

전자산업의 미래, 인쇄전자소자

Printed Electronics, Future of the Electronics

하영욱 (Y.W. Ha) 산업분석연구팀 선임연구원
 정지형 (J.H. Chung) 기술예측연구팀 선임연구원
 허필선 (P.S. Heo) 경제분석연구팀 선임연구원

목 차

-
- I . 인쇄전자 개요 및 시장전망
 - II . 인쇄전자 분야별 기술동향
 - III . 인쇄전자 산업구조 분석
 - IV . 결론 및 시사점

기능성 전자 잉크와 인쇄 공정이 적용되는 인쇄전자는 기존 전자소자 제조 공정 대비해서 저비용, 대면적화, 저온/고속/단순/친환경 공정이 가능할 뿐만 아니라, 기존 제조 공정으로 다루기 어려운 다양한 유기 전자재료의 활용가능성이 높아 전자소자 및 부품분야의 새로운 패러다임이 될 것으로 판단되고 있다. 세계 인쇄전자 시장도 2010년 3억 7천만 달러에서 2020년 370억 달러, 그리고 2030년 3,360억 달러로 연평균 40% 이상의 높은 성장이 전망되는 등 미래는 낙관적이다. 반면 현재의 인쇄전자 기술은 소재 및 공정기술의 한계로 성능, 집적도, 내구성 등이 취약하여 본격적인 시장 형성은 지연되고 있다. 즉, Material/Substrate와 Printing Machine 분야가 인쇄전자 산업 성장의 단기적인 병목이 되고 있다. 그러나 이 부분은 기술 발전에 따라 해결이 가능해지고 그 이후로는 Design/Process 분야의 중요성이 부각될 전망이다. 인쇄전자 산업의 활성화를 위해서는 산업의 가치사슬을 구성하고 있는 Material/Substrate, Printing Machine, Design/Process 각 분야들 간의 유기적인 협력을 통한 기술발전이 이루어져야 할 것이다.

I. 인쇄전자 개요 및 시장전망

1. 인쇄전자 기술 개요 및 등장배경

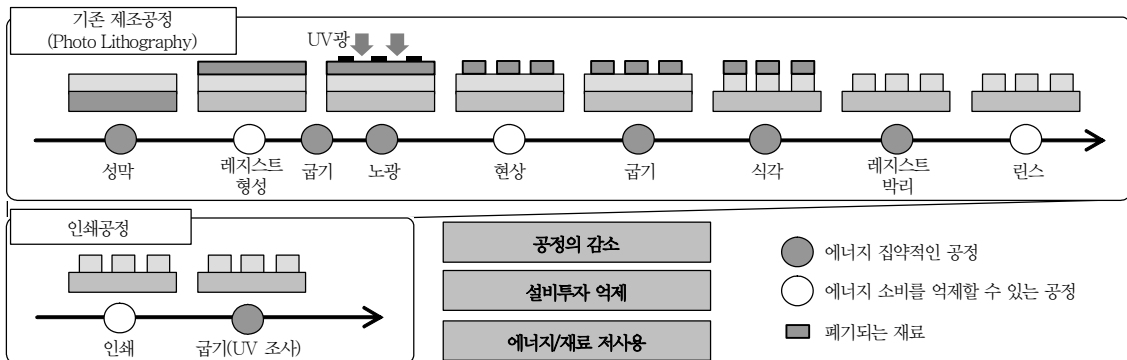
인쇄전자(printed electronics) 기술이란 인쇄가 가능한 기능성 전자 잉크소재를 이용하여, 저가격의 프린팅 공정을 통해 다양한 전자소자를 제작하는 기술을 의미하며, 전자소자 및 부품분야의 새로운 패러다임으로 여겨지고 있다. 관련 기술수준은 현재 low-end 정보처리를 수행할 수 있는 일부 소자/부품을 제작하는 수준이나, 다양한 잉크 소재 개발 및 인쇄기술 고도화가 진행됨에 따라 폭넓은 분야에의 적용이 기대되며, 궁극적으로 현재의 반도체 공정 등과 같은 전자제품 생산에 필수적인 공정을 대체할 것으로 전망된다(그림 1) 참조). 특히 인쇄공정 기술은 저온 공정이 가능한 기능성 잉크소재의 개발을 통해서 유연한 플라스틱 기판에 전자소자를 제작하는 플렉시블 전자소자(flexible electronics) 기술과 높은 공정 결합성을 지니고 있으며, 향후 연속 공정(R2R)의 구현이 가능할 것으로 예상된다[1].

인쇄전자소자 제품으로는 2차원 및 3차원 영상의 프린팅 패턴과 구조체, 이를 기능성 잉크로 프린팅한 도선, 저항, 커패시터, 인덕터 등의 수동소자, TFT 등의 능동소자가 있으며, 이들의 집합체로 이루어진 RFID 태그, 전자종이, 태양전지, 센서 등이 있다[2].

인쇄전자소자 시장은 RFID, 메모리, 디스플레이, 전지, 조명, 센서, 유기 트랜지스터 등의 새로운 제품군에서 널리 활용될 것으로 전망되고, 20년 후에는 수 천억 달러가 넘는 시장을 형성하는 대규모 산업으로 발전할 것으로 예측된다. 이러한 시장에 대한 기대로 2000년대 들어 유럽과 미국을 중심으로 프린팅 설비와 화학 재료 업체분야의 신규기업 출현이 급속히 증가 중이다.

인쇄전자 관련해서 1980년대에 실리콘밸리의 Elf Technology사가 표준 잉크젯 프린터에 적용 가능한 전도성 잉크를 개발하였고, 1997년에는 Bell Labs이 스크린 프린팅 기술을 사용, 플라스틱 필름에 트랜지스터를 세계 최초로 제조했으며, 스마트카드와 같은 틈새시장에 인쇄전자의 상업적 응용이 시작되었다. 21세기 들어 나노기술을 이용한 다양한 기능성 전자 잉크가 개발되고, 이를 기반으로 한 인쇄전자소자는 비용의 획기적인 절감 및 친환경 기술 화두에 부합하여 세계적으로 주목을 받기 시작하였다. 2000년 이후 인쇄전자 기술에 대한 연구는 미국, 유럽, 일본을 중심으로 활성화되기 시작했으나, 한국은 짧은 역사와 주변 인프라 부족으로 기술적인 어려움에 처해 있는 상황이다.

인쇄전자 기술의 장점은 다양한데, 먼저 저비용으로 전통적인 전자산업의 값비싼 실리콘 반도체 생산



<자료>: Nikkei Electronics Korea, 2010. 1.

(그림 1) 인쇄전자의 특성

설비를 대체하여 획기적인 비용 절감이 가능하다. 둘째, 저온/고속/단순/친환경 공정이 가능하다. 인쇄전자 공정은 저온 공정이 가능하여, 유연한 플라스틱 기판 위에 전자소자를 구현할 수 있어 플렉시블 제품 구현이 가능하다. 기존 반도체 제조공정에 비해 공정 단계가 크게 감소하여 단순하며, R2R 연속공정으로 고속 제조도 가능하다. 생산에 사용되는 전기 등 각종 에너지의 소비를 줄여 친환경적 공정 또한 가능하다. 셋째, R2R 연속공정을 통한 대면적화가 가능하여, 대형패널 생산 및 대량생산에 적합하다. 마지막으로 실리콘 소자에 비해서 저가인 유기 전자재료의 활용을 통해 제품 저가화가 가능할 것으로 예측된다. 반면, 단점 및 한계점도 존재하는데 첫째, 성능 및 집적도의 부족이다. 이는 소재 및 공정기술의 한계로 아직은 기존 전자소자나 제작 방식에 비해 성능 및 집적도가 열등하여, R&D 혁신이 필요한 상황이다. 둘째, 낮은 내구성이 문제인데, 이는 유기물 재료가 기존의 무기물 재료에 비해 내구성이 낮아 고성능 무기재료의 잉크화와 유기재료의 성능 개선을 위한 R&D가 필요하다.

