

Flexible Printing Devices

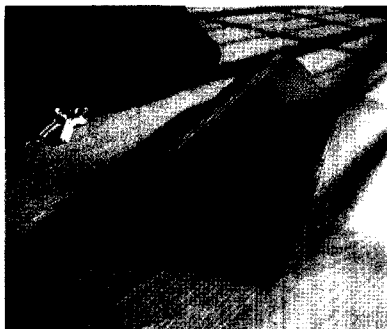
박성규, 김영훈, 김원근, 한정인(전자부품연구원)

I. Flexible Printing Devices의 소개 및 응용분야

아마 많은 사람들이 기억하지 못하거나 간과하고 있는 중요한 사실중 하나가, 우리나라가 세계 최초로 진정한 의미의 Printing 기술을 개발한 기술 선진국이었다는 사실이다. 아시는 바와 같이 직지심경은 현존하는 금속활자 중 세계에서 가장 오래된 것으로 서양의 최초 금속활자인 구텐베르크의 “42행 성경”보다 무려 70여 년이나 앞서 서지학적으로도 매우 귀중한 책이며 세계적 보물로 손꼽히고 있다. 아울러 우리나라의 금속 활자 기

술은 13세기 초기인 고려시대에 창안, 보급되었고 조선조로 계승하여 조선말기에 이르기까지 수많은 종류의 활자를 만들어 세계에서 그 유례를 찾아볼 수 없는 진정한 활자왕국을 이룩한 것이다.

활자 기술은 지난 수세기동안 정보 교환, 지식의 전수, 역사의 기술 등 인류의 발전에 지대한 공헌을 했고, 수많은 일자리를 창출해왔다. 예를 들어 현재 미국에서 Printing 분야는 제3의 산업분야로 연간 120만 명이 넘는 고용을 창출하고 있다¹⁾. 이러한 활자 기술이 세월을 돌고 돌아 Printing 기술이란 이름으로 이제는 각종 인쇄물을 넘어서 심지어 전자 제품 및 전자소자 등의 첨단 분야에까



〈그림 1〉 Flexible “IBM e-newspaper” touch panel이 내장된 Flexible 디스플레이로 향후 친숙한 종이 질감의 디스플레이와 플렉시블한 특성을 겸비한 제품으로 Printing 공정을 통한 제품 생산이 목표이다²⁾.

지 이르러 쓰이지 않는 곳이 없게 되었다. 특히 최근 몇 년간의 비약적인 IT 기술의 발전과 반도체, 디스플레이 기술의 결합은 우리사회로 하여금 유비쿼터스 시대로 진입할 수 있는 토대를 마련해 주었다고 할 수 있다. 이제 걸어 다니면서 TV나 영화를 감상하는 일은 과거 라디오를 들었던 것처럼 매우 일상적인 생활이 되었고 네비게이션 시스템은 자동차 안에서의 개인 영화관 및 정보 공유의 장을 실현시켜 주고 있다. 이와 같은 정보통신 및 정보기기의 발전으로 보다 큰 디스플레이 화면과 더 얇고, 더 가벼운 정보기기가 요구되고 있으며, 이러한 시대적인 요구에 따라 2000년대에 들어서부터 많은 학계와 기업들이 차세대 디스플레이 및 전자기기의 대안으로 대면적 공정이 용이하고 가볍고 얇으면서 내구성이 탁월한 Flexible Printing Displays를 연구해오고 있다.

