

# 플라스틱 일렉트로닉스 기술 동향

Technology Trend of Plastic Electronics

## IT 융합 · 부품 기술 특집

구재본 (J.B. Koo)

유기전자소자팀 선임연구원

유인규 (I.K. You)

융합부품기술전략팀 책임연구원

서경수 (K.S. Suh)

유기전자소자팀 팀장

조경익 (K.I. Cho)

신소재/소재그룹 그룹장

## 목 차

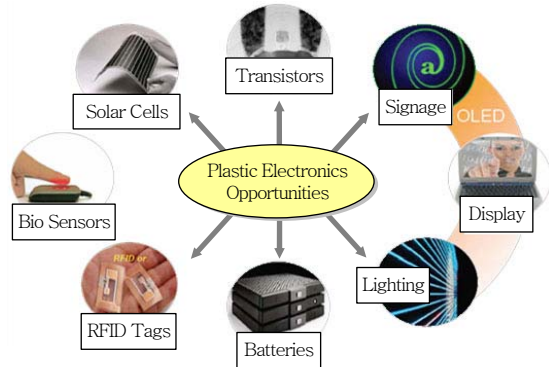
- .....
- I. 서론
  - II. 플렉시블 디스플레이 기술
  - III. 플라스틱 센서 기술
  - IV. 플라스틱 RFID 기술
  - V. 플라스틱 융합 부품 기술
  - VI. 시장 전망
  - VII. 결론

플라스틱 전자 소자(plastic electronics) 기술은 저가격의 프린팅 공정이 가능한 플라스틱 소재를 이용하여 초경량 초박형의 깨지지 않는 전자 소자를 제작하는 기술로서, 차세대 유비쿼터스 IT 기기 구현에 적합한 차세대 반도체(post-Si 반도체) 기술로 MIT 공대 선정 10대 유망 기술 및 IDC의 10년 내 세상을 바꿀 9가지 신기술로 선정될 정도로 IT 융합부품 기술 분야의 차세대 유망 기술로 크게 각광 받고 있다. 현재는 플라스틱 전자 소자는 Si 기반 전자 소자의 보완적인 기능에 머무르고 있으나, 플라스틱 소재/소자/공정의 개발이 진행됨에 따라 응용 분야가 점차 확대되고 있다. 본 기고문에서는 대표적인 플라스틱 전자 소자인 유기 박막 트랜지스터(OTFT)의 주요 응용 분야로 플렉시블 디스플레이, 플라스틱 센서, 그리고 플라스틱 RFID 기술을 중심으로 기술 개발 연구 동향 및 시장 전망에 대해 기술하였다.

## I. 서론

플라스틱 전자 소자 기술이란 소자의 구성 요소를 기존의 Si 및 무기물 소재에서 유기물 소재로 대체하여 부가적인 특성과 다기능을 얻는 전자 소자 기술이다. 이 기술은 유기 반도체 박막 트랜지스터(OTFT) 기술로 대변된다. 유기 반도체의 대표적인 특징은 반도체적 특성을 띠고 있지만, 기본적으로 유기물이라는 것이다. 유기 반도체도 고분자를 포함한 다른 유기물처럼 용매에 녹고, 온도를 높이면 증발하며, 구부러도 전기적 성질이 변하지 않고, 가벼우면서도 충격에 강하다는 장점이 있다. 유기 반도체는 상온이나 100°C 이하의 온도에서 잘 결정화되기 때문에 박막 제조시 기판의 온도를 높일 필요가 없다. 그리고 고분자나 녹을 수 있도록 설계된 단분자 유기물의 경우 용매에 녹인 후 필요한 곳에도 포하고 다시 용매를 증발시켜 막을 만들더라도 원료 물질의 전기적 특성은 크게 변화하지 않는다. 따라서 유기 반도체 잉크를 만들어 다양한 인쇄 방법을 이용하여 값싸게 박막을 형성할 수 있다.