2. 인쇄전자소자 시장전망

전 세계 인쇄전자소자 시장은 2010년 3억 7천만 달러에서 2020년 370억 달러, 그리고 2030년 3,360억 달러로 연평균 40% 이상의 높은 성장이 전망된다[3]. 수 년 전의 전망들이 단기적으로 큰 시장 형성을 예측한 것과는 대조적으로, 본 전망은 인쇄전자 시장 활성화가 다소 지연됨을 시사하고 있다.¹⁾ 현재는 Display(LCD, 전자종이)와 Sensor 등의 분야에서 소규모 시장이 형성되어 있는 상황이나, 단기적

1) Nanomarkets(2007)에서는 인쇄전자 시장이 2010년 100억 달러에 이르고, 2013년에 300억 달러에 이를 것으로 전망; 또한 IDTechEx(2005)에서도 동 시장을 2010년 50억 달러, 2015년 300억 달러로 전망한 적 있음.

〈표 1〉 전세계 인쇄전자소자 시장전망

(단위: 십억 달러)

	2010	2013	2015	2020	2030 ⁵⁾
Logic/Memory	0.01	0.06	0.29	6.30	100
Display	0.12	0.73	2.66	14.16	114
- OLED ¹⁾	0.00	0.05	1.26	8.16	100
- 전자종이 ²⁾	0.12	0.68	1.40	6.00	14
OLED Light ²⁾	0.00	0.08	0.27	1.80	30
Photovoltaic ³⁾	0.01	0.23	1.00	11.37	70
Battery	0.02	0.03	0.08	0.70	5
Sensors	0.12	0.25	0.50	1.57	6
Others ⁴⁾	0.09	0.22	0.37	1.27	11
Total Printed	0.37	1.60	5.17	37.17	336

주 1) OLED 모듈 전체(OLED frontplane + backplane)

2) Frontplane만 포함하며, backplane은 제외

3) 박막 태양광을 모두 포함하되, 인쇄가 어려운 CdTe와 silicon type은 제외

4) 기타 디스플레이(무기 EL, 전기변색 등) 등을 포함

5) 잠재적으로 인쇄될 수 있는 부분 모두를 인쇄전자소자 시장에 포함

〈자료〉: IDTechEx(2010) 재구성(IDTechEx에서 산출한 전도성 잉크 부분은 제외)

으로는 Display(OLED, 전자종이)와 Photovoltaic 분야가 큰 시장을 형성하고, 장기적으로는 기술 성숙에 따라 Logic/Memory 분야가 크게 부각될 전망이다(〈표 1〉 참조).

Logic/Memory 분야의 대표적인 제품인 RFID 태그는 중단기적으로는 메모리 및 성능의 한계로 low-end와 e-티켓팅 등의 단순 제품에 활용되나, 중장기적으로 메모리와 성능의 향상에 따라 활용의 범위가 확대될 것으로 전망된다. Memory와 Circuit의 경우에도 게임 및 단순 회로 중심에서 메모리 용량 확대와 복잡한 회로의 제품에도 적용되는 방향으로 발전될 전망이다. Display 분야의 경우 현재 LCD 컬러필터 등 일부 부품 제조 공정에 인쇄기술을 적용하는 수준이나, 향후 인쇄용 반도체 소재와 인쇄기술의 정밀도 향상에 따라 전 공정 및 전 부품에 인쇄기술 적

〈표 2〉 인쇄전자소자의 발전 전망

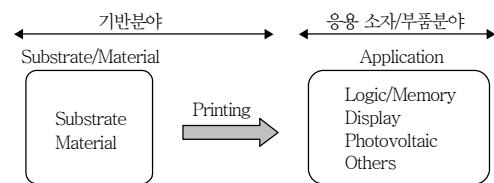
	현재 및 단기	중기	장기
Logic/Memory	RFID Tag: low-end 상표보호, e-티켓팅, 개인 식별 Memory: 게임 Circuit: 장난감의 단순 회로	RFID Tag: high-end 상표보호, 물류 및 자동화 Memory: 진보된 게임 Circuit: 회로 복잡성이 향상된 제품	RFID Tag: item 단계 태깅 Memory: 가전 및 멀티미디어에 활용
Display	일부 공정/부품(예 컬러필터)	모듈의 일부(frontplane or backplane)	전 공정/부품 인쇄기술 적용
OLED Light	작은 공간 decoration	건축물 활용	광원 활용 공간 확대
Photovoltaic	Rigid version 중심	Flexible version(10% 효율) 판매 확대(빌딩 등)	Flexible version(10% 효율 + 100,000시간 수명)의 전력망 연결
Battery	RFID, 장난감용 저가 유연 버전	가격 인하 및 응용범위 확대	가격 인하 및 응용범위 확대
Sensor(Organic)	유연 기판에 제조되는 photodiode, temperature, pressure, chemical	가격 인하 및 응용범위 확대	가격 인하 및 응용범위 확대

<자료>: IDTechEx(2010) 자료 참고 재작성

용이 전망된다. OLED 조명은 아직 휘도가 전통 조명이나 LED에 비해 낮아 기존 조명의 대체보다는 작은 공간의 장식(decoration) 중심으로 활용되고, 향후 휘도의 향상에 따라 활용 범위가 넓어질 것으로 전망되며, 인쇄기술의 적용 또한 OLED 조명 시장이 성장함에 따라 확대될 전망이다. Photovoltaic 분야의 경우 단기적으로 유기기반 태양전지의 효율이 낮아, 기존 실리콘 웨이퍼 기반 태양전지 생산의 일부 공정을 인쇄로 대체하는 수준이 주를 이룰 것으로 전망된다. 향후 유기기반 태양전지의 효율 향상에 따라 궁극적으로 전력망과 연계된 활용이 전망된다. Battery 분야는 능동형 RFID 태그나 장난감에 들어갈 저가의 유연 버전이 초창기에 주류를 이루고, 지속적인 가격 인하에 따라 응용범위가 점차 확대될 것으로 전망된다. 또한, 센서의 경우도 마찬가지로 가격 인하에 따라 점차 응용범위가 확대될 것으로 전망된다(〈표 2〉 참조).

II. 인쇄전자 분야별 기술동향

인쇄전자는 크게 Substrate(기판), Material(전자 잉크), Printing(인쇄기기)의 기반분야와 이를 기반으



(그림 2) 인쇄전자 기술 구성요소

로 하는 Logic/Memory(논리회로/기억소자), Display, Photovoltaic(태양전지) 등의 응용 소자/부품 분야로 구분할 수 있다. 현재로서는 기반기술 분야가 인쇄전자 기술 발전의 병목으로 작용하고 있으나 이 부분은 기술 발전에 따라 해결이 가능해지고 그 이후로는 응용 소자/부품분야의 중요도가 높아질 것으로 전망되고 있다. 본 장에서는 인쇄전자의 기반기술 분야별 기술동향과 응용 소자/부품분야별 기술동향을 살펴본다(그림 2) 참조.

1. 기반분야별 기술동향

가. Substrate(기판)

유연한 인쇄전자소자 생산을 위해 PET, PEN 등의 플라스틱 기판이 인쇄전자용으로 주로 사용되고 있다.