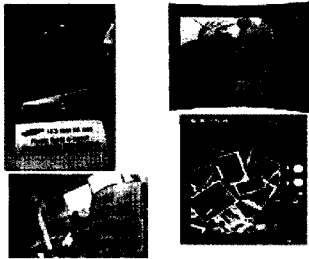
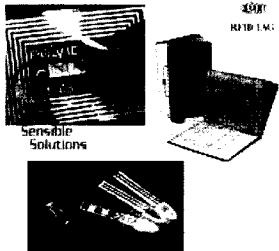
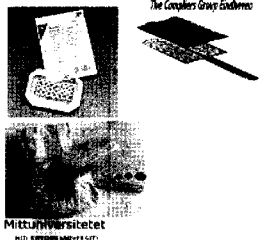
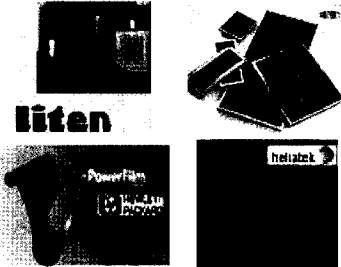
Flexible Printing Device 기술은 말 그대로 유연화(Flexible) 기술과 인쇄(Printing) 기술을 접목시킨 기술이다. 기존의 딱딱한 유리 기판 대신 고무처럼 유연한 재질의 플라스틱을 기판으로 사용하며 종이에 충전연색 신문을 찍어내듯이 고속의 연속 공정으로 패널을 제조하는 기술이다. 하지만 지금까지의 Flexible Printing Device/Display 연구가 이러한 차세대 제품의 태동기 및 연구 개발기였다면 향후의 1~2년은 이러한 기술이 진정한 산업체로의 이전 또는 제품생산에 직접 기여할 수 있는 기술적 전환점에 서있다고 할 수 있을 것이다. 이는 이러한 Flexible Printing Devices 기술이 산업의 최전선에 한걸음 다가섰다는 의미이기도 하고, 이제 우리 사회가 이러한 신기술을 실생활로 응용이 가능해지고 있다는 신호탄이기도 하다.

Flexible Printing Devices 기술은 앞서 서술한 장점들 이외에도 저가격화, 에너지 절감 효과, 그리고 친환경적 공정이라는 장점을 가지고 있다.

Philips사의 Michel Jongerius 박사에 따르면 Flexible Printing 공정은 기존의 디스플레이 및 반도체 공정에서 필수 불가결하였던 사진 식각 공정(Photolithography)을 거치지 않게 된다³⁾. 때문에 실제 제품 생산시 소모되는 비용의 약 30% 이상을 차지하는 소모성 재료비, 예를 들면 포토리지스트, 현상액, 에칭 용액 등의 비용을 절감할 수 있고 고가의 진공공정이 아닌 상압 공정을 통해 공정장비에 대한 비용 또한 절감할 수 있어 제품 생산 비용을 기존 공정에 비해 30~70% 이상을 줄일 수 있다. 특히 Roll-to-Roll(R2R) 공정에서는 모든 공정이 컨베이어 시스템으로 가능하여 인력의 절감 또한 가능하여 재료, 장비, 인력 등 생산단가를 결정하는 중요 3가지 요소의 절감을 통해 확고히 제품 생산 단가를 낮출 수 있다는 장점이 있다. 이러한 R2R 공정을 사용하게 되면 공정의 단순화와 유연한 기판을 공정에 응용할 수 있어 제품의 유연성의 확보 또한 용이하며 공정 시간의 단축을 통해서 에너지 절감 및 수율 향상을 가져올 수 있다. 환경적인 측면에서는 유해성 물질인 소모성 공정 재료, 예를 들면 에칭용액, 현상액등을 획기적으로 줄여 향후 주요 이슈인 친환경적인 기술로도 각광 받고 있다.

우선 시장 초기 제품군으로 분류되는 Flexible Printing Device의 초기 시장 형성 제품으로 가장 각광 받고 있는 것 중 하나는 E-paper인데, 이는 제품의 특성상, 비교적 큰 사이즈의 픽셀과 구동 속도 또한 기존의 동영상 구현이 주요 목적인 LCD나 OLED 등의 디스플레이에 비해 다소 여유가 있기 때문이다. IBM, Sony, Samsung, LG 등 국내외 대기업들은 초기 시장 형성 제품으로 E-Paper를 기존의 신문, 교과서, 각종 인쇄물을 대신할 대체로 개발하고 있으며, 향후 이의 시장성은 무궁무진하다고 할 수 있다. 그리고 설비 및 공정 단가

〈표 1〉 Flexible Printing Devices 기술을 이용한 초기 시장제품 및 주요 연구 기업

제품군	Flexible Printing Devices	
	개발 기업	시제품 및 개념도
E-paper	삼성, LG, Plastic Logic, Polymer IC, Polymer Vision, Sony 등	
RFID-tag	Plastic Logic, Polymer IC, Polymer Vision, Dupont, Motorola 등	
Smart dressing, blister, sensor,	3M, Dupont, Motorola, Philips 등	
Solar cell, Flexible 배터리	Dupont, Nokia, CEA, HP 등	

