

# 인쇄전자소자 : 고해상도 인쇄공정기술의 현황 및 전망

윤성철 · 임종선 · 이창진

## 1. 인쇄소자의 현황 및 중요성

휴대전화, 디지털 카메라, DVD, PDP, LCD, DMB 등 디지털 가전 제품 시장이 크게 성장함에 따라, 반도체 및 기타 정밀 전자부품의 제조공정 및 장치에 대한 요구도 크게 변화하고 있다. IC, 전자부품, LCD, PDP, OLED, FED, SED 등 디스플레이 시장 이외에 도너-억셉터 형태의 유기태양전지, 산화티탄, 산화아연 등의 염료감응 태양전지 및 연료전지 등의 에너지 분야에 있어서도 신제품의 실용화가 가까워짐에 따라 생산공정의 단순화와 공정비용을 줄이기 위한 연구가 진행되고 있다.

CVD, 스퍼터, 진공증착, 도금, 스프레이, 인쇄 등 여러 종류의 반도체 제조장치들은 박막형성재료들을 증기화하여 기판에 성막하여 노광 및 현상공정을 통해 패터닝을 하거나, 금속 마스크를 이용해 성막과 동시에 패터닝할 수 있어 다양한 종류의 장비들이 사용되고 있지만 기본 원리는 대부분 동일하다. 이런 장비들의 경우, 작은 기판에 박막을 형성하기 위해 많은 재료들을 손실하거나 노광/현상 등의 공정을 반복적으로 수행함으로써 제조원가 측면에서 불리한 단점을 가지고 있고, 이러한 단점들을 개선하기 위해 인쇄기법을 통한 패터닝 기술이 시도되고 있다.

인쇄전자소자기술은 기존의 전자제품을 생산하는 방식과는 달리 신문이나 잡지, 포스터 등의 인쇄물을 제작하는데 사용해 온 인쇄 기술을 전자부품의 제조에 적용하는 기술이다. 즉, 인쇄 소자(printed electronics)란 인쇄공정을 통해 제조된 전자 소자를 통칭하는 용어로 이해하면 된다. 인쇄 소자의 가장 큰 잠재 시장은 토판 포럼에서 보고된 바와 같이, “스마트 미디어 제품(smart media product, SMP)

이라고 하는 지능성을 가지고 있으며, 대량 생산이 가능한 제품으로 맞춤형 생산이 가능하다는 특징을 가진다. 이러한 기술을 통해 새로운 개념의 용도로서의 시장 개척이 충분히 가능할 것으로 기대한다.

이와 같이 인쇄 소자는 기존의 디스플레이 및 정밀 전자부품의 형태보다는 필름, 테이프, 포스터, 벽지 및 포장재 등의 형태를 갖는데, 컴퓨터, 이동통신 및 반도체 등을 생산하는 전통적인 전자회사가 아닌 테이프, 패치 및 패키징 등에 전문성을 가진 3M이나 도판 프린팅 등과 같은 회사들이 인쇄소자 생산을 주도할 가능성도 있어 보인다.

## 2. 인쇄소자용 인쇄공정의 종류 및 특성

### 2.1 잉크젯 인쇄법(Inkjet Printing)

잉크젯 프린팅법은 헤드로부터 미세한 잉크방울(직경 30  $\mu\text{m}$  이하)을 토출시켜 원하는 위치에 패터닝하는 공정기술이다. 이 기술은 비접촉식 방식으로 작은 체적에 복잡한 형상을 구현할 수 있는 적



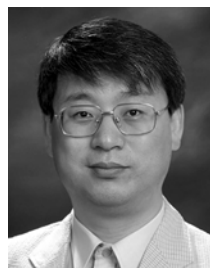
임종선

1991 서강대학교 물리학과(이학사)  
1995 서강대학교 물리학과(이학석사)  
2001 서강대학교 물리학과(이학박사)  
2001~2002 이화여자대학교 물리학과(Post-Doc.)  
2001 네오뷰코오롱 과장  
2002~2005 삼성전자LCD총괄 LCD연구소 책임연구원  
2005~현재 한국화학연구원 화학소재연구단 소자나노재료 연구센터 선임연구원



윤성철

1992 한양대학교 공업화학(공학사)  
1994 서울대학교 화학(이학석사)  
1997 서울대학교 화학(이학박사)  
1997~2001 삼성종합화학 연구소 선임연구원  
2001~2004 LG전자기술원 OLED그룹 책임연구원  
2004~현재 한국화학연구원 화학소재연구단 선임연구원



이창진

1981 서울대학교 화학(이학사)  
1983 서울대학교 화학(이학석사)  
1983~1989 University of Minnesota 화학(이학박사)  
1989~1991 University of Texas at Austin (Post-Doc.)  
1991~현재 한국화학연구원 화학소재연구단 책임연구원

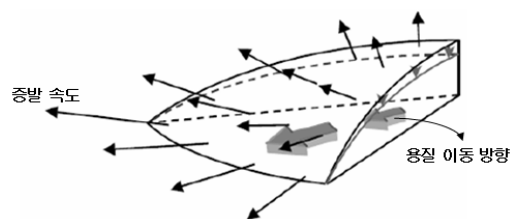
### Printed Electronics : High Resolution Printing Technology

한국화학연구원 화학소재연구단 소자나노재료 연구센터 (Sung Cheol Yoon, Jongsun Lim, and Chang Jin Lee, Korea Research Institute of Chemical Technology (KRICT), Advanced Materials Division, Device Materials Research Center, P.O.Box 107, Yuseong, Daejeon 305-600, Korea) e-mail: yoonsch@kRICT.re.kr