PET는 저가이며, 시장접근성이 우수하여 현재 가

장 많이 사용되고 있으나, R2R 공정 중에 소재에 가해지는 장력과 열팽창으로 인한 손상 발생이 가능하다는 단점을 가지고 있다[4]. 이에 따라 비교적 고온의 건조 및 경화 조건이 필요한 공정에서는 장력과 열팽창 특성이 우수한 PEN이 선호되고 있으나, 고가이며 시장접근성이 좋지 않은 단점이 있다. 한편, 최근 플라스틱 재료의 한계를 극복하기 위해, 유연 기판으로 stainless steel과 같은 금속 foil을 고려하고 있다. 그러나 금속 foil은 불투명하고, 표면의 균일도와 부식의 문제점이 있어, 이를 극복하기 위한 연구가 진행 중이다[5].

나. Material(전자잉크)

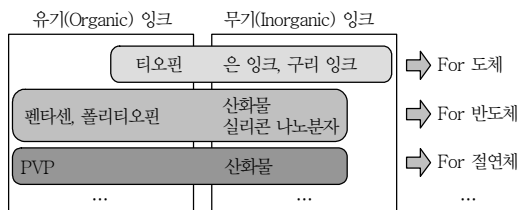
전자잉크 분야는 인쇄전자 산업의 활성화의 주요 병목으로 이의 개선을 위한 다양한 방향의 연구가 진행 중이다. 전자잉크는 전기적 특성에 따라서는 도체, 반도체, 절연체로 나눌 수 있으며, 재료의 물성에 따라서는 유기잉크 및 무기잉크로 크게 구분될 수 있다 ((그림 3) 참조).

전기적 특성별 분류에 따른 전자잉크의 개발 동향을 살펴보면 도체 소재분야에서 약간의 진척이 있으나 전반적으로는 기술이 성숙되어 있지 않다. 분야별로 구체적으로 살펴보면, 우선 반도체 소재를 위한 전자잉크는 유기반도체(small molecule, polymer, CNT, 그래핀 등), 산화반도체(ZnO, InGaZnO 등), nanoparticles(Si, CdSe, ZnSe 등), nanoribbons(Si, GaAs 등) 등이 연구되고 있다. 또한 도체 소재로는

metal nanoparticles(금, 은, 구리, 니켈 등), thiophenes, 그리고 반도체로 사용되는 소재들이 도체 소재로도 연구되고 있다. 은(Ag)은 1mΩ/sq/mil의 typical resistance를 보여 도체로서의 특성이 매우 좋으나, 높은 가격이 단점으로 작용하고 있다. 이에 따라 도체 특성을 갖는 폴리머(PANI, PEDOT 등), 구리(Cu) 잉크 등이 연구되고 있는데, 구리의 경우 15mΩ/sq/mil의 전도율을 보여 도체 특성이 은에 비해 열등하며, 산화작용이 발생한다는 문제가 존재한다. 절연체 소재로는 oxides/nitrides, polymer dielectrics, parylene, solid electrolytes, ion gels 등이 연구되고 있다.

한편, 전자잉크의 재료 물성은 유기와 무기로 나뉘는데 일반적으로 유기잉크는 분산성²⁾이 좋고 저온 공정이 가능한 반면 전자기적 특성이 나쁜 단점이 있고, 무기잉크는 전자기적 특성은 좋으나 분산성이 나쁘고 고온 공정을 필요로 하는 단점이 있다. 이에 따라 유기성분과 무기성분의 장점은 살리고 단점을 보완하기 위한 유/무기 복합 전자잉크가 지속적으로 연구 개발되고 있다. 유/무기 복합의 유형으로는 ① 유기고분자가 갖는 특성을 유지하면서 전자특성 및 내열성을 향상시키기 위해 무기성분을 미세하게 분산하는 유형, ② 무기성분의 특성을 유지하면서 분산성을 향상하기 위해 유기성분과 복합하고 최종적으로 유기성분을 제거하는 유형, 그리고 ③ 무기질 층상물질의 층 간에 유기분자를 도입하는 유형 등이 존재한다[6].

향후 가장 핵심적인 응용소재인 반도체 소자의 재료로 사용될 전자잉크는 유/무기 복합 소재일 것으로 전망되고 있는데, 주로 무기성분을 기본 매트릭스로 하고 분산성 확보를 위해 유기성분을 이용하는 형태



(그림 3) 전자잉크의 유형

2) 분산성은 재료가 용액화되는 정도를 말하며, 용이한 인쇄를 위한 필수적 특성임.

인 것으로 사료된다.³⁾

다. Printing(인쇄기기 및 공정)

인쇄전자 소자의 인쇄방법으로는 인쇄원본이 필요한 아날로그 방식 중에서는 그라비아(gravure), 플렉소(flexograph), 오프셋(offset) 등이 주요 대안이고, 인쇄원본이 필요없는 디지털 방식에서는 잉크젯(ink-jet) 방식이 주요 기술로 대두되고 있다. 아날로그형 인쇄술은 생산성이 좋은 반면 미세패턴 형성이 어렵고, 디지털형 인쇄술은 비교적 미세한 패턴 형성이 가능하지만 생산성이 떨어지는 단점이 있다.

그라비아 인쇄는 요판 인쇄의 일종으로 가장 높은 생산속도가 가능한 방식이며, 플렉소 인쇄는 유연성을 가진 패턴닝된 수지판을 이용하는 인쇄법으로 두꺼운 필름의 제작이 가능한 장점이 있다. 아날로그 인쇄술 중에서 가장 높은 해상도를 제공하는 오프셋 인쇄는 다층 인쇄시 정합도(overlay accuracy)가 높다. 디지털 방식인 잉크젯 프린팅법은 헤드로부터 미세한 잉크방울을 토출시켜 원하는 위치에 패턴닝하는 기술이며, 작은 체적에 복잡한 형상을 구현하기에 적합하다[7]. 잉크젯 방식은 패턴을 순서대로 형성하기 때문에 인쇄 속도가 느린데 이의 극복을 위한 다노즐화, 노즐 고밀도화, 구동주파수의 고주파화 등이 개발 중이다. 또한, 현재 잉크젯 방식에서 구현 가능한 수십 μm 의 해상도로는 복잡한 회로 구조에의 적용이 어려워, 수 μm 의 해상도를 구현하기 위한 연구를 진행 중이다.

인쇄전자소자 제조시, 일반적으로 여러 종류의 인쇄법과 인쇄기기를 그 장단점과 형성 가능한 패턴 해상도에 따라 선택, 조합하여 활용해야 한다. 인쇄기기

3) 이 경우 최종적으로 유기 성분은 제거하고 무기 특성을 제대로 발현할 수 있도록 제어하게 되는데, 본 보고서에서는 이러한 유형의 복합 전자잉크는 무기 전자잉크로 구분함.

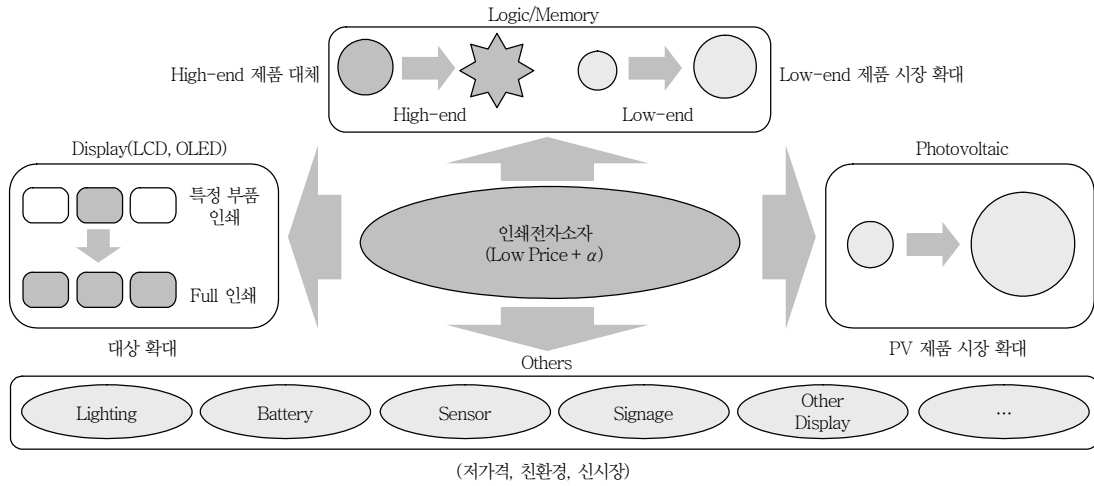
의 정밀도 및 생산성을 모두 확보하기 위한 연구가 지속적으로 진행 중에 있으며, 효율적이고 경제적인 소자 및 부품 생산을 위해 R2R 공정의 최적화 또한 주요 과제가 될 것이다.