가 저렴하기 때문에 기술력을 갖춘 중소기업들의 참여 역시 활발할 것으로 예상 되는 분야이다. E-paper와 더불어 RFID-tag 역시 최근 가장 주목 받고 있는 분야중 하나로서 현재는 주로 안테나 및

수동 소자, 그리고 단순 주변 회로 등을 Printing한 제품에 Si 기반의 칩 등을 내장한 Hybrid 형태의 고성능 제품군이 예상하고 있다. 이들은 각종 식료품의 유통기한 및 제조 원산지의 표시소자로가

능하며 우편물, 소포 등의 운송 경로의 추적 표시 소자, 전자여권 등의 위조방지 및 인식 소자로의 활용도가 높을 것으로 예상되는 분야이다. 또한 RFID-tag 등과 유사하게 안테나 및 단순 회로, 센서 등이 내장된 플렉시블 전자밴드, 의약품 및 식품 전자 포장재 및 전자 캡슐로 의사와 환자간의 원격 진료 시스템을 현실화 시킬 수 있으며 1회성 소비재이므로 그 수요 역시 막대하리라 예상되며 향후 의료 및 진료 체계에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 예측된다. 또한 최근 급격한 유류가 인상으로 인해 에너지 절감 및 신재생 에너지 부분으로의 국내외적인 관심이 모아지고 있다. 특히 태양광 에너지의 경우, 일반 실생활에서의 접근이 용이하여 가장 유력한 대안으로 각광받고 있다. 사실 이러한 태양광 에너지 소자의 경우 낮은 생산단가 및 대면적에 적합한 Flexible Printing Devices 기술의 대표적인 주 목표 제품 중의 하나로 투자 대비 최적의 효율을 얻을 수 있는 제품 타겟 중의 하나이기도 하다. 이러한 초기 시장 제품군의 특성으로는 초저가 및 대량생산이 가능한 소모성 제품, 대면적화, 제품의 유연성 및 휴대성에 초점을 맞추고 있다.

세계적 시장 조사기관인 IDTechEx (2008. 06)의 조사에 따르면 2008년도 Flexible Printing Device의 시장은 약 \$16억(약 1.6조원)으로 예측되고 있으며 2018년에는 약 30배 정도 증가된 \$470억(약 47조원)으로 증가할 거라고 예상하고 있다³⁾. 이 조사에 따르면 2008년도의 Flexible Printing Device의 시장은 기존의 Printed Circuit Board(PCB), 전도성 잉크, Membrane Keyboard 등의 전통적인 Printing 방식으로 제작되어 온 시장을 중심으로 산정된 것이고, 2018년도의 시장 예측은 향후 이동 소자들을 탑재한 새로운 응용제품, 예를 들면 E-paper, RFID-tag, 태양광 소자 등의 시장을 포함

한 것으로 산정되었다. 이외에도 Printing 및 소재의 기술력이 향상되어 현재의 기술적 한계를 극복한다면 Flexible Printing Device의 응용분야는 기존의 Si 기반 제품이 점유하고 있는 Memory, 고집적 회로, 고효율 디스플레이 시장들을 점유하여 그 시장 성장 가능성은 현재 감히 예측하기도 어려울 정도이다. 이와 같은 시장 형성 예측에 따라, 2008년 후반기나 2009년도에는 Flexible Printing Devices 제품이 시장에 등장하기 시작할 것으로 예측된다. 또한 몇 가지 기술적인 한계로 인해 저효율, 소모성 휴대 제품 위주의 시장 형성이 될 것이며 향후 지속적인 기술 발전을 통해 점차 그 영역을 확대할 수 있을 것으로 전망된다.