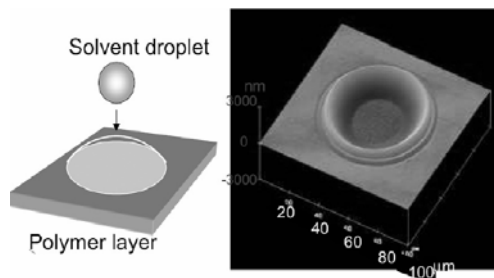
합한 공정기술로 알려져 있다. 이 기술은 종이로의 인쇄기술로써 기본적인 기술이 개발되어 현재는 고해상도로의 인쇄가 가능할 정도로 눈부시게 발전해 왔다. 이 기술의 응용분야는 오피스·홈에서의 컴퓨터로부터 산업인쇄, 공업인쇄, 디스플레이나 전자회로 분야 및 DNA 칩 등 바이오 분야로 크게 확대되고 있다. 잉크젯 프린팅법의 장점은 공정이 간단하고 설비 비용·제조 비용을 낮출 수 있고 재료를 원하는 패턴 위치에 퇴적시켜서 원칙적으로 재료의 손실이 없어서 원료의 낭비가 없고, 환경적인 부하가 적다. 또한 포토 리소그래픽과 같이 현상·에칭 등의 공정이 필요 없기 때문에 화학적 영향으로 기판이나 재료의 특성이 열화되는 경우가 없을 뿐만 아니라 비접촉식 인쇄 방식이어서 접촉에 의한 디바이스 손상이 없으며 오철이 있는 기판으로의 패턴도 가능하다. 만약 on demand 방식으로 인쇄할 경우, 패턴 형상을 컴퓨터로 직접 편집하고 변경할 수 있다. 그에 반해 잉크젯 프린팅법은 패턴을 순서대로 형성하기 때문에 인쇄 속도가 느리다. 이에 고속 인쇄를 위해 다노즐화, 노즐 고밀도화, 구동주파수의 고주파화 등을 개발하고 있다.

잉크젯 방식은 연속적으로 액적을 토출시키는 continuous 방식과 선택적으로 액적을 토출시키는 on demand 방식의 두 가지 방식으로 나뉜다. Continuous 방식은 일반적으로 장치가 대형이고 인쇄 품질이 낮아 컬러화에 적절하지 않기 때문에, 주로 저해상도의 마킹에 사용되고 있다. 고해상도의 패턴링 목적으로는 on demand 방식이 대상이 된다. On demand 방식 잉크젯 인쇄로는 현재 piezo 방식과 버블젯 방식(thermal 방식)이 많이 이용되고 있다. Piezo 방식은 잉크실을 압전소자(전압을 인가하면 변형하는 소자)로 바뀌 체적을 변화시켜, 잉크실안의 잉크에 압력을 주면 노즐을 통해 토출되는 것이고, 버블젯 방식은 잉크에 열을 가해 순간적으로 기포를 발생시켜, 그 압력으로 잉크가 토출되는 것이다. 버블 방식은 소형화·고밀도화하기 쉽고 헤드의 비용도 저렴하기 때문에 오피스용으로 가장 적합한 방식이다. 다만 열이 가해지기 때문에 헤드의 내구수명이 짧고, 용매의 비등점의 영향이나 잉크 재료로의 열데미지를 피할 수 없기 때문에 사용할 수 있는 잉크가 한정된다는 문제점이 있다. 이에 비해 piezo 방식은 고밀도화와 헤드비용의 측면에서는 버블방식보다 떨어지지 않지만, 잉크에 열을 가하지 않기 때문에 헤드의 수명·잉크의 플렉서블리티의 측면에서는 뛰어나 오피스용 이외의 상업 인쇄나 공업 인쇄, 디바이스 제작에는 더 적합한 방식이라고 할 수 있다.

잉크젯 프린팅 공정은 노즐을 통해 토출된 미세한 액적이 공중을 날아 종이나 기판 표면에 부착되고, 용매가 건조되어 고형성분이 고착되는 것에 의해 패턴이 형성된다. 액적의 크기는 수~수십  $\mu\text{m}$ , 직경은 10  $\mu\text{m}$  내외이다. 액적은 기판 면에 충돌해 부착되어 패턴을 형성하는데, 패턴의 해상도를 결정하는 주요 인자는 액적의 크기와 습윤성이다. 기판에 떨어진 액적은 기판 위에서 2차원적으로 퍼져 최종적으로 액적보다 큰 사이즈의 도트가 되는데, 액적이 퍼지는 것은 기판에 충돌할 때의 운동에너지와 액체의 습윤성에 의존한다. 액적이 너무 미세한 경우에는 운동에너지의 영향은 매우 작아져, 습윤성이 지배적이게 된다. 액적의 습윤성이 낮고 습윤각이 클수록 액적의 확대가 억제되어, 미세한 도트를 인쇄할 수 있다. 그러나 습윤각이 너무 크면 액적은 튕겨져 뭉쳐지게 되어, 목적의 패턴을 형성할 수 없다. 따라서 고해상도의 화상을 얻기 위해서는 적당한 습윤각을 얻을 수 있도록 용매의 선택이나 기판 표면상태의 제어가 필요하다. 습윤각은 대략 30~70도 정도가 적당하다. 기판에 부착된 액



(a) 용매 증발에 의한 용질의 흐름 매카니즘



(b) coffee stain 효과

그림 1. 액적의 건조 모식도.

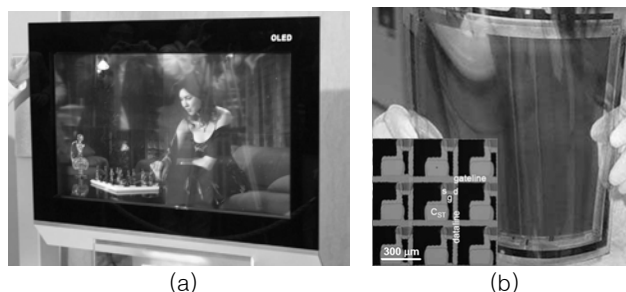


그림 2. (a) 세이코-엡손의 40" AMLED (b) PARC의 OTFT 백플레인.

적은 용매가 증발해서 패턴이 고정되는데, 이 단계에서 액적의 크기가 미세하여 건조 속도가 빠르다. 또한 그림 1과 같이 액적의 끝부분으로 갈수록 용매의 증기압이 커져서 고형분이 밖으로 흐르게 되어 건조가 끝난 후, 밖의 부분의 두께가 가운데 부분보다 두꺼운 coffee stain 효과가 일어난다.<sup>1)</sup> 이에 따라 잉크젯 프린팅된 후 박막 평탄도의 문제를 해결하기 위해 인쇄될 부분에 격벽을 형성하고 기판과 격벽에 표면에너지 조절하는 연구가 진행되고 있다.