2. 응용 소자/부품분야별 기술동향

시장 규모 및 발전 전망으로 볼 때 인쇄전자 기술의 주요한 응용 소자/부품분야는 Logic/Memory(논리회로/기억소자), Display, Photovoltaic(태양광발전) 등으로 볼 수 있다. Logic/Memory 분야는 인쇄전자 기술 적용측면에서 가장 고난도 분야로 단기적으로는 low-end 소자/부품 생산에 인쇄전자 기술을 적용하고, 중장기적으로 high-end 제품으로 확대 적용할 것으로 전망된다. Display 분야는 컬러필터와 같은 특정 부품 제조에 인쇄전자 기술을 활용하고 있으며 궁극적으로 전 공정/부품의 인쇄화가 진행될 것으로 보인다. Photovoltaic 분야는 전통적인 방식으로 제조되는 전자소자로는 경제성이 낮지만 인쇄전자 기술 적용을 통해 저가 생산이 가능할 것으로 보고 연구가 활발히 진행 중이다(그림 4) 참조.

가. Logic/Memory

Logic/Memory 회로를 인쇄전자 기술로 제조하기 위해서는 박막트랜지스터(TFT)와 박막축전기(TFC)를 인쇄전자 기술로 제조하는 것이 핵심이다. 박막트랜지스터와 박막축전기의 특성을 결정하는 주요한 요소는 제조에 사용되는 반도체 소재이며, 이와 더불어 인쇄기술, 회로설계 및 공정 등이 상호 유기적으로 결합되어야 부품 성능의 최적화가 가능하다. 현재로서는 반도체를 형성하는 전자잉크의 물성 개선에 대한 연구가 집중적으로 이루어지고 있다(표 3) 참조.



(그림 4) 인쇄전자 기술의 주요 응용분야

<표 3> 인쇄용 반도체 소재 유형별 특성

	Organic 계열		Inorganic 계열	
	폴리머	CNT, 그래핀	ZnO 계열	Silicon nanoparticle
전하이동도	~4cm ² /Vs	~2,000cm ² /Vs	~40cm ² /Vs	~250cm ² /Vs
장점	저온 공정 인쇄 가능 저가	높은 전하이동도	투명 트랜지스터 제조 가능 적정 전하이동도 열 내구성	높은 전하이동도 인쇄 가능 저가
단점	낮은 전하이동도 문턱전압 균일도 고전압 10~100V	물질 순수성, 비용 낮은 수율 낮은 이해	특이 게이트 절연체 안정성 미확보	300도 이상의 고온 요구 (금속기판 사용)
개선 사항	물질에 대한 돌파구	저비용 고품질 물질 공정 혁신	제조가능성 검증 게이트 절연체 안정성 확보 저온 공정 확보	용액화
연구 수준	많은 연구 진행 상용화는 미흡	초기 단계의 연구	OLED 디스플레이 Backplane 대상 상용화 목표	RFID 태그 제품 상용화

<자료>: IDTechEx(2010) 참고 재작성

인쇄기술을 통한 TFT 제조에는 유기 및 무기 재료의 적용이 연구 중이다. 유기 소재를 사용하는 경우 소재의 녹는점이 낮아 저온공정이 가능하고, 유기용매에 잘 용해되므로 인쇄기술이 잘 적용될 수 있다는 장점이 있다. 하지만 유기 재료로 제조한 TFT는 전하이동도가 낮으며, 소자의 신뢰성 한계로 상용화가 지연되고 있는 형편이다. 이러한 유기 TFT의 한계를 극복하기 위해 silicon nanoparticle 기반 TFT 제조

(금속기판 사용)가 개발되었으며, 새로운 소자(CNT, 그래핀)를 이용한 연구가 이어질 전망이다. Logic 회로의 특수한 분야인 디스플레이 backplane에서는 기존 a-Si, poly-Si을 대체하는 TFT 소자로 ZnO 기반의 산화물계 TFT가 가장 유력한 기술로 전망되고 있다[8].

인쇄기술 적용을 통한 TFC 제조는 대용량 printed memory의 상용화를 위한 과제로서 물리적 크

기의 제약 해결, 신뢰성 및 주소참조능력(addressability) 등이 전제되어야 하나, 이러한 제약의 해결은 단기간에 이루어지기는 어려울 것으로 전망된다. 다만 수백 비트 이내의 저가 메모리를 필요로 하는 분야에서는 인쇄기술 적용이 크게 확산될 가능성이 있다.

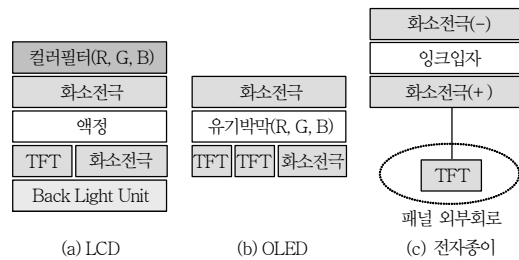
RFID 태그는 Logic/Memory 인쇄전자 기술 적용이 유력시 되는 대표적 제품으로서 인쇄기술을 통해 저가 RFID의 대량 생산이 가능해진다면 RFID의 활용처가 대폭 확대될 것으로 기대되고 있다. 현재까지 인쇄전자 기술분야에서 연구개발된 RFID는 유기 재료 기반이 주류인데, 현재 기술 수준으로는 상용화에 무리가 따르는 실정이다. 반도체 집적회로의 전하 이동도의 경우 $2\sim 3\text{cm}^2/\text{Vs}$ 이상의 이동도가 요구되나, 현재 시제품 제작으로 개발된 수준은 $0.02\text{cm}^2/\text{Vs}$ 정도에 머물고 있다. 또한 수 μm 이하의 TFT channel length가 요구되나, 현재로서는 인쇄기술 적용시 channel length를 물리적으로 $20\mu\text{m}$ 이하로 낮추는 것이 불가능하여 photo lithography 기술을 혼용하여 channel length를 $5\mu\text{m}$ 이하로 낮추고 있다. TFT 외에 RFID 구성에 있어서 주요 부분인 메모리에 있어서도 현재 개발수준은 64bit로서 최소 256bit를 요구하는 상용화 수준에는 미치지 못하고 있다. 이 외에도 수명, 인식 속도, 최대 인식 거리 등에서도 한계가 존재하고 있다[1].

이러한 기술적 한계를 극복하기 위한 연구가 소재/인쇄기기/설계 전 분야에 걸쳐 진행되고 있다. 우선 반도체 재료 부분에서는 CNT(탄소나노튜브), 그래핀 등의 신물질과 무기물 적용을 모색하는 연구가 이어지고 있으며, 인쇄술의 정밀도 향상을 통해 sub-micron meter의 channel length를 구현하는 방법이 연구되고 있다. 아울러, 64bit RFID 태그에 필요한 트랜지스터의 수를 400개 이하로 줄이는 등 RFID 태그에 필요한 트랜지스터의 수를 줄이는 설계방식에

대한 연구 또한 진행 중이다.

