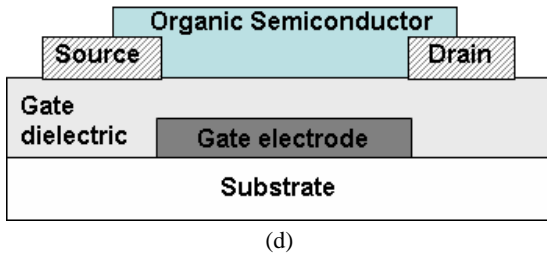


Fig. 2 The fabrication process of self-aligned OTFT; Process of (a) gate electrode and gate dielectric (b) Screen printing and UV exposure (c) Source and drain electrode (d) organic semiconductor.

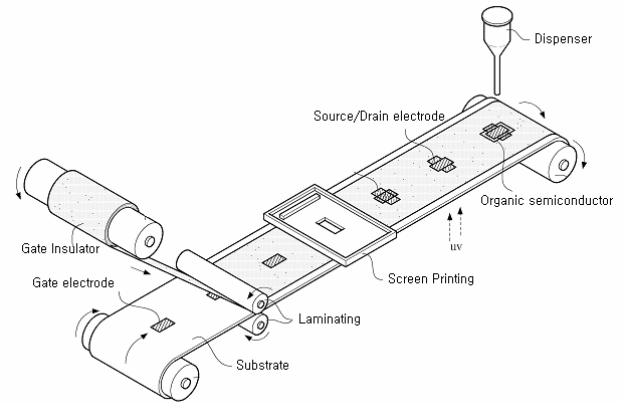


Fig. 4 Concept of roll-to-roll printed OTFT.

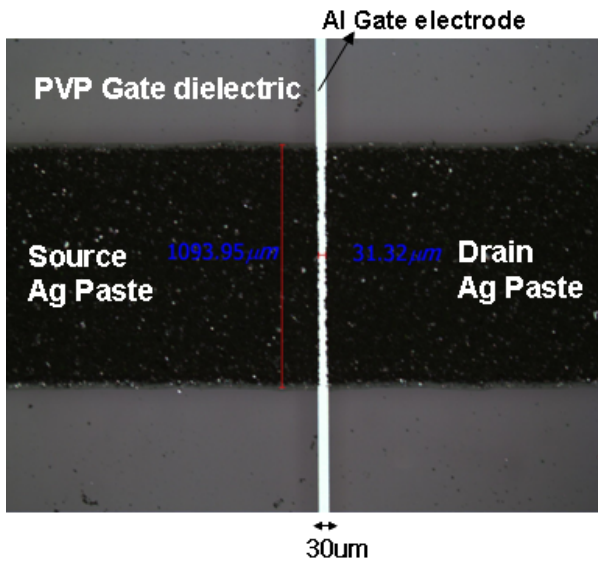


Fig. 3 Top- view of printed and self-aligned OTFT.

3. 롤투롤 프린팅 시스템

본 연구의 자기정렬 유기박막트랜지스터 제조공정은 롤투롤 공정을 이용할 수도 있다. Figure 4은 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 패턴을 이용하여 도전막을 패터닝 방식 대신 프린팅 공정으로 직접 패터닝하는 것이 가능하므로 그 공정이 매우 간단해진다. 또한 롤투롤 공정을 이용하여 유기박막트랜지스터를 제조할 수 있으므로, 전체 제조공정을 단순화시킬 수 있다.

감사의 글

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

참고문헌

1. S. R. Forest, Nature **42**, 911(2004).
2. F. Eder, H. Klauk, M. Halik, U. Zschieschang, G. Schmid, and C. Dehm, Appl. Phys. Lett. **4**, 2673 (2004).
3. P. F. Baude, D. A. Ender, M. A. Haase, T. W. Kelley, D. V. Muyres, and S. D. Theies, Appl. Phys. Lett. **2**, 3964 (2003).
4. C. W. Sele, T. V. Werne, R. H. Friend, and H. Sirringhaus, Adv. Mater. **17**, 997 (2005).
5. W. H. Lee, D. H. Kim, Y. Jang, J. H. Cho, M. Hwang, Y. D. Park, Y. H. Kim, J. I. Han, and K. Cho, Appl. Phys. Lett. **132**, 106 (2007).