유기물은 반도체뿐만 아니라 도전성 고분자, 절연체 등 넓은 전도성 영역에서 폭넓게 존재하고 필요에 따라 원하는 기능을 갖는 소재로의 합성이 쉽다는 장점이 있다. 또한 유기 전자 소재는 기존의 Si 반도체 전자 소재에 비해 가벼우며 유연한 소자의 성질을 부여해 줄 수 있다는 잠재적 장점들과 진공 증착 및 패터닝 장비를 사용하지 않아도 되므로 저



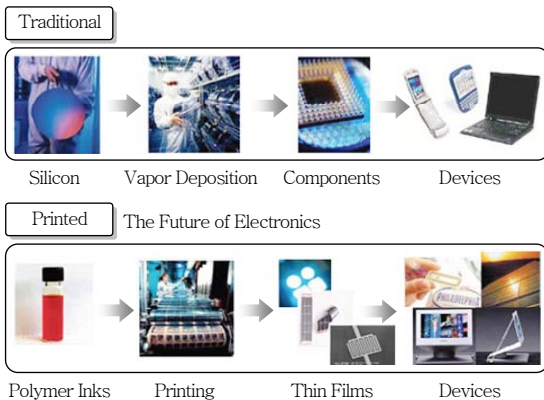
(그림 2) 플라스틱 전자 소자의 다양한 응용 예

가격화 및 대면적화가 가능하다는 제조 공정의 장점들이 있다(그림 1) 참조[1]. 이와 같은 장점들을 극대화 할 수 있는 플렉시블 디스플레이, 플라스틱 센서, 플라스틱 RFID, 플렉시블 전원 장치 등 다양한 분야에서 차세대 전자 소자 기술로 플라스틱 전자 소자가 활발히 연구되고 있다(그림 2) 참조[2].

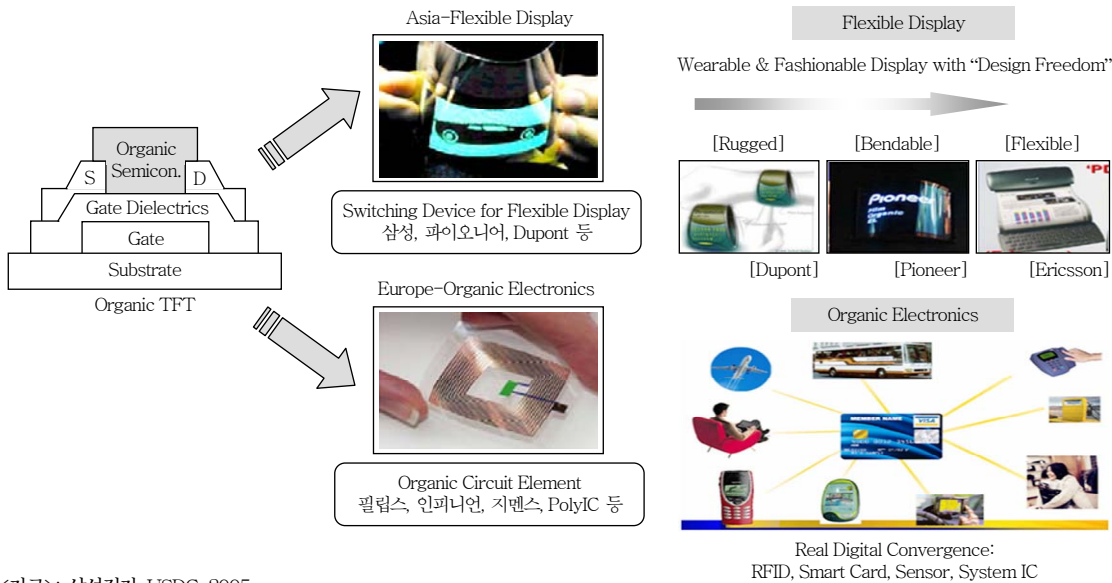
## II. 플렉시블 디스플레이 기술

### 1. 개요

플라스틱 전자 소자 기술 중 OTFT 기술은(그림 3)에 나타난 것과 같이 크게 두 가지 관점에서 연구가 진행되고 있다. OTFT를 플렉시블 디스플레이의 구동 소자로 사용하여 구부러거나 접을 수 있는 디스플레이를 구현하고자 하는 연구 개발은 삼성, 파이오니아, LG, 소니 등의 아시아권 디스플레이 업체에서 차세대 디스플레이 기술로 활발히 연구하고 있고, RFID, 스마트 카드, 센서 등의 전자회로의 응용은 Philips, Siemens, Infineon 등 유럽권 전자 회사에서 활발히 연구되고 있다. 두 기술은 근본적으로 추구하는 연구 방향에서 약간의 차이를 보인다. 디스플레이용 구동 소자 관점에서는 균일하고, 저가격의 대면적 소자 제작을 위해 노력하고 있으며 유기 전자 회로 연구에서는 회로 구동 주파수 향상을 위한 트랜지스터 특성(이동도) 향상 및 트랜지스터 사이즈 감소를 통한 집적화를 위해 매진하고 있다.