현재 잉크젯 인쇄기법은 사프를 비롯한 삼성전자, LG 필립스-LCD 등 LCD 업체에서 LCD 컬러필터에 적용하여 양산하고 있거나 준비 중이며 Plastic Logic사는 전자종이 및 RFID tag 양산을 2008년부터 할 예정이고 엡손 및 듀폰사 등은 고분자 LED(PLED) 디스플레이에 적용하고 있다. 또한 Palo Alto Research Center (PARC) 등 많은 연구 그룹에서 유기 박막 트랜지스터를 잉크젯 프린팅법으로 구현하고자 활발한 연구를 진행 중이다(그림 2).

## 2.2 스크린 인쇄법(Screen Printing)

스크린 인쇄법은 강한 장력으로 당겨진 스크린 위에 잉크 페이스트를 올려 스queegee(주걱모양으로 보통 우레탄 고무재질)를 내리 누르면서 이동시켜, 페이스트를 스크린의 mesh를 통해 피 인쇄물 표면으로 밀어내 전사하는 공정으로 그림 3에서 보는 바와 같다. 잉크젯 프린팅과 마찬가지로 재료의 손실이 적은 additive 공정으로서 PDP나 OLED 등의 디스플레이의 제조를 위한 연구가 진

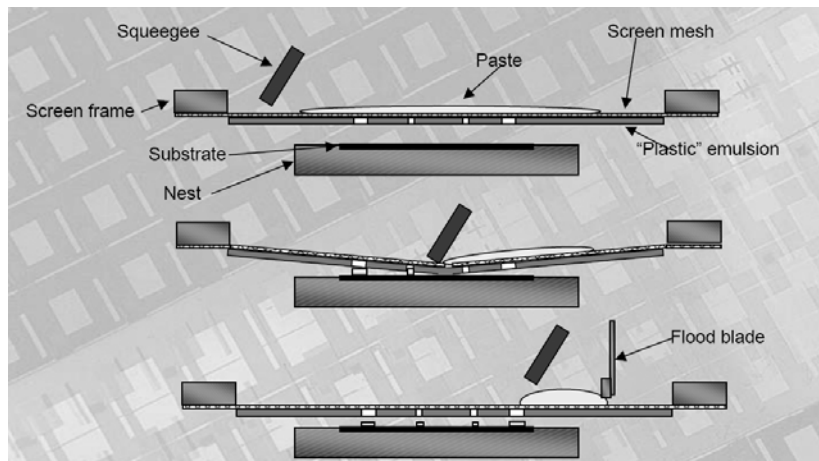


그림 3. 스크린 인쇄의 개념도.

행된 바 있다. 스크린은 원래 비단 등의 천이 이용되었으나 미세한 패터닝을 위해 mesh의 재질이 스테인레스 금속으로 변화하였으며, 사용되는 페이스트는 적당한 점도가 필요하므로 금속 분말이나 반도체 등의 기본 재료에 수지나 용제 등이 분산하여 사용한다. 스크린 인쇄는 스크린과 기판 사이에 수 mm의 간격을 유지하다가 스queegee가 통과하는 순간에 스크린이 기판과 접촉하여 페이스트를 전사하는 방식으로 접촉형 인쇄방식이긴 하지만, 접촉을 통한 기판의 영향은 거의 없다고 보면 된다.

스크린 인쇄는 롤링, 토출, 판 분리, 레벨링 등 4가지 기본 과정을 거쳐 진행된다. 롤링이란, 스크린 위에서 페이스트가 이동하는 스queegee에 의해 앞으로 회전하게 되는 것으로 페이스트의 점도를 일정하게 안정화시키는 역할을 하여 균일한 박막을 얻는데 중요한 과정이다. 토출과정은 페이스트가 스queegee에 밀려 스크린 메시 사이를 통과해 기판 표면으로 밀려나오는 과정으로 토출의 힘은 스queegee의 스크린과의 각도와 이동속도에 의존하여 스queegee 각도가 작고 속도가 늦을 수록 토출력은 커지게 된다. 판 분리과정은 페이스트가 기판 표면에 도달 한 후 스크린이 기판에서 떨어지는 단계로서, 해상력과 연속 인쇄성을 결정하는 매우 중요한 과정이다. 스크린을 통과해 기판에 이른 페이스트는 스크린과 기판에 끼워진 상태에서는 확산되어 번지기 때문에 즉시 스크린에서 떨어지는 것이 바람직하다. 그러기 위해서는 스크린이 높은 장력으로 당겨져야 할 필요가 있다. 기판 위에 토출되어 판 분리된 페이스트는 유동성이 있어 패턴이 변화할 가능성이 있어 메시의 자국이나 핀홀 등이 생기게 되는데, 시간이 경과하면서 용매의 증발 등에 의해 점도가 증가하면서 유동성을 잃게 되어 최종적으로 패턴을 완성하게 된다. 이러한 과정을 레벨링이라고 한다.

동일한 스크린 인쇄장치를 이용할 경우, 인쇄 조건은 다음의 4 가지에 의해 좌우된다. ① 안정적으로 판 분리하기 위한 클리어런스, ② 페이스트를 토출시키기 위한 스queegee의 각도, ③ 페이스트 토출과 판 분리 속도에 영향을 주는 스queegee 속도, ④ 스크린 위의 페이스트를 긁어내는 스queegee 압력 등이 그것이다. 한편, 장치의 인쇄변수가 어느 정도 고정된 경우 인쇄 화상에 큰 영향을 주는 것은 페이스트와 스크린인데, 경우에 따라 적절한 조절이 필요하다. 인쇄되는 막의 두께는 스크린의 메시 두께와 개구율의 곱인 토출량으로 결정되며, 화상의 정밀도는 메시의 세밀함에 의존한다. 판 분리를 빨리 하

기 위해 스크린은 강한 장력으로 당겨질 필요가 있지만, 얇은 메시 스크린을 이용하여 미세한 패터닝을 할 경우, 메시 스크린이 견딜 수 있는 치수 안정성의 한계를 넘어갈 수 있지만, 대략 16  $\mu\text{m}$ 의 와이어를 사용한 스크린을 이용하면 20  $\mu\text{m}$ 의 최소 선폭의 패터닝도 가능하다.