나. Display

디스플레이는 시각적 정보 표시 장치로서 다양한 인쇄전자 기술 적용이 가능한데, 예상 시장규모 및 기술 적용가능성을 고려할 때, LCD, OLED, 전자종이 등이 가장 우선적으로 인쇄전자 기술이 적용될 분야로 전망된다(그림 5) 참조.



(그림 5) 각종 디스플레이 장치의 구조

LCD는 액정이 BLU에서 나오는 백색광을 통과시키거나 통과시키지 않도록 제어하여 이미지를 표시하는 장치로서 TFT 회로를 포함하는 backplane에 인쇄기술을 적용하는 것이 가장 핵심적인 이슈이다. 현재로서는 각 픽셀의 컬러를 결정하는 컬러필터와 TFT 회로 mask 제작에 인쇄기법이 적용 중이다. 하지만 backplane 제작의 전 공정을 인쇄화하기 위해서는 TFT 회로 mask 제작에서 나아가 인쇄기술에 적합한 유기 또는 무기용액형 반도체 재료 개발과 인쇄기기 정밀도 향상이 필요하다. 현실적으로 사용되는 LCD 패널을 인쇄기법으로 생산하기 위해서는 $4\sim 5\mu\text{m}$ 수준의 정밀도를 가지는 TFT-array를 형성하는 재료와 인쇄기기의 개발이 요구된다.

LCD 디스플레이의 픽셀별 컬러를 결정하는 컬러필터, 액정이 봉입되는 액정배향막 형성 등에는 잉크젯 기술 등의 인쇄전자 기술이 이미 적용되고 있다. 또한 TFT 회로의 mask 형성에도 롤 프린팅 기법 등이 적용되고 있다. 이는 전통적인 LCD 제조공정을

단순화하고 고속화하는 데 기여하고 있다.

OLED는 LCD와 달리 자체적으로 발광하는 LED를 사용하여 픽셀을 표시하는데 현재 backplane의 TFT-array를 중심으로 다양한 잉크재료를 적용하는 인쇄기술이 연구 중이다.

OLED 제조 공정은 LCD와 비교할 때 상당 부분이 유사하며, BLU과 액정을 사용하지 않으므로 TFT 형성 공정 이외에는 LCD에 비하여 더 짧고 간단하게 구성된다. 하지만 픽셀 당 최소 2개의 TFT가 필요한 OLED의 특성에 따라 TFT-array에 인쇄기법을 적용하기 위해서는 전하이동도 등 반도체 재료의 특성과 인쇄기기의 정밀도가 보다 향상되어야 한다. 전하이동도의 경우, LCD에 비해 3배 이상 높아져야 하는 것으로 알려져 있다. 한편 유기박막으로 형성되는 OLED 발광부를 잉크젯 기술로 제작하려는 시도가 있으나, 전통적인 진공증착 방식에 비해 수율과 정밀도가 떨어져 실제 적용 사례는 아직 없는 실정이다.

전자종이는 양극안정성을 가지는 잉크입자를 적절한 전압으로 제어함으로써 각 픽셀의 빛 반사량을 조절하여 정보를 표시하는 장치로서 마이크로캡슐, 마이크로컵, Gyricon 등 다양한 방식으로 구현되며, 마이크로캡슐이 가장 대중화된 방식이다. 현재 제작되고 있는 전자종이는 동영상 구현이 어렵고 흑백 표현만 가능하다는 한계가 있다. 향후 각 픽셀별 구동회로를 독립적으로 운용하는 능동형 매트릭스 구조 적용, 잉크입자의 반응속도 향상, 픽셀 사이즈 축소 등이 이루어져야만 컬러 및 동영상 표현이 가능해질 것이다.

수동형 매트릭스 구조를 가진 전자종이 backplane에는 단순한 전극만이 배열되고 픽셀의 명암단계(16단계 수준), 정밀도(30 μ m 이상), 응답속도(100ms 이상) 등 성능요구치가 낮아, TFT-array에 인쇄기술을 적용하는 데 관련한 연구는 전자종이 backplane

에 우선 적용되는 경향이 있다. 실제로 인쇄기술을 통해 생산한 유연한 전자종이 시제품이 제작된 바 있다. 또한 능동형 매트릭스 전자종이에 있어서도 인쇄기술 적용시 LCD, OLED와 유사한 TFT-array 관련 인쇄기술 적용이 필요하지만 집적도 및 요구되는 반도체 성능 수준이 낮아 향후에도 디스플레이 분야의 인쇄기술 연구는 전자종이에 우선적으로 적용될 것으로 전망된다.

인쇄기술 적용을 위해 현재 디스플레이 부문에서 가장 중점적으로 추진하고 있는 부문은 TFT-array 제작의 인쇄화로서 전통적인 lithography 방식으로 제작되어 온 TFT-array 제작 전공정을 인쇄공정(additive process)으로 대체하는 것이 연구개발의 목표이다. 현재 TFT-array 제작 전공정 인쇄화는 다양한 연구기관 및 기업체에서 연구개발을 진행 중이지만 아직까지 TFT 소자의 반도체 특성 수준 및 제작 재현성이 낮아 양산에 이르기까지는 긴 시간이 소모될 전망이다.

다. Photovoltaic(PV)

PV는 실리콘, 화합물, 유기물 등 다양한 소재의 광화학적 반응을 통해 전기를 발생시키는 소자 및 제품으로, 현재 무기 박막(CIGS) 및 유기 태양전지(OPV) 제조에 인쇄공정을 적용하려는 연구가 활발히 진행 중이다.

전통적인 태양전지는 Si 웨이퍼를 기반으로 한 태양전지로서 비교적 높은 에너지 변환효율과 내구성을 가지고 있으나, 그 생산가격이 높고 재질의 특성상 무겁고 유연하지 못해 태양전지의 설치 및 활용에 제한이 있었다. 이에 따라 a-Si, CIGS, CdTe 등 무기물 및 DSSC, OPV 등 유기물 기반 태양전지에 대한 연구개발이 이루어져 왔고, 생산의 고속화와 저가화를 위해 인쇄기술 적용에 대한 연구가 진행 중이다.

CIGS 태양전지는 비실리콘계 무기박막 태양전지로서 높은 광흡수계수, 광화학적 안정성, 높은 에너지 변화 효율(15% 수준)로 인해 가장 유망한 실리콘 대체 태양전지 기술로 인식되고 있으며, 이미 상용화 단계에 진입하고 있다. 하지만 다성분계 화합물 반도체에 의한 공정비용의 증가로 저가화 요구를 거세게 받고 있으며, 이에 대한 해결책으로 저가 유연기판 기술, 용액기판 프린팅 공정 기술 적용이 가능한 신규 화합물 나노입자 소재 및 공정 기술 개발이 적극적으로 모색되기 시작하는 단계이다. 기존 제조공정은 스퍼터링 등 전통적인 반도체 제조방식을 채택 중이나, 향후 그래비아/오프셋 등 인쇄 방식 적용 연구를 진행 중이며, 미국의 Nanosolar나 Miasole 같은 신생 업체들이 잉크젯 프린팅이나 R2R 공정과 같은 저가의 용액공정을 목표로 기술개발을 진행 중이다.

유기 태양전지(OPV)는 유기물의 경제성과 다양성이라는 근본적인 장점을 바탕으로 2000년대 들어 가장 기술적 진보가 두드러진 차세대 태양전지로, 최근 산업화에 진입한 OLED 등 플렉시블 디스플레이 기술과 접목하여 차가 가장 유망한 태양전지 기술이 될 것으로 전망된다. OPV는 프린팅 기술 및 R2R 공정 적용이 가능한데, R2R 복합 프린팅(투명전극: 잉크젯, 반도체: 그래비아/오프셋, Al paste: 플렉소) 방식으로 제작이 용이할 것으로 평가받고 있다. 인쇄 기술로 형성한 OPV는 박형/경량 및 유연한 제조가 가능해 제조비용이 와트 당 1달러 이하로, 기존 태양전지 비용의 1/2~1/4 수준으로 줄일 것으로 기대된다. 하지만 OPV의 효율은 현재 5% 수준으로 상용화를 위해서는 소재에 대한 R&D 혁신을 통해 태양전지 모듈의 에너지 변환효율을 10% 수준까지 높이고, 내구성/수율 확보가 가능한 소재 및 인쇄공정 개발이 필요하다.