II. Flexible Printing Devices의 국내외 기술 동향

Flexible Printing Devices 기술은 1990년대 후반부터 본격적인 연구가 시작되어, 현재 2008년 후반 또는 2009년을 시장 진입의 원년으로 삼고 있다. 이 기술은 처음 영국을 중심으로 유럽에서 태동하였고 미국과 일본에서도 거의 비슷한 시기에 본격적인 개발에 착수한 것으로 알려져 있다. 기술 개발 초기에는 진공 증착방식에 의한 유기 반도체 소자 개발에 집중을 하여, 유럽의 경우 영국의 Cambridge 대학의 Cambridge Display Technology(CDT)에서 고분자를 이용한 OLED 기술을 선보였고, 미국에서는 펜실베이니아 주립대학의 Thomas Jackson 그룹에서 펜타센(Pentacene)이란 유기 반도체의 진공 증착 기술로 당시에는 놀라운 트랜지스터 성능을 보고하여 유기 반도체 소재의 가능성을 전 세계에 알렸다. 하지만 개발 초기의 유기 반도체는 대부분 진공 증착방식을 이

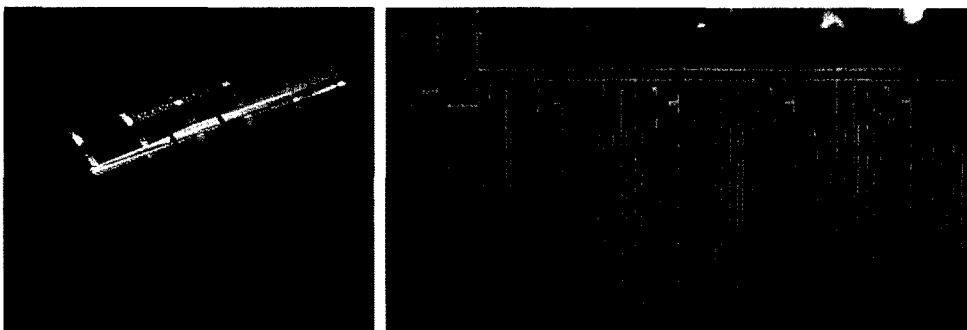
용함으로써 저가격화라는 시대적 요구에 부응하지 못하는 기술이었고, 곧바로 비 진공 증착방식을 이용한 유기반도체 소자 기술 개발의 요구에 직면하게 되었다.

이후 영국 Cambridge 대학의 Cavendish lab의 Friend 교수 그룹에서는 고분자를 이용한 액상 유기 반도체 소자에 대한 연구결과를 발표하였고 이후 액상 유기 반도체 소재에 대한 관심이 고조되었다. 유럽에서는 Philips, Cambridge 대학, Poly IC, PETeC 등의 기관 주도로 유기 반도체 재료를 이용한 Printed Electronics 연구가 활발히 진행되고 있으며 주로 전자종이와 RFID 등의 구동 소자 및 회로 개발에 역량을 집중하고 있는 것으로 알려져 있다. 일부 벤처 기업에서는 2008년 말경 Si 기반의 소자와 Printing 기술을 접목한 제품의 첫 상용화를 시도할 것이라 발표하였고, 특히 Eastman Kodak과 Xerox와 같은 기존의 Printing 및 재료 대기업들은 이 기술을 미래 대체 기술로 선정, 전력을 다하고 있는 실정이다. 또한 Intel, IBM과 같은 기존의 Si 기반의 전자제품 업체들도 Flexible Printing Devices에 대한 연구를 활발히 진행하고 있는 것으로 알려져 있다. 일본은 기업 및 연구소를 주축으로 Flexible Printing Devices에 대

한 연구를 활발하게 진행하고 있으며, 유기 반도체 재료를 이용한 Ink-Jet 방식의 소자, 그리고 이를 이용한 플렉서블 디스플레이와 대면적 센서 소자 등에 대한 기술 개발이 진행 중에 있다.

최근 미국, 유럽 및 일본에서는 이러한 차세대 디스플레이 및 차세대 반도체 소자 개발을 위해 Flexible 전용의 디스플레이 연구센터를 설립하여 미래 기반 기술 개발을 진행하고 있다. 미국의 경우 에리조나 주립대 내에 산학연 중심의 Flexible Display Center를 설립하였으며, Flexible Display 및 Printed Electronics에 대해 집중적인 투자와 연구가 진행 중에 있다. 유럽에서는 Philips, Nokia 등이 참여하는 FlexiDis Project 컨소시엄을 구성, 전자종이 및 유기반도체 소재 개발에 박차를 가하고 있다. 또한 일본 및 대만은 정부 중심의 연구소(조합)에 집중 투자하여 새로운 신 개념 Display 및 전자소자 개발에 전념하고 있다. 이들의 공통된 점은 모두 새로운 개념의 첨단 디스플레이 연구소를 설립, 미래 기반형 디스플레이와 더불어 향후 Si 기반 제품을 대체할 수 있는 초저가 고효율의 디바이스에 대한 연구를 진행 중이라는 것이다.