### 2.3 그라비아(Gravure) 및 그라비아-오프셋(Gravure-Offset) 인쇄법

그라비아 인쇄는 오프셋 인쇄의 일종으로서, 요철을 형성한 원통형 판에 잉크를 묻혀 불룩한 부분에 묻은 잉크를 긁어낸 후, 오프셋 부분에 들어간 잉크를 피인쇄물에 전사하는 방법이다.<sup>2</sup> 전통적인 방법으로는 원통의 몸통 표면에 감광성을 준 후, 그라비아용 스크린과 투명 포토티브를 겹쳐 새기고 염화 제2철 용액으로 에칭하여 판을 만든다. 판의 표면은 스크린 선에 의해 나누어진 미세한 망점으로 이루어져, 에칭용액의 농도에 비례하여 깊게 에칭되기 때문에 미세한 패턴의 제조현이 가능하여 잡지나 카달로그 사진 등의 인쇄에 널리 사용되고 있다. 인쇄 농도는 미세 가공의 깊이와 밀도에 의해 결정되므로 도포 두께의 제어가 용이하고 소자 제조시에도 유용한 방법이다. 이 인쇄법과 오프셋 인쇄법을 결합한 그라비아 오프셋 인쇄법은 최근에 LCD 컬러필터 등 디스플레이 및 전자회로에 응용되고 있다. 그라비아 오프셋 인쇄법은 잉크를 인쇄판에서 고무블랑켓에 전사하고 그 블랑켓의 잉크를 다시 기판에 전사하여 인쇄하는 오프셋 인쇄법과 이 인쇄법의 인쇄판을 그라비아 인쇄법에서 쓰이는 인쇄판으로 대체하는 인쇄법이다. Dainippon 인쇄나 Topan 인쇄 등의 일본업체들은 그라비아 인쇄를 스크린 인쇄법과 함께 플렉서블 유기전자소자의 중요한 제작 공정으로 검토하고 있으며, 특히 인쇄 회로의 형성에 유력할 것으로 기대하고 있다. 그림 4는 그라비아 인쇄를 통한 필름 기판으로의 패턴 형성과정을 보여주고 있다.

### 2.4 플렉소 인쇄법(Flexography)

유연성을 가진 패터닝된 수지판을 이용하는 인쇄법으로 상기의 그림 5에서 보는 바와 같이, 도포된 잉크를 균일한 grating을 갖는 아니록스롤(Anilox roller) 위에 도포하고, 닥터블레이드를 이용해 표면에 균일하게 펼친 다음 인쇄물의 유연성 수지판 위에 양각된 패턴으로 전사된 후, 기판표면에 프린팅 된다. 이러한 방법은 기판위에 인쇄되는 잉크의 두께를 아니록스롤의 기공크기와 밀도에 의해 조절할 수 있어 균일한 박막의 형성이 가능한 장점이 있다. 또한, 패터닝된 형상을 바꾸면 도포되는 위치나 범위를 정밀하게 조

절할 수 있어 플렉서블 기판을 이용한 인쇄에도 적용이 가능한 장점이 있다. 이 인쇄법은 LCD의 배향막을 도포하는 수단으로 이용되는데, 플렉소 인쇄를 통해 균일한 두께의 폴리이미드 배향막을 형성

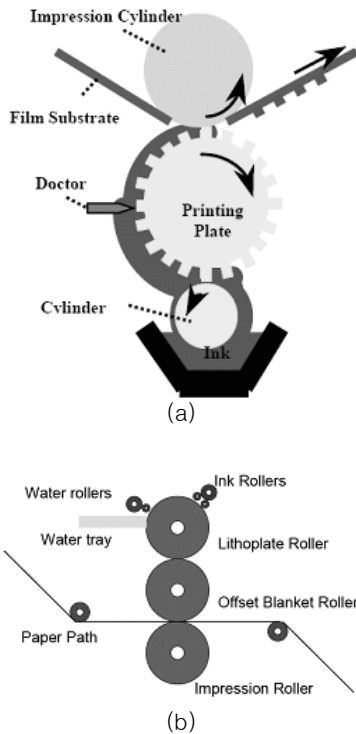


그림 4. (a) 그라비아 인쇄 및 (b) 오프셋 인쇄법의 개념도.

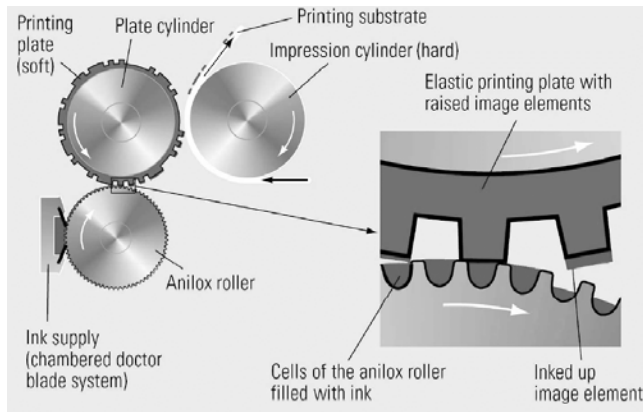


그림 5. 플렉소 인쇄공정 개략도.

표 1. 인쇄기법에 따른 특성 및 장/단점

|                         | Inkjet   | Screen     | Gravure | Flexo  | Offset         |
|-------------------------|----------|------------|---------|--------|----------------|
| 해상도 (μm)                | 20~50    | 30         | 75      | 75     | 10~50          |
| 잉크두께 (μm)               | 약 0.1    | 100        | 2~5     | 3~8    | <2.5           |
| 잉크점도 (mPa.s)            | <20      | 500~50,000 | 50~200  | 50~500 | 20,000~100,000 |
| 생산성 (m <sup>2</sup> /s) | 0.01     | <10        | 60      | 10     | 20             |
| 고분자잉크 가능여부              | 가능       | 가능         | 가능      | 가능     | 별도의 첨가제필요      |
| 대면적화                    | 상대적으로 불리 | 가능         | 가능      | 가능     | 가능             |
| 잉크재료의 다양화               | 유리       | -          | 유리      | -      | -              |

\* Source : IDTechEx.

하고 rubbing하는 방법을 이용하고 있다. 또한, 기판의 크기가 대형화됨으로 인해, 제 6세대(1500×1800) 이후의 기판에서는 인쇄물이 이동하는 형태로 변경되어 이용되고 있다고 한다.