(그림 1) Si 소자와 플라스틱 소자의 비교



<자료>: 삼성전자, USDC, 2005.

(그림 3) OTFT의 주요 응용 분야

기존의 평판 디스플레이(flat panel display)의 특성을 그대로 유지하면서 종이와 같이 휘거나, 구부리거나, 말 수 있는 얇고 유연한 기판 위에 제작되어 가볍고 깨지지 않는 튼튼한 디스플레이를 플렉시블 디스플레이(flexible display)라고 정의할 수 있다. 플렉시블 디스플레이는 유연한 기판부, 구동 소자부, 발광 표시부, 그리고 봉지부로 구성되며 각 기술들의 조합에 따라 다양한 종류의 디스플레이가 가능하여 디스플레이 크기, 해상도, 성능들도 매우 다양한 기술 분야이다. 플렉시블 디스플레이는 차세대 입출력 정보처리 부품이 간편하고 휴대 용이한 특성을 요구하므로, rugged display에서 conformable display, 더 나아가 foldable display로 기술이 발전할 것으로 예상되고 있다[3].

## 2. 플렉시블 디스플레이 구동 소자 기술 동향

디스플레이의 픽셀 스위치 소자로는 폴리 실리콘 TFT, 비정질 실리콘 TFT, 산화물 TFT 등 다양한 종류의 TFT가 사용되고 있으나, 플렉시블 디스플레이의 스위치 소자로는 OTFT가 가장 적합한 것으로 판단되어 활발히 연구되고 있다. <표 1>은 플렉시블 디스플레이 구동 소자로 사용되는 여러 종류의 TFT에 대한 특성들을 요약한 것이다. 유기 반도체의 경우 AMLCD 평판 디스플레이에서 사용되는 a-Si TFT 구동 소자와 비교하여 이동도 특성이 필적할 만하고, 굽힘 환경에서의 신뢰성이 우수하여 플렉시블 디스플레이를 위한 가장 이상적인 구동 소자

<표 1> 플렉시블 디스플레이 구동 소자 비교

구동 소자	특징
a-Si TFT	- TFT-LCD에서 확보된 기술, 낮은 이동도 0.5~1cm <sup>2</sup> /V·s - 일반적 공정 온도 300°C, 150°C a-Si TFT도 가능
Poly-Si TFT	- 높은 이동도 40~100cm <sup>2</sup> /V·s, CMOS, PMOS 모두 가능 - 일반적 공정 온도 450~600°C, ~150°C LTPS TFT도 가능
OTFT	- 낮은 이동도 0.01~1cm <sup>2</sup> /V·s, 100°C 이하 낮은 공정 온도도 가능 - 잉크젯, 저가 인쇄 공정 등 Printing Technology 적용 가능
Oxide TFT	- 공정온도 < 250°C, 이동도 10~30cm <sup>2</sup> /V·s
TFT Transfer	- 전이 방법 이용, Seiko-Epson, Sony, Philips에서 개발

로 인정되고 있다. 플렉시블 디스플레이 구동 소자 개발의 주요 이슈는 플라스틱 기판 위에 공정을 안정적으로 진행하기 위한 저온 공정 개발, 안정적이고 균일한 이동도 및 문턱전압 특성 확보이다. <표 2>는 현재까지 발표되고 있는 국내외 우수 기관의 OTFT 특성치를 비교한 것이다. 국외는 3M, Penn State University, Bell Lab 등에서 활발히 연구하

고 있고, 국내는 ETRI를 비롯하여 경희대, 동아대, 삼성 종합 기술원 등에서 연구하고 있다.