국내에서는 산업구조의 특성상 이러한 a Flexible Printing Devices의 기술 개발은 주로 디스플레이



〈그림 2〉 Flexible Printing 방식을 이용한 유기 TFT 기반의 Integrated Circuits⁴⁾

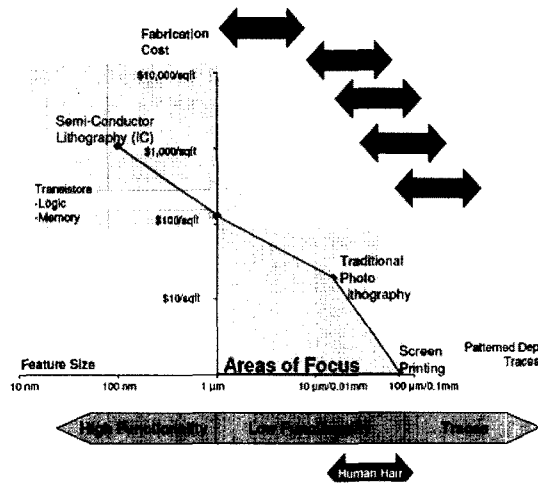
부분에서 시작하였고 향후에도 디스플레이의 응용이 가장 크다고 할 수 있다. Printing Device 부분의 원천 소재의 부재라는 악조건 속에서도 정부의 적극적인 지원과 국내의 디스플레이 및 반도체 기술 및 기 구축된 인프라로 2000년대 중·후반 들어서는 많은 학계와 연구소, 기업들이 우수한 연구 성과들을 발표하였고 일부 기업에서는 초기 생산 제품을 양산하려는 움직임을 보이고 있다. 삼성과 LG에서는 해마다 열리는 세계적인 평판 디스플레이 전시 및 학회에서(SID) 독보적인 기술력을 바탕으로 최첨단의 Flexible Display를 발표하는 등 산업화로의 접근에 있어서는 일본과 더불어 가장 근접해 있다는 평을 받고 있다. 이러한 국내의 우수한 기술 개발 결과 및 노력에도 불구하고 유럽 및 일본의 기술과 비교해 볼 때 아직까지 국내의 기술 수준은 원천 기술 및 소재 개발에 있어 여전히 격차를 드러내고 있다.

<그림 3>은 최근 유럽에서 개최된 Printed Electronics 2008에서 세계적인 소재 회사인 Dupont 사는 Printed Electronics 시장 및 기술 전망을 보여주고 있다¹⁾. 현재 Printing 방식을 통한 소자의 기술 수준은 수십~수백 마이크로 크기 대의 매우 초기 단계로 \$10/sqft.의 초저가 소모성 혹은 저효율 제품 단계이며, 시장의 목표 역시 이러한 특성을 지닌 제품군으로 형성되어 있다고 발표하였다. 이는 현재 Printing 기술력과 소재의 한계 때문에 기존의 Screen Printing, Ink-jet, 혹은 부분적 Roll printing 기술 또는 전통적인 식각 기술을 혼용한 복합적인 방법으로 기술 개발이 이루어지고 있기 때문이다. 그러나 점진적으로 Printing 및 소재 기술의 개발로 인해 보다 발전된 방식의 프린팅 공정으로 전환될 것이고, 기존 공정으로는 \$1,000/sqft. 혹은 \$10,000/sqft.로 제작되는 Si 기반의 제품들을 대체하여 \$10/sqft.의 초저가 제품 제

작을 가능토록 하고, 소자의 크기도 수 마이크로 혹은 수백 나노미터까지의 미세한 Printing 공정도 가능하리라 예상된다.