한편, NHK 방송기술연구소에서는 배향막 뿐만 아니라 액정층의 도포에도 플렉소 인쇄법을 이용하는 연구를 진행하고 있다.<sup>3</sup> 응답속도가 우수한 강유전성 액정에 미세 섬유상태의 폴리머를 복합화하여 액정층의 두께 변동을 억제한 새로운 소자 구조를 채용하고 있다. 즉, 자외선으로 경화한 모노머와 강유전성 액정의 혼합액에 스페이서 입자(지름 약 2 μm)를 분산시킨 것을 투명전극과 rubbing 처리한 배향막이 형성된 플라스틱 기판 위에 플렉소 인쇄를 이용해 도포하고, 한 쪽 기판을 붙인 후 자외선을 조사해 중합함으로써 액정안에 폴리머의 섬유구조를 형성하고 있다. 액정층 두께의 균일성이 요구되는 LCD에 있어서, 플렉서블 기판 상의 균일한 대면적 박막 도포의 방법으로는 플렉소 인쇄법이 가장 적합한 방법으로 알려지고 있다.

마지막으로 전술한 인쇄소자용 공정들을 간략하게 정리하면 표 1에서 보는 바와 같다. 이 표에 의하면, 각 공정별로 유사한 해상도의 패터닝이 가능하지만, 잉크젯 프린팅의 경우 가장 얇은 박막의 형성이 가능하며, 스크린 프린팅이 가장 두꺼운 막을 형성하는데 유리하다. 또한, 각 공정별로 잉크의 점도와 생산성, 고분자 잉크의 사용 가능여부, 대면적화 및 잉크재료의 다양화 등의 측면에서 비교가 가능하다.

### 3. 인쇄소자의 응용분야

인쇄소자는 크게 금속 나노입자를 이용하여 배선이나 전극 등을 인쇄하는 경우와 공액계 유기소재를 이용하여 OLED, OTFT, 유기메모리, 유기태양전지 등의 유기전자소자를 구현하는 두 가지로 나눌 수 있다. 2007년 초, Nikkei Electronics에는 인쇄소자기술의 발전 전망에 관한 글이 소개되었는데, 그림 6에서 보는 바와 같다.<sup>4</sup> 여기서 보는 바와 같이, 금속 배선의 패터닝과 RFID의 안테나 배선 등은 일부 상업화가 진행중이며, LCD 배향막, 컬러필터 및 백라이트 마이크로 렌즈 등의 분야에 적용이 시도되고 있다.

또한, A. C. Huebler는<sup>5</sup> 2006년 Printed Electronics Europe에서 인쇄소자의 응용분야를 그림 7과 같이 정리하여 발표하였다. 디스플레이와 조명, RFID와 로직메모리, 센서 및 태양전지 등 4가지 큰 분야로 구분하고 있다.

#### 3.1 회로배선

일반적으로 반도체에서는 전극을 형성할때, 동 등의 금속을 증착

한 후 에칭하여 회로를 구성한다. 특히, PCB에서 이러한 구리 에칭은 환경적으로 많은 오염물질을 생성하여 폐기물처리에 어려움이 있다. 이러한 이유로 인쇄공정을 이용한 회로배선의 구성은 많은 각광을 받고 있는데, 나노 실버잉크는 상업적으로 시판되고 있으며, 소결 온도도 급격히 감소하고 있어 130 °C 내외의 온도에서도  $10^5$  S/cm 이상의 비전도도를 보여주어 벌크 금의 전도도인  $4.5 \times 10^5$  S/cm

와 유사한 값을 보여준다. 본 연구팀에서도 잉크젯 프린팅을 통해 **그림 8**과 같이 다양한 선폭을 갖는 금 배선을 인쇄해 보았는데, 20  $\mu$ m이하의 선폭을 인쇄하는 것은 문제가 있음을 알게 되었지만, 그 이상의 선폭에서는  $10^5$  S/cm이상의 높은 전도도를 보여주었다.

### 3.2 LCD용 배향막

인쇄소자분야에서 가장 앞선 기술을 보유하고 있는 세이코 엡슨

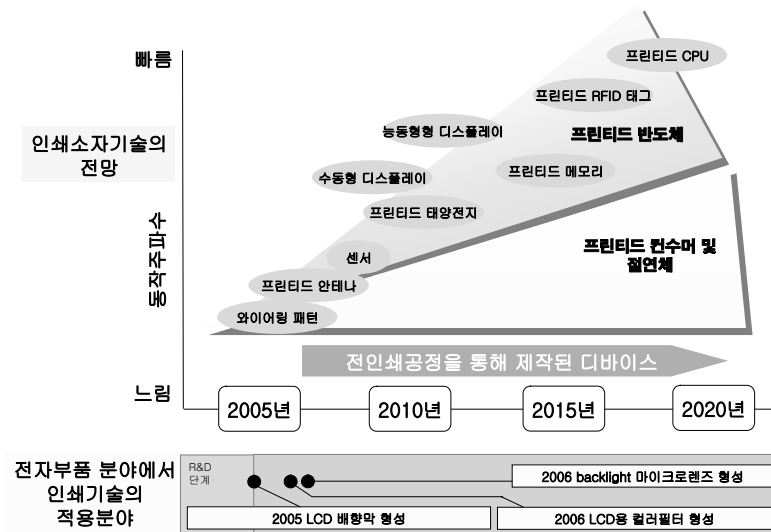


그림 6. 인쇄전자기술의 전망(Nikkei Electronics, 2007).

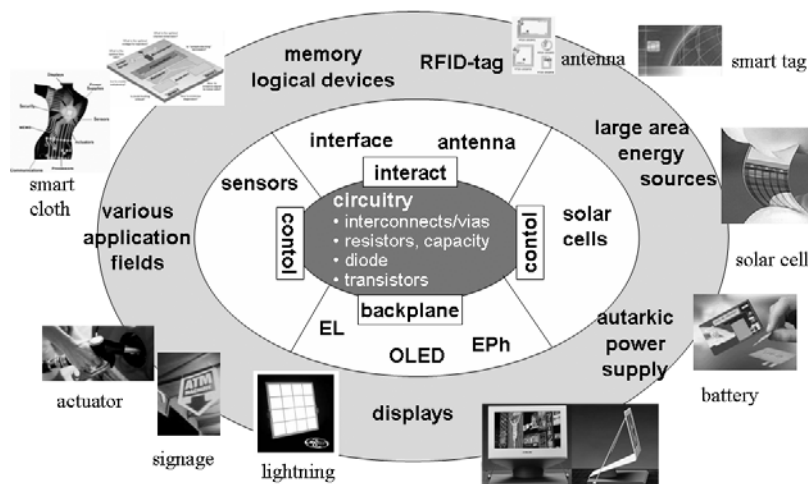


그림 7. 인쇄소자의 응용 분야(A. C. Huebler, Printed Electronics Europe 06, Cambridge, 2006).