연료감응형 태양전지(DSSC)의 경우 내구성 검증

이 아직 불확실하며, 액체 전해질의 한계, 핵심 재료의 고가 수입 등의 문제점이 존재한다. 유럽의 G24 Innovations사는 잉크젯 타입의 R2R 프로세스를 적용하여 DSSC를 제조 중이고, R2R 방식으로 인쇄하여 생산단가를 크게 낮추기 위한 연구(2009~2013년)가 한국의 KIER 및 KRICT에 의해 진행 중이다.

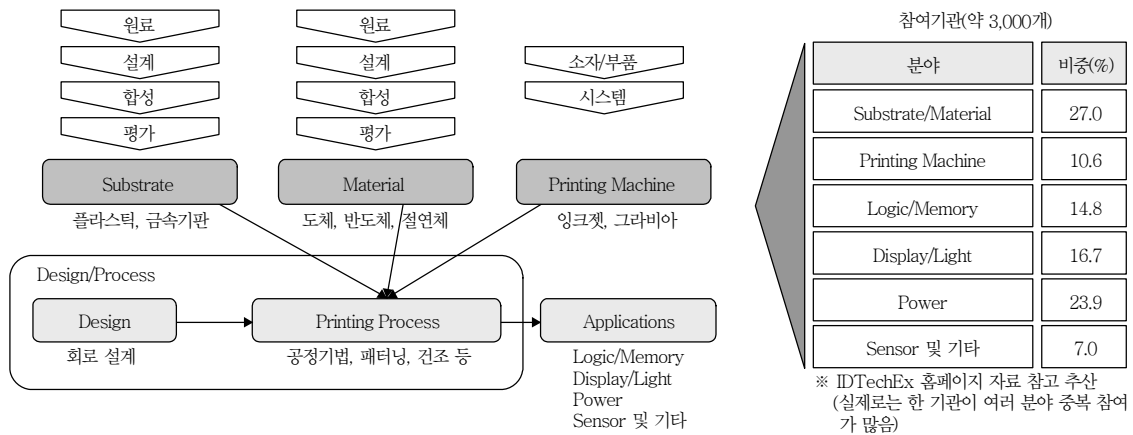
현재로서는 Bulk Si 기반 PV가 시장의 80% 이상을 점유하고 있으나, CIGS 박막 태양전지는 2006년 시장 진입하여 생산용량을 확대 중이고, OPV는 2013년을 목표로 시장 진입을 시도하고 있는 만큼 향후 박막 및 기타형태 PV의 고성장세가 예상된다. 유기 태양전지는 실리콘 기반 태양전지에 비해 광변환 효율 및 내구성이 떨어지는 상황이지만, 단순공정(R2R 프린팅)/저가/경량/유연/친환경적 특성을 지니고 있어 효율에 대한 기술혁신이 이루어진다면 시장을 주도할 것으로 전망된다.

III. 인쇄전자 산업구조 분석

1. 인쇄전자 산업구조

인쇄전자 소자/부품의 가치사슬은 크게 ① Material/Substrate, ② Printing Machine, ③ Design/Process로 구분 가능하며, 각 분야는 상호 유기적인 협력이 필요하다. Material/Substrate와 Printing Machine 분야가 인쇄전자 산업 성장의 단기적인 병목이 되나, 이 부분은 기술 발전에 따라 해결이 가능해지고 그 이후로는 Design/Process 분야의 중요성이 부각될 전망이다. 분야별로는 Material/Substrate가 가장 큰 50%(2015년)~60%(2020년) 정도의 시장 비중을 차지할 것으로 예상하고 있다[3].

한편, 인쇄전자 산업에는 전 세계 약 3,000개 이상의 기관이 참여 중인데, Material/Substrate와 Power



(그림 6) 인쇄전자 산업구조

(Photovoltaic, Battery) 분야에 가장 많은 업체들이 참여하고 있다. 실제로는 잉크분야에 참여하는 기업이 응용분야에도 참여하는 등 한 기관이 여러 분야에 중복 참여하는 경우가 많다(그림 6) 참조.

2. 기반분야의 주요 기관 동향

Substrate(기판), Material(전자잉크), Printing Machine(인쇄기기)으로 구성되는 기반분야에서는 일부 시장에서 주목받고 있는 사업자들이 나타나고 있으나, 아직은 시장 초기 단계로 인쇄전자 산업의 본격적인 활성화에 따라 시장 구도는 바뀔 수 있을 것이다.

Substrate 분야에서는 DuPont Teijin Films이 가장 두각을 나타내고 있으며, 이외에도 3M 및 Dow Corning 등이 성장 잠재력을 보유하고 있다. 국내에서는 지경부의 WPM 사업의 일환으로 Substrate에 대한 연구가 총괄적으로 진행 중이다.

Material 분야는 다수의 기관들이 참여하고 있음에도 불구하고 현재는 무기잉크의 하나인 은잉크를 중심으로만 시장이 형성되어 있으며, 기타 잉크 시장은 주도적인 사업자가 나타나고 있지 않다. 은잉크 시장은 Cabot이 주도하고 있으며, 그 외에 Advanced Nanotech, CIBA 등 다수 업체가 진입을 시도하고

있다. 반면, 유기잉크는 시장 주도 사업자가 아직 없으며, DuPont, Merch 등 다수 업체들이 진입을 시도하고 있다. 한편, 응용 소자/부품분야에 진입을 시도하고 있는 다수의 기관들이 Material 분야를 중요하게 인식하고 독자적인 소재를 연구 개발 중이다.

Printing Machine 분야에서는 여러 프린팅 기술을 활용해 인쇄전자소자를 제작하는 연구들이 활발히 진행되고 있다. Ink-jet 분야는 Xerox, HP, Seiko Epson, JSR, SIJ Technology 등 다수의 업체가 진입하고 있으며, 정밀도 향상을 위한 연구에 초점을 맞추고 있다. Gravure는 DNP, Toppan Printing 등 일본 업체들이 두각을 나타내고 있다. 한편, 국내에서는 한국기계연구원이 최하 7 μ m 수준의 미세한 선을 연속적으로 대량 인쇄할 수 있는 ‘Gravure-offset 인쇄 공정 기술’을 개발하였으며, 나래나노텍이 offset 기법을 이용하여 TFT-LCD mask를 인쇄하는 등 관련 기술개발에 박차를 가하고 있다.