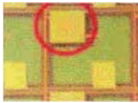
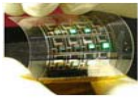



### 3. 플렉시블 디스플레이 발광 소자 기술 동향

플라스틱 기판 위에 앞 절에서 설명한 디스플레이

<표 2> 국내외 기관별 OTFT 구조 및 특성치 비교

Research Centers	Substrate	Materials	Dielectric	Metal Contact	Mobility (cm <sup>2</sup> /V·s)	I <sub>on</sub> /I <sub>off</sub>	Threshold Voltage(V)
3M	Si	Pentacene	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		5.0		
Penn State U.	Si	Pentacene	SiO <sub>2</sub>	Pd	2.0	10 <sup>8</sup>	0.0
Lucent Tech.	Glass	Oligothiophene	Kapton	Au	0.5	10 <sup>5</sup>	16
Philips	Polyimide	PTV	PVP	PVD	3×10 <sup>-4</sup>	10 <sup>5</sup>	-5
Cambridge U.	Si	Polyacetylene	SiO <sub>2</sub>	Au, Al	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>5</sup>	
Mitsubishi	Si	Polyacetylene		Au	10 <sup>-5</sup>		-13
Bell Lab	Si	C60		Au/Cr	0.08	10 <sup>6</sup>	-2.7
CNRS	Glass	a-6T	PMMA	Au	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>7</sup>	
ETRI	PES	Pentacene	PVP	Au	2.6	10 <sup>5</sup>	-5.0
Dong-A U.	Si	Pentacene	SiO <sub>2</sub>	Au	0.5	10 <sup>7</sup>	-1.0
Kyung Hee U.	PES	Pentacene	PVP	Au/Cr	1.8	10 <sup>8</sup>	-7.5
SAIT	Glass	Pentacene	SAIT/GI	ITO	7.0	10 <sup>6</sup>	-8.2

<표 3> OTFT 구동 능동 플렉시블 디스플레이 개발 현황

Company	Images	Structure	Organic Semicon.	S/D Electrode	Gate Insulator	TFT Performance	Size and Applications
Sony (2004)		Bottom Contact	Pentacene	Ti/Au (SAM)	SiO <sub>2</sub>	μ=1.1cm <sup>2</sup> /V·s I <sub>on</sub> /I <sub>off</sub> =10 <sup>6</sup>	2.5inch (160×120) 76dpi, mono color AMLCD
NHK (2004)		Bottom Contact	Pentacene	Au/Cr	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	μ=0.4cm <sup>2</sup> /V·s I <sub>on</sub> /I <sub>off</sub> ~10 <sup>4</sup>	(4×4) pixels PC AMOLED
Pioneer (2004)		Bottom Contact	Pentacene	Au/Cr	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (HMDS)	μ=0.2cm <sup>2</sup> /V·s I <sub>on</sub> /I <sub>off</sub> =10 <sup>5</sup>	(8×8) pixels Ir(ppy) <sub>3</sub> as dopant AMOLED
Hitachi (2004)		Bottom Contact SALSA	Pentacene	Ag Ink	SiO <sub>2</sub>	NR I <sub>on</sub> <10 <sup>6</sup> Passivation	1.4" inch 80×80(80ppi) AMLCD
SEC (2005)		Bottom Contact	Pentacene	ITO	SAIT/GI	μ=0.3cm <sup>2</sup> /V·s I <sub>on</sub> /I <sub>off</sub> ~10 <sup>6</sup>	15" full color XGA 1024×768 AMLCD

이용 구동 소자를 형성하고 그 상부에 발광 소자를 배치하면 플렉시블 디스플레이가 완성된다. 발광 소자부는 LCD, OLED, EPD, ECD 등 발광 방식에 따라 다양한 종류의 디스플레이가 가능하다. 본 기고문에서는 능동 구동 플렉시블 디스플레이로 가장 이상적인 조합인 OTFT 구동 AMLCD와 AMOLED 기술에 초점을 두고 동향 분석을 실시하였다.

<표 3>은 OTFT를 픽셀 구동 소자로 이용하여 AMLCD나 AMOLED를 시연한 결과들을 요약한 것이다. NHK, Pioneer 등에서 OTFT가 OLED의 구동 소자로 활용 가능성을 시연하였으며 Sony, Hitachi, 그리고 삼성 전자에서는 OTFT로 구동하는 LCD 디스플레이 개발을 성공한 바 있다. 특히 최근에 Sony에서는 2.5인치급 OTFT 구동 플렉시블 풀 컬러 OLED 디스플레이(102×160 해상도)를 개발하여 휘거나 접은 상태에서 동영상을 완벽하게 구현한 바 있다. ETRI에서는 차세대 디스플레이 개발 과제를 통해 2005년 2인치급 176×144 해상도의 모노 컬러 OTFT 구동 AMOLED를 개발하였으며, 현재는 4인치급 176×144 해상도의 풀 컬러 OTFT 구동 AMOLED를 개발하고 있다.