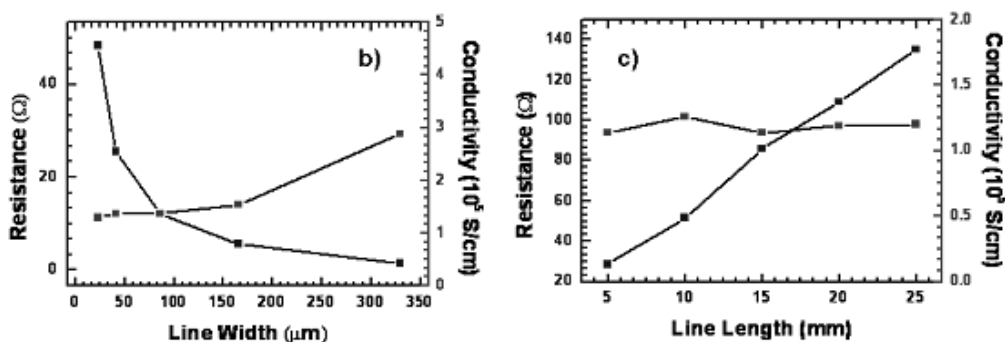
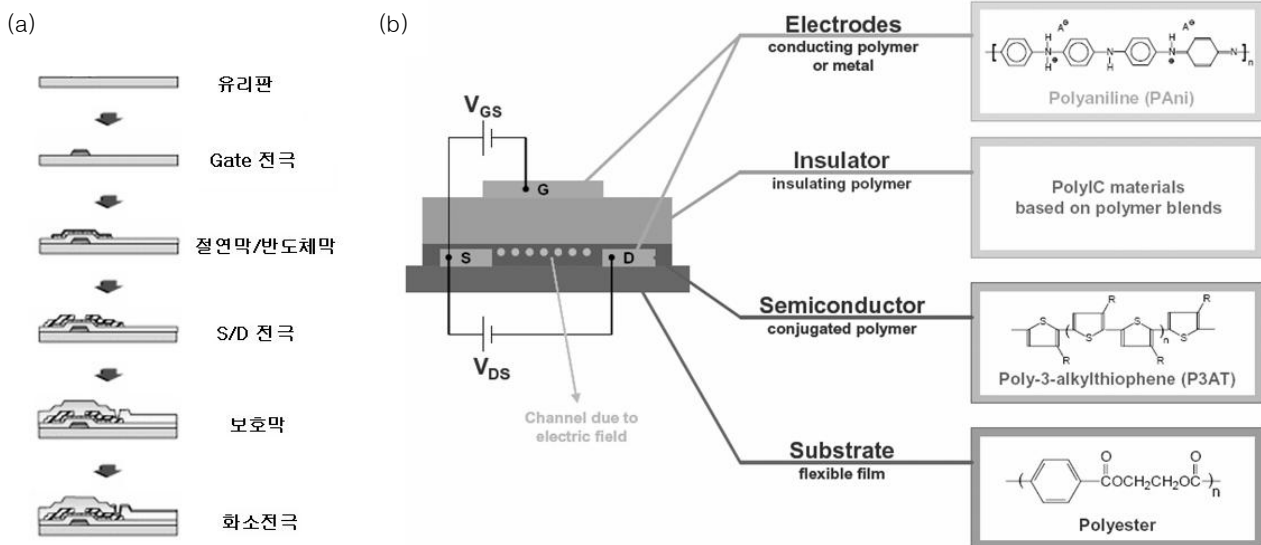


그림 8. (a) 잉크젯을 이용하여 선폭 및 길이를 달리하여 프린팅한 금 전선, (b) 선폭에 따른 저항의 변화, (c) 길이에 따른 저항의 변화.



**그림 9.** (a) 일반적인 TFT-LCD 공정에서 TFT 형성 공정과 (b) PolyIC에서 제안한 유기 트랜지스터 구조와 재료(W. Mildner, *Printed Electronics Europe* 06, Cambridge, 2006).

은 2005년 중반 LCD 배향막의 양산을 개시하였으며,<sup>6</sup> 이 기술은 기존의 방법에 비해 박막의 균일성을 5%대에서 2%대로 향상시킬 수 있었으며, 막 형성 시 결함을 최소화하였고 제조공정의 간소화로 공간을 절약할 수 있다는 장점이 있어 국내 LCD 패널업체에서도 활발한 연구가 진행되고 있는 것으로 알려져 있다.

### 3.3 LCD용 컬러필터

컬러필터의 경우, LCD의 비약적인 성장에 따라 향후 20% 이상의 추가 성장이 기대되는 부품으로 그 자체만으로도 이미 대형 시장을 형성하고 있다. 2003년 현재 세계시장규모는 약 18억 US\$로 추산되며, 국내 컬러필터 수요도 연간 약 7억 US\$의 규모에 이른다. 컬러필터는 현재, 잉크젯 프린팅, 롤 프린팅, 스크린 인쇄 등에 대한 연구가 활발히 진행 중인데, 생산 고정의 간소화와 고가의 컬러필터 재료를 절약하는 면에서 상업적으로 그 가치가 매우 크다고 하겠다. 또한, 대형 패널의 경우 스펀코팅이 불가능하므로 궁극적으로는 인쇄법을 이용해야만 할 것으로 보인다. 이러한 인쇄공정에 의한 배향막이나 컬러필터 등을 제조합으로써 인쇄공정에 의한 공정 상의 문제점들이 도출되고 타 소자의 인쇄공정의 개발에 좋은 참고가 될 것으로 사료된다.