3. 응용 소자/부품분야별 주요 기관 동향

인쇄전자소자는 저가라는 장점으로 기존 전자소자의 일부 대체 및 성장 정체된 제품 확산에 기여할 것이고, 신소재/저온공정으로 유연한 디스플레이 등

〈표 4〉 Logic/Memory 분야 주요 기관 동향

중점 분야(반도체소재)		기술개발 및 상용화
PolyIC(독일)	RFID 태그(유기)	유기기반 64bits RFID 태그 개발(2007년) - 유기기반 RFID 태그 인쇄전자의 선도기업 - 인쇄 기술의 정밀도 한계로 photo lithography 공정 혼합 - 성능 등의 문제로 64bits 제품 상용화 지연
OrganicID(미국)	RFID 태그(유기)	유기기반 RFID 태그 연구 - 제품 크기에 민감하지 않은 저가 시장 목표
Kovio(미국)	RFID 태그(무기)	Silicon nanoparticle 기반 128bits RFID 태그 개발(2008년) - 수율 등의 문제로 제품 상용화 지연
AMD(미국)	Memory(유기)	인쇄 메모리 관련 다수 특허 보유 - 대용량 메모리 분야 선도기업이나, 상용화 실적 없음
Thin Film Electronics (노르웨이)	Memory(유기)	메모리 소재에 강유전폴리머 이용 - 소용량 메모리는 상용화, 대용량 메모리는 기술개발중
파루(한국)	RFID 태그(유기)	탄소나노튜브 기반 4bits RFID 태그 개발(2010년) - 동 분야 국내 선도기업이나, 상용화 실적은 없음
ETRI(한국)	RFID 태그(유기/무기)	유기 기반 TFT 및 RFID 태그 인쇄 연구 - 최고의 전하이동도($0.5\text{cm}^2/\text{Vs}$)를 시현했으나, 신뢰성 확보가 과제 - 무기(산화물) 기반 TFT 인쇄 연구

신규 제품시장의 창출이 기대된다. 특히, Logic/Memory, Display 부품, Photovoltaic 등이 가장 핵심적인 응용분야가 될 것으로 예상된다.

Logic/Memory는 인쇄전자소재 중에서 가장 고난도 분야로 단기적으로 low-end 시장 창출, 중장기적으로 high-end 제품 시장으로 확대될 전망이다. Logic/Memory 분야에는 500개 이상의 기관들이 Logic/Memory를 인쇄방식으로 제조하기 위한 연구를 지속하고 있으며, 일부 시제품이 개발된 상태이다. 유/무기 반도체 재료를 사용한 RFID 태그 시제품이 개발되고 있으나, 상용화를 위해서는 성능 및 수율 등의 획기적인 개선이 필요하다. 또한, 메모리 분야는 극히 소수의 사업자만이 연구 진행 중이며, 소용량 메모리는 Thin Film Electronics 등에 의해 상용화되고 있으나 대용량 메모리 분야는 연구 수준이다.

〈표 4〉는 Logic/Memory 분야 주요 기관들의 동향을 보여주고 있다. 유기기반에서 가장 선도적인 사업자인 PolyIC는 2007년에 유기기반 64bits RFID

태그 개발에 성공하였으나, 성능 등의 이유로 아직 본격적인 상용화는 이루어지지 않고 있다. 또한, Silicon nanoparticle 기반 128bits RFID 태그 개발에 성공한 Kovio의 경우에도 RFID의 상용화는 지연되고 있다. 한편 국내에서는 파루가 순천대와 공동으로 탄소나노튜브 기반 4bits RFID 태그를 개발(2010년)하여 높은 기술력을 확보하였고, ETRI에서는 KRICT 과 공동으로 ZnO 전구체를 이용해 150°C의 낮은 공정 온도를 갖는 인쇄형 TFT를 구현하였으며[9], 고분자의 유기물 반도체 기반 TFT 제조에서는 $0.5\text{cm}^2/\text{Vs}$ 이상의 전하이동도를 보고한 적 있다[1].

Display 부품은 컬러필터와 같은 특정 공정/부품 대체에서 궁극적으로 전 공정/부품의 인쇄공정화가 예상된다. Display 분야에는 500개 정도의 기관들이 Display의 인쇄전자 기술 적용 연구에 참가하고 있고, LCD 양산공정 일부를 대체하는 인쇄공정이 적용되고 있으며, backplane의 TFT-array를 인쇄전자 기술로 제작하기 위한 재료, 소자 단계의 연구가 진행

〈표 5〉 Display 분야 주요 기관 동향

중점 분야	기술개발 및 상용화
삼성전자(한국)	LCD 컬러필터 및 액정배향막 형성에 잉크젯 기법 활용(2007년) - 용액형 산화물 반도체 기반 backplane 연구(2009년)
LGD(한국)	LCD 컬러필터 형성에 잉크젯 기법 활용(2009년) TFT mask 형성에 offset 활용(2010년)
샤프/소니(일본)	LCD 컬러필터 및 액정배향막 형성에 잉크젯 기법 활용(2007년)
DNP(일본)	Backplane 유기 TFT-array 제작하여 소형전자종이에 적용 연구(2008년) - 3인치급/흑백
PolymerVision(네덜란드)	Backplane 유기 TFT-array 제작하여 소형전자종이 시제품 출시(2007년) - 5인치급/흑백 - 현재 파산상태로서 매입자 물색중
PlasticLogic(영국)	Backplane 유기 TFT-array 제작하여 소형전자종이에 적용 연구(2008년)
HP(미국)	Backplane ZnO 기반 산화물 반도체 소자 연구 - 투명 디스플레이에 활용 가능
ETRI(한국)	Backplane 유기반도체 TFT-array 제작 연구 ZnO 기반 산화물 반도체 소자 연구 - 투명 디스플레이에 활용 가능

중이다. 특히, LCD 양산업체를 중심으로 원가절감을 위해 컬러필터, 액정배향막, TFT 회로 mask 형성 등의 일부 공정을 인쇄기술로 대체하려는 시도들이 이어지고 있다. 또한, 원가절감, 대면적화, 유연한 디스플레이 제작 등을 위해서는 backplane의 TFT-array 제작에 인쇄기술을 적용하는 것이 관건인데, 이를 위한 연구가 용액화된 산화물 반도체 재료 및 유기물 반도체 재료를 이용한 TFT 소자 제작 수준에서 진행 중이다.

〈표 5〉는 Display 분야 주요 기관 동향을 보여주고 있다. LCD 분야에서 가장 앞서있는 삼성전자와 LGD 등은 액정배향막, 컬러필터 등에 인쇄기법을 도입했으며, 용액형 반도체 기반 TFT 형성 연구 중이다. 네덜란드의 PolymerVision이라는 회사는 OTFT-array 기반 전자종이 시제품의 backplane을 인쇄기법으로 제작하여, 2007년 5인치급 유연한 전자종이 시제품인 radius를 출시하기도 하였으나, 2009년 파산하여 매입업체를 물색 중이다.

Photovoltaic 분야는 기존 전자소자로는 경제성이

떨어지나, 인쇄전자 기술로 경제성 부여가 가능할 것으로 판단된다. Photovoltaic 분야에서는 800여 개 기관들이 태양전지 제조에 인쇄공정을 적용시키기 위해 노력 중이며, 일부 상용화 제품 및 시제품이 출시된 상황이다. 태양전지의 경우 유기태양전지(OPV)가 물질의 다양성, 제조공정 용이성 등으로 인쇄공정 적용과 맞아 관련 시제품이 출시된 상황이며, 화합물 반도체 기반의 CIGS 무기 박막 태양전지에서도 관련 소재개발로 인쇄기법 적용을 위한 시도가 있다. 유기태양전지는 미국의 Konarka, 핀란드의 VTT, 일본의 Riken 등에서 상용화에 적극 앞장서고 있으며, CIGS 무기 박막 태양전지는 미국의 NREL이 2008년 19.9% 효율을 발표하는 등 세계 최고의 효율기록을 지속적으로 갱신하고 있다.