III. Flexible Printing Devices의 향후 전망

그렇지만 현재까지의 기술로는 전(全) Printing 공정을 통한 제품 제작은 어려운 실정이다. 비록 빠른 동작속도를 요구하는 제품이 아니라도 모든 공정에 Printing 방식을 적용하기에는 아직도 기술적 한계가 있기 때문이다. 최근 들어 Printing이 가능한 반도체 소재로 많은 기업들과 연구기관들이 유기반도체를 지목했고, 현재 놀라운 속도로 성능 향상이 이루어지고 있지만 아직도 유기 소재의 경우 열적, 내환경적 불안정성과 비교적 낮은 전자(정공) 이동도로 인해 고성능 제품의 구동 회로 또는 구동소자로도 사용이 가능한 지에 대한 많은 검증이 필요한 단계이다. 또한 Printing 공정의 핵심이라 할 수 있는 Sheet-to-sheet(S2S) 혹은 Roll-to-roll(R2R) 공정을 위해서는 장비의 정밀도, 각종 전극 및 소자의 소재 및 균일도 문제 역시 해결해야 할 부분이다. 또 다른 중요한 문제점중의 하나는 기관 관련 부분인데, 예를 들면 현재 Flexible Printing Devices는 주로 Flexible한 특성을 가지며 저가이면서 고효율을 보여주는 Plastic 기판을 이용하고, 때때로 금속 박판(Metal Foil)을 사용하는 방법도 제시되고 있지만 현재까지는 Plastic 기판의 사용이 일반적이라 할 수 있다. 이러한 Plastic 기판의 경우, 내열성, 수분 및 산소 등의 차단 특성이 기존의 실리콘, 유리, 금속 박판 기판들과 비교했을 때 현저히 떨어지는데, 이는 곧 바로 Flexible Printing Displays의 특성 저하는 물



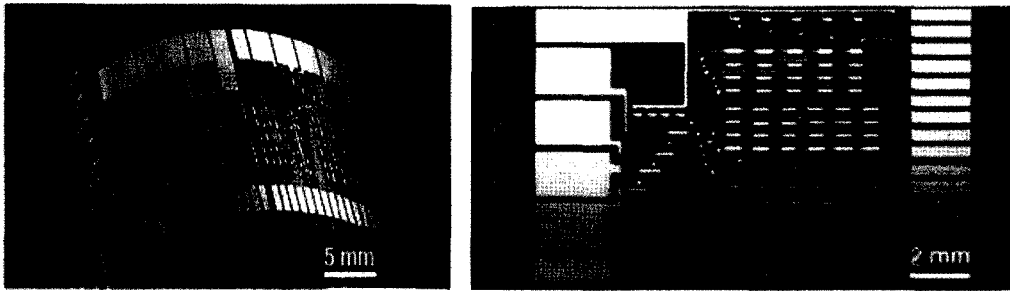
〈그림 3〉 Flexible Printing Devices의 제품 타겟 및 성능^[5]

론 신뢰성 문제와도 직결되기 때문이다.

이러한 여러 가지 기술적인 문제점으로 Flexible Printing Displays의 초기 시장 접근 방식은 크게 세 가지로 분류될 수 있다. 첫째로, 동작 회로 등의 능동소자를 전혀 사용하지 않는 전(全) printing 공정 제품인데, 이 경우 비록 성능은 떨어질 수 있지만 적절한 사용처의 선택에 따라 효율적인 제품으로 그 효과를 발휘할 수 있을 것이다. Chipless RFID는 이 방식의 좋은 예로 반도체 Chip을 사용하지 않기 때문에 제조비용을 50% 이상 줄일 수 있어 현재 바코드 수준의 초저가로 위조 방지 및 무선 인식 제품을 제작하기에 적합하다. 두 번째는 아주 작은 크기의 Si chip과 Printing 된 배선 및 소자의 적절한 융합 사용을 예로 들 수 있는데, Si 기반 칩의 적절한 사용으로 제작단가는 줄일 수 있으면서 동시에 정밀한 제어와 정확한 특성이 요구되는 고효율 및 의료용 소모성 제품에 적용할 수 있다. 마지막으로 전(全) Printing 공정을 통해 동작회로 등의 능동소자 및 Logic, 배선, 수동소자들을 제작하는 All Flexible Printing Devices이다.

Flexible Printing 능동소자의 경우 아직 Si 기반의 능동소자에 비해 그 성능이 현저히 떨어지므로 직접적인 비교는 어려운 실정이나, 적절한 사용처를 찾을 수 있다면 현재의 능동 소자의 특성으로도 효율적인 성능을 발휘할 수 있으리라 생각된다. 예를 들면 현재 유기능동소자를 이용한 회로의 속도는 수백에서 수MHz의 구동 속도를 보여주고 있고 이는 자동차용 RFID제품 및 전자종이 디스플레이와 같이 높은 구동 속도를 요구하지 않는 디스플레이의 경우 구동 회로의 일부로도 사용 가능하다.