### 3.4 OLED

인쇄소자에 있어서 디스플레이 분야는 매우 중요한 분야이나 CDT를 제외하고는 진공증착에 의한 OLED와의 경쟁보다는 표시소자나 조명 등으로 연구의 방향을 수정하고 있다. 이러한 주된 이유는 고분자 발광소자를 이용한 PLED의 수명이 상대적으로 짧는데 주 원인이 있다. 때문에, 저분자 재료를 이용한 용액공정을 통해 인쇄공정으로의 적용을 시도하고 있으나,<sup>7</sup> 아직까지 저분자 OLED만큼의 우수한 소자는 개발되지 못하고 있는 실정이다. 하지만, 궁극적으로 용해도가 우수한 저분자 소재를 이용한 인쇄공정을 통해 보다 우수한 품질의 소자의 제작이 가능할 것으로 기대한다.

### 3.5 OTFT

인쇄 기법을 이용하여 제작하는 유기 트랜지스터의 제작이 기존 실리콘 공정을 이용한 경우와 비교해 유리한 점은 다음 **그림 9**에 명확

하게 나타나 보인다. 즉, 5단계 이상의 리소그래피와 증착공정을 거쳐야 TFT의 제작이 가능한데, 인쇄공정을 이용할 경우, 전극, 절연체 및 반도체를 한 번씩의 인쇄공정으로 형성할 수 있으므로 공정 및 장비공간 등의 측면에서 매우 유리하다. 특히, PolyIC에서 제안한 바와 같이 PET 등의 플렉서블 기판을 이용할 경우, 완전한 플렉서블 소자의 구현이 가능할 것으로 보인다.<sup>8</sup>

### 3.6 RFID

인쇄소자의 가장 큰 시장으로 예측되는 RFID는 전술한 OTFT 기술을 사용한다. 이와 함께 안테나 역시 금속배선으로 인쇄공정이 가능하다. 따라서, 제조원가를 낮추어 RFID의 시장 요구에 가장 적절히 대응할 수 있는 기술로 인정받고 있다. 일반적으로 RFID 태그의 주된 기능블록과 안테나 부분 모식화한 **그림 10**과 같다.<sup>9</sup> 안테나 코일은 RFID reader로부터 보내온 RF를 흡수하여 태그에 전달하고, 흡수된 RF 에너지는 RF interface에 있는 정류장치를 통해 직류전원으로 바뀌어져서 회로에 공급된다. 이때 리더기로부터 보내주는 주파수와 맞추어서 작동하게 된다. RF interface는 정류기로부터 보내주는 에너지를 저장하는 커패시터가 있으며 나머지 회로에 전원을 공급한다.

### 3.7 유기태양전지

롤투롤 방식으로 제조되는 유기태양전지는 실리콘 태양전지를 대체할 수 있는 충분한 역량을 가지고 있다. New South Wales 대학교의 Martin Green교수는 실리콘 웨이퍼를 기반으로 하는 태양전지를 1세대, 박막기술을 이용하는 태양전지를 2세대, 마지막으로 hot 캐리어, 다중 전자-전공 pair의 형성 등의 고효율 박막기술을 이용하는 제 3세대 태양전지로 분류하고 있다. 이들 중에서 높지 않은 효율을 갖지만 제조원가가 낮아 에너지 생산원가 측면에서 유기태양전지의 장점이 있음을 알 수 있다. 하지만, 5% 내외의 최고 효율이 보고되고 있는 유기태양전지를 상업화하기 위해서는 인쇄공정을 통한 제조원가 절감이 필수적이다. 본 연구팀에서는 P3HT와 PCBM의 복합체를 잉크젯을 통해 프린팅하여 5개의 셀을 직렬로 연결하는 구조의 소자를 제작하였다. 스펀코팅을 통한 단위소자는 약 5%

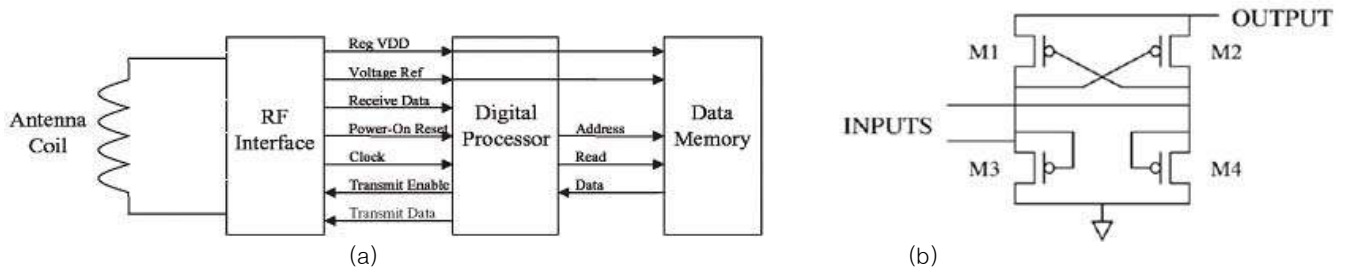


그림 10. (a) Block diagram of RFID tag, (b) circuit diagram of a full-wave rectifier circuit based on p-channel organic transistors.

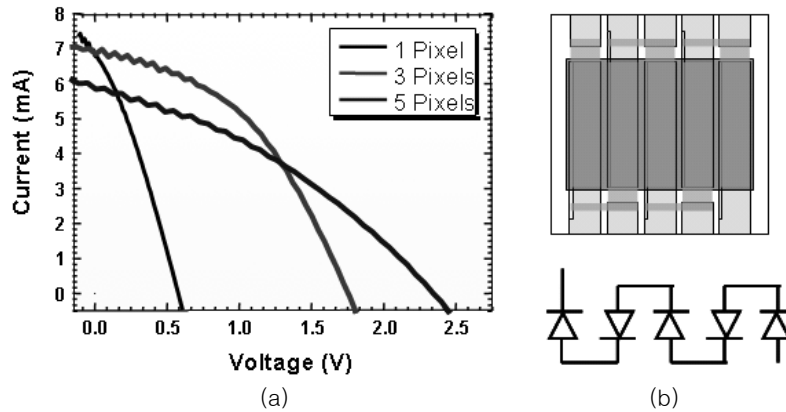


그림 11. (a) 다섯 개의 셀을 연결하면서 측정한 J-V 특성, (b) 직렬 연결한 회로 그림과 모식도.