태양전지 분야의 주요 기관 동향을 살펴보면 〈표 6〉과 같다. 미국의 Konarka는 2004년 고분자 OPV 전지로 당시 최고의 기술(3~5%)을 가진 Siemens의 Brabec 팀을 인수하여, OPV 전지분야로 그 포트폴리오를 넓혀가고 있는데, 유기 폴리머 태양전지를

〈표 6〉 Photovoltaic 분야 주요 기관 동향

중점 분야		기술개발 및 상용화
Konarka(미국)	유기	- 유기 폴리머 태양전지를 R2R 공정 이용 제조 시연(2008년) - 유기 태양전지에서 앞선 기술력
VTT(핀란드)	유기	- 프린팅 기법 이용 고분자 태양전지 제작 - R2R 프린팅 프로세스 개발중
DNP(일본)	유기	- 2009년 유기 박막 태양전지 인쇄기술 사용 시험제작 - 태양전지 패널 대면적화 기술 개발
NREL(미국)	무기(CIGS)	- CIGS 태양전지 고효율화 연구(세계 최고) - CIGS 재료/물성 연구 등
화학연구원(한국)	유/무기	- 저가 고성능 박막 소재 기술 집중 개발
대양금속(한국)	무기(CIGS)	- R2R 타입 CIGS 태양전지 사업 참여
기계연구원(한국)	나노 소재 및 프린팅 시스템	- R2R 프린팅 시스템 및 나노 임프린팅 기술 개발 등 - 나노 소재 적용 태양전지 연구 수행중

R2R 공정을 포함한 다양한 프린팅 기법을 사용하여 플라스틱 시트에 코팅하여 만들고 있으며 2008년에는 잉크젯 인쇄를 이용하여 매우 낮은 비용으로 제조할 수 있는 유기 태양전지를 시연한 바 있다. 핀란드의 VTT는 프린팅 기법을 이용하여 4.6%의 효율을 나타내는 고분자 태양전지 제작하고 있는데, 2007년 1월 “the Finnish Funding Agency for Research and Innovation”의 자금을 받아 Ciba Specialty Chemicals와 공동으로 OPV 전지를 포함하는 유기전자 제품의 R2R 공정을 개발기로 하였다.

IV. 결론 및 시사점

인쇄전자는 생산공정의 혁신과 유기 전자 재료의 손쉬운 활용을 통해 전자 소자 및 부품 분야의 새로운 패러다임을 가져다 줄 것으로 예상된다. 인쇄전자 산업은 단순 공정 및 유해물질 저사용 등 기존 공정에 비해 환경친화적 특성이 있어, 최근 그린 테크놀로지 산업 트렌드와도 부합된다. 하지만 아직은 성능, 집적도, 내구성 측면의 한계로 단기적인 시장 형성은 지연되고 있다. 인쇄전자소자 시장의 미성숙에 따라 주요 응용분야별로 주도적인 사업자의 존재는 나타

나고 있지 않으며, 인쇄전자의 무한한 가능성으로 약 3,000개 이상의 기관들이 동 산업에 참여하고 있다. 2000년 이후 인쇄전자 소자 및 제품에 대한 연구들이 미국, 유럽, 일본을 중심으로 활성화되기 시작하였으며, 한국은 OTFT, OLED 기술 등 디스플레이 분야를 중심으로 연구가 시작되고 있지만, 짧은 역사와 주변 인프라 부족으로 기술개발에 뒤쳐진 상황이다. 인쇄전자는 새로운 응용분야 개척이 가능하고, 세계적으로 본격적인 시장형성 전 단계로, 한국의 경우 소재/부품분야의 경쟁력 확보를 위해 적극적 육성이 필요하다. 특히, 소재/부품분야의 경쟁력이 취약한 현 국내 전자산업의 현실을 타개하기 위해서는 인쇄전자 산업의 적극적 육성이 절실하다.

인쇄전자의 가치사슬 및 주요 응용분야별 현황을 살펴볼 때, Material 및 Printing Machine의 성능이 단기적인 병목이 될 것이며, 중장기적으로는 Design/Process를 통한 응용소자의 생산이 중요해질 전망이다. Material 분야의 경우 고성능 무기재료의 잉크화와 유기재료 성능의 획기적 개선이 요구되며, Printing Machine 분야는 정밀도 및 생산성의 혁신이 필요하다. Logic/Memory 및 Display 분야의 경우 유기 기반은 성능 개선 및 신뢰성 확보가 필요하

고, 무기 기반은 수율 향상 및 안정성 확보 등이 필요하다. Photovoltaic의 경우 효율, 내구성, 수율 향상을 위한 재료 및 공정 개발이 필요하다.

인쇄전자 산업의 발전을 위해서는 Material/Substrate, Printing Machine, Design/Process 각 분야들 간의 유기적인 협력을 통한 기술발전이 이루어져야 한다. Material/Substrate 분야는 성능이 우수한 유/무기 인쇄 재료 개발이 필요하며, Printing Machine 분야는 인쇄 정밀도 향상(수십 μm 에서 수 μm 로) 및 생산성 향상 등이 이루어져야 한다. IT와 직접 관련된 Design/Process 분야는 회로 설계 및 공정 기법 연구를 통한 분야별 응용소자/부품의 상용화를 위한 R&D가 요구된다.

● 용 어 해 설 ●

연속공정(Roll-to-Roll: R2R): 기재를 자르지 않은 상태 그대로 회전롤에 감아 인쇄하는 공법을 말하며, 기존의 기재를 잘라 가공하는 시트(sheet) 방식에 비해 정밀도는 낮으나 생산량 향상 및 원가 절감 등이 가능하고 유연하게 휘어지는 특성을 갖는 제품 생산에 적합함

Photo Lithography: 광식각법이라 불리며, Si 웨이퍼에 집적회로 패턴을 형성하는 공정임. 감광액을 Si 웨이퍼에 바른 후에 빛을 투과시키는 물질에 집적회로 패턴을 그린 photo mask를 이용하여 웨이퍼에 집적회로 패턴을 옮겨 그림. 에칭액을 이용하여 Si 웨이퍼에 그려진 집적회로 패턴 이외의 부분을 제거함으로써 웨이퍼에 photo mask와 동일한 패턴을 가진 반도체 회로를 형성함

전하이동도: 일정한 전압이 가해졌을 때, 반도체 내에서 전하(전자/정공)가 이동하는 정도를 나타내는 계수로서, 단위는 cm^2/Vs 이며, 통상적으로 높은 값을 나타낼수록 저전력, 고속, 고도집적성이 가능한 고성능 반도체 재료라 할 수 있음 (참고: 실리콘 기반 반도체의 경우 10~100, 유기반도체의 경우 10 미만의 값을 나타내는 것이 일반적)

약어 정리

BLU	Back Light Unit
DNP	Dai Nippon Printing
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
OPV	Organic Photovoltaic
PEN	Polyethylene Naphthalate
PET	Polyethylene Terephthalate
R2R	Roll-to-Roll
RFID	Radio Frequency Identification
TFC	Thin Film Conductor
TFT	Thin Film Transistor
WPM	World Premier Materials

참고 문헌

- [1] 유인규 외, “인쇄전자 기술동향,” 전자통신동향분석, 제24권 제6호, 2009. 12., pp.41-51.
- [2] 김성한, “인쇄 전자의 최신 기술 및 시장 동향,” KOSEN Reports, 2009. 4.
- [3] IDTechEx, “Printed, Organic & Flexible Electronics Forecasts, Players & Opportunities 2010-2020,” 2010.
- [4] 신기현 외, “롤투롤 인쇄기술을 이용한 전자소자 개발,” 기계저널, 2009. 4.
- [5] 이진호 외 3인, “플렉시블 디스플레이,” 전자통신동향분석, 제20권 제6호, 2005. 12., pp.48-61.
- [6] Kazutoshi Haraguchi, “機能材料,” 1999.
- [7] 윤성철 외, “인쇄전자소자: 고해상도 인쇄공정기술의 현황 및 전망,” *Polymer Science and Technology*, Vol.8, No.3, 2007.
- [8] 김봉진 외, “용액공정 산화물계 반도체 박막트랜지스터,” NICE, 제28권 제4호, 2010.
- [9] 백강준 외 4인, “인쇄전자회로 기술 및 동향,” 전자통신동향분석, 제25권 제5호, 2010. 10., pp.33-46.