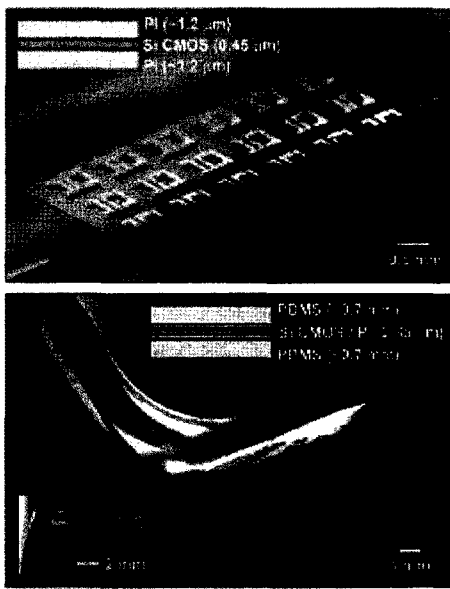
최근 미국 및 일본을 중심으로 기존의 Flexible Printing Devices 기술의 한계를 극복하기 위한 일환으로 기존의 유기 반도체의 성능 향상에 대한 꾸준한 연구개발과 더불어 이를 대체할 새로운 Printing 공정이 가능한 반도체(산화물 반도체, 액상 Silicon, CNT)를 이용한 Flexible Printing Displays 기술에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 특히 미국의 일리노이 주립대학교의 John Roger 교수는 기존의 단결정 실리콘 재료의 전사 방식



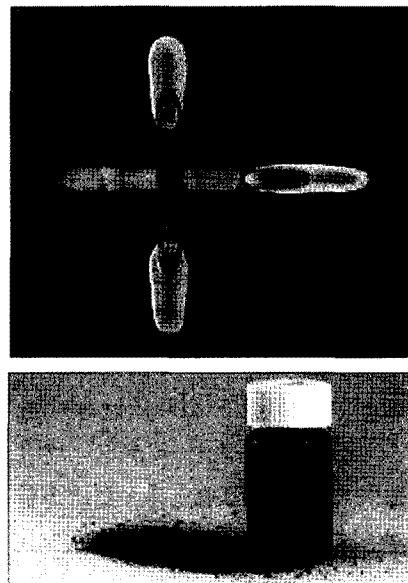
〈그림 4〉 Flexible Printing 방식을 이용한 CNT 기반의 Medium Scale Integrated Circuits^[6]

및 탄소나노 튜브를 이용한 고효율 Flexible Printing Devices를 개발을 통해 이들의 군사적 산업적 용도의 센서 및 집적회로에 이용하고 있으며^[6], 펜실베이니아주립대학교의 Thomas Jackson 교수는 Printed ZnO를 이용한 전 Printing 고효율 Display 및 고집적회로 개발을 진행 중인 것으로 알려져 있다^[8]. 또한 일본의 Seiko-Epson과 미국의

MIT로부터 분사한 KOVIO사는 액상 Si을 이용한 저온 트랜지스터를 제작하여 전자 이동도가 기존의 다결정 실리콘 트랜지스터에 근접한 결과(80 cm²/v-s)를 발표하고 있다^[9]. 이러한 국외의 산업 동향 중 주목할 만한 것은, 점차 유기 반도체 재료 방식을 탈피한, 새로운 Printing 공정이 가능한 반도체를 이용한 Flexible Printing 기술 개발도 동시



〈그림 5〉 Printing 방식을 이용한 단결정 Si TFTs 집적 회로^[7]



〈그림 6〉 Inkjet 방식의 단결정 Si TFT^[9]

에 주력하고 있다는 점과 향후 roll-to-roll 공정을 위한 비진공방식의 재료의 증착 공정을 연구하고 있다는 점이다.