의 효율을 보여주지만, 이렇게 잉크젯 프린팅을 한 대형 소자의 경우 약 0.5~1%의 에너지 변환효율을 보여주어 인쇄공정상의 개선이 많이 요구됨을 알 수 있었다. 다섯 개의 셀을 모두 직렬로 연결하면 2.4 V의 전압이 생성되며 효율 역시 0.5% 정도로 감소하였다 (그림 11). 본 연구 결과는 직렬로 연결하여 전압을 상승시킨 유기 박막 전지의 작동 실험으로서 효율은 비록 높지 않지만 대면적셀 (35 cm<sup>2</sup>)을 잉크젯으로 인쇄하여 얻은 결과로 유기 태양 전지의 가능성을 보인 우수한 결과로 생각된다.

#### 4. 인쇄소자의 시장전망

시장 조사기관인 IDTechEx사에서는 2010년 5조원에서 2015년 약 30조원의 시장으로 그 규모가 급성장할 것으로 예측하고 있고, 유기전자소자의 대부분이 인쇄공정을 통한 인쇄소자화 될 것으로 가정하면 그림 12의 시장규모의 대부분이 인쇄소자 시장으로 보아도 무방할 것으로 보인다. 그림 12에서 보는 바와 같이, 2015년 Logic/memory와 OLED 디스플레이와 OLED 조명분야의 시장규모가 가장 클 것으로 예측되며, 유기태양전지도 약 15억 \$ 정도의 시장규모로 성장할 수 있을 것으로 관측되고 있다. 이러한 보수적인 예측으로도 2005년 6억 \$의 시장이 2015년 300억 \$로 2025년에는 2500억 달러로 성장할 것이라고 주장하고 있다. 이러한 지수함수적 증가는 항상 연구자들을 혼란에 빠뜨리게 하는데, 현재는 거의 존재하지 않는 시장이 십년도 채 안되는 기간 안에 수백 억불의 시장으로 성장한다는 주장은 누가 보더라도 설득력이 적어 보인다. 하지만, Plastic Logics사의 경우를 보면, 2000년 Cambridge

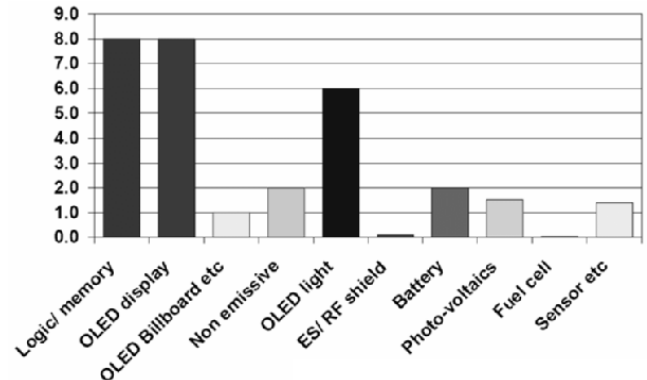


그림 12. 2015년 유기전자소자의 시장 예측(IDTechEx, 2005).

대학에서 창업하였고 PolyIC사는 Siemens AG사와 Leonhard Kruz GmbH&Co사의 joint venture로 시작하였으며, Printed Systems 역시 2003년 Institute for print and media technologies of Chemnitz University of Technology에서 스핀오프한 벤처 회사이며, Organic ID사 역시 2003년, Nanoident사는 2004년에 출범하여 각각의 기술력을 바탕으로 상업화에 매진하고 있어 적지 않은 기간 내에 Printed electronics의 상업화가 가시화될 것을 기대해 본다.

#### 5. 결론

전 세계 인쇄출판 시장은 약 1조 달러, 전자제품 시장은 약 2.5조 달러로 추정되며, 인쇄소자 시장은 이 두 가지 거대 시장의 겹치는

부분에 위치하고 있다. 인쇄소자의 경우, 그 사업모델의 측면에서 기존의 전자산업과 적지 않은 차이를 보일 것이 분명하다. 더욱이, 열거한 인쇄공정들이 기존의 노광/에칭공정 등의 리소그래피 공정을 완벽하게 대체하는데는 몇 가지 문제점들을 내포하고 있다. 그러므로, 초기의 인쇄기법은 새로운 용도의 저가 전자소자의 제작에 이용되어 그 가능성을 넓혀 나갈 것으로 관측된다. 하지만, 궁극적으로 오늘날 사용되고 있는 전자제품의 대부분은 가까운 미래에 인쇄소자화되어 생산원가를 획기적으로 낮추어야 하는 압박을 받을 것이 자명하다. 이것이 바로 인쇄 소자 시장 성장의 주 원동력이라고 보며, 이러한 특성으로 인해 불가능하거나 비현실적이었던 응용분야로의 시장 진입이 가시화 될 수 있을 것으로 기대된다. 그러므로, 인쇄소자 시장은 기존 시장을 완전히 파괴하고 새로 생성하는 기술 즉, disruptive technology로 기대되며 향후 국내에서도 보다 많은 연구자들의 연구가 보다 활발히 진행될 것을 기대해본다.

## 참고문헌

1. R. D. Deegan, O. Bakajin, T. F. Dupont, G. Huber, S. R. Nagel, and T. A. Witten, *Nature*, **389**, 827 (1997).
2. 日經 *에코로지*, **7**, 40 (2004).
3. 佐藤弘人, 藤掛英夫, *Mater. Stage*, **3**, 62 (2004).
4. Satoshi Ookubo, *Nikkei Electronics Asia*, 2007 (<http://www.Nea.korea.co.kr/>).
5. A. C. Huebler, *Printed Electronics Europe 06*, Apr., Cambridge, 2006.
6. 글로벌동향브리핑 (GTB), *KISTI*, **4**, 28 (2005).
7. J. H. Park, S. S. Oh, S. W. Kim, E. H. Choi, B. H. Hong, Y. H. S대, G. S. Cho, B. Park, J. Lim, S. C. Yoon, and C. Lee, *Appl. Phys. Lett.*, **90**, 153509 (2007).
8. W. Mildner, *Printed Electronics Europe 06*, Apr., Cambridge, 2006.
9. R. Rotzoll, *et al.*, *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 871E (2005).