국내의 경우에는 많은 기업, 연구소, 학교 등에서 ink-jet을 이용한 비유기 전극과 유기 반도체의 Printing 방식에 집중하고 있는 실정이며, 최근 상압 Plasma를 이용한 몇몇 중성 이온 증착방식의 시도가 진행되고 있는 것으로 알려져 있다. 하지만 아직은 디스플레이용 소자 개발에 집중하고 있는 실정이며 향후 도래 할 Si 기반의 전자부품을 대체 할 Flexible Printing 회로기술이나 재료, 장비 등의 개발에는 미흡한 실정이다. 앞서 제시한 바와 같이, 최근 제시되고 있는 차세대 Flexible Printing Devices의 기술 개발 방향은 유기 반도체와 더불어 Printable 비유기 반도체 소재 개발을 통한 소자의 특성 향상과 향후 Si 기반 및 기존 공정 제품을 전 Flexible Printing Devices 제품으로 대체하여 소비자들에게 기존의 디스플레이 및 디바이스 동일한 혹은 더 우수한 성능을 보이면서 보다 가볍고 대형화된 화면과 탁월한 내구성을 가진 진정한 의미의 차세대 디스플레이 및 디바이스 제품을 선보이고자 하는 것이다. 이러한 결과를 얻기 위해서는 단순히 Flexible Printing 기술뿐만 아니라 나노, IT, 바이오 기술등과의 연계도 반드시 필요하며 이들과의 연계를 통해서 시너지 효과를 극대화시킬 수 있으리라 생각된다. 서두에서 서술한 바와 같이 우리는 세계 최초로 진정한 의미의 Printing 기술을 개발한 기술 선진국이었고 이미 타고난 Printing 기술력을 잠재하고 있다. 따라서 지난 수십 년간 우리가 일구었던 디스플레이, 반도체 산업의 첨단 기술력을 발판으로 차세대 성장 동력이라고 일컬을 수 있는 Flexible Printing Devices 기술을 선점하여 플렉시블 디바이스 코리아로 세계 속에 각인 될 수 있는 발판을 마련 할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] The portal to the graphic arts industry. "What Is Print as an Information Technology?" www.gain.org/servlet/gateway/printIT/main.html
- [2] IBM Strategic Design Group, www.ibm.com
- [3] Printed Electronics Europe 2008, "The global market for printed electronics" 10.00, 2008
- [4] D. J. Gundlach, J. E. Royerl, S. K. Park, "Contact induced crystallinity for high performance soluble acene-based TFTs and circuits", *nature materials*, 7, 216, 2008,
- [5] Printed Electronics Europe 2008, "Dupont microcircuit materials in printed electronics" 8.13, 2008
- [6] Q. Cao, H. Kim, N.Pimparkar, J.A. Rogert, "Midium scale carbon nanotube integrated circuits on flexible plastic substrates", *nature*, 454, 495, 2008
- [7] D. Kim, J. Ahn, W.M.Choi, J.A. Rogert, "Stretchable and foldable silicon integrated circuits ", *science*, 320, 507, 2008
- [8] D.A.Mouery, S.K.Park, S.Subramanian, J.E.Anthony, and T.N.Jackson, "Enhanced solution-based organic film growth" *Electronic Materials Conference (EMC), USA*, p. 41, 2008
- [9] <http://www.kovio.com/technology.html>

저자소개



박성규

1991년 경희대학교 전자공학과 학사
 1995년 경희대학교 전자공학과 석사
 2007년 The Pennsylvania State University,
 Electronic Materials and Devices, 박사
 1997년-2003년 전자부품연구원 선임연구원
 2007년-2008년 Eastman Kodak (U.S.A)
 2008년-현재 전자부품연구원 책임연구원

주관심 분야 : Flexible Printing Devices, Organic
 Electronics, Metal Oxide Devices,
 Flat Panel Displays



김영훈

1999년 서울대학교 재료공학부 학사
 2001년 서울대학교 재료공학부 석사
 2001년-현재 전자부품연구원 선임연구원

주관심 분야 : 풀렉서블 디스플레이, 박막 트랜지스터,
 태양전지



김원근

1986년 고려대학교 금속공학과 학사
 1989년-1995년 삼성전자 반도체연구소 연구원
 1996년-현재 전자부품연구원 수석연구원

저자소개



한정인

1983년 연세대학교 금속공학과 학사
 1985년 한국과학기술원 재료공학과 석사
 1989년 한국과학기술원 재료공학과 박사
 1989년-1992년 삼성전자 반도체연구소 선임연
 구원
 1992년-현재 전자부품연구원 수석연구원