### Ⅲ. 플라스틱 센서 기술

#### 1. 개요

본 절에서는 OTFT 센서에 대한 최근 연구 동향과 관련 이슈들에 대해 다루고자 한다. 앞 절에서 설명하였듯이 유기 반도체를 IT 분야에 사용하고자 하는 연구는 1990년대 이후 활발히 진행되어 플렉시블 디스플레이의 구동 소자 및 RFID 소자 분야에서 상용화를 위한 연구가 진행중이다. 유기 반도체는 기존의 Si 반도체가 갖지 못하는 저가격, 저온 공정 가능성, 가벼움, dimension flexibility, roll-to-roll 공정 가능 등의 많은 장점이 있고, 최근 차세대 디스플레이로 각광 받고 있는 OLED 발광 기술과의 적합성이 높아 구동 소자로서 많은 관심을 받고 있다. 유기 반도체의 이와 같은 장점은 최근 센서 소자 분

야에도 적용되기 시작하였다. 대기나 수중에 존재하는 화학적 성분을 탐지할 수 있는 기술은 이미 존재하고 있지만 Si 반도체를 이용한 경우 가격이 너무 비싼 단점이 있어 일반적으로 사용되지 못하고 있다. 이를 극복하기 위해 새로 연구되고 있는 유기 반도체 기반 센서는 다양한 종류의 유기 반도체를 이용해서 대기중이나 수중에 존재할 수 있는 독성 물질을 탐지할 수 있다. 유기 반도체 트랜지스터는 대기나 수분 또는 화학적 성분에 노출될 경우 그 기능이 점차적으로 저하된다. 성능의 저하는 기능을 상실하는 단점이지만, 이와 같은 특성을 이용해서 화학적 센서를 만들 수 있다. 각각의 센서는 다양한 화학적 물질에 고유하게 반응한다. 이 기술을 발전시켜 단백질/DNA 센서 등의 바이오 센서로의 응용도 충분히 가능하다.

최근 신시네티 대학에서는 임상 진단 lab-on-chip 기술에도 저가용 plastic-based disposable smart 기술을 도입하기 위한 연구를 시작하였고 [4], 뉴욕 시립대에서는 electronic nose라는 개념을 도입하여 유기 반도체를 적절하게 변형하여 바이오 물질과 반응시키는 연구를 시작하였다[5]. 바이오 칩이나 센서 분야에서는 기존의 고기능 소자뿐만 아니라 저가격의 일회용 제품에 대한 요구가 발생하고 있고, 이를 충족시키기 위한 연구가 국내는 전무한 상태이지만, 미국 등 선진국에서는 이미 시작된 상태이다. 유럽에서는 이탈리아의 TIRES, 벨기에의 IMEC, 프랑스의 ESPCI, 스웨덴의 ITN 등에서 유기 반도체를 이용한 화학 센서에 대한 기초 연구를 시작하였고, 미국의 Bell Lab.과 Cornell University에서 유기 반도체를 이용한 가스 센서에 대한 결과를 발표한 바 있다.

OTFT 센서는 지난 5년간 여러 연구 그룹들의 성과에 의해 많은 발전을 이룩하였다. 1980년대 OTFT 구조에서 휘발성 분자들이 소스-드레인 전류를 변화시킨다는 것이 보고된 이래, bottom-gate OTFT가 센서 소자의 기본 형태로 자리잡았다. 또한 게이트 바이어스를 조절함으로써 센싱 능력을 향상시킬 수 있다는 것이 제안된 이후, OTFT는 다변

수 센서(multiparametric sensor)의 역할도 하게 되었다. 반응 물질과 유기 반도체 간의 반응은 유기 박막의 전기전도도, 전계 효과에 의한 채널 전기전도도, 문턱전압, 전계전도도 등에 영향을 주어 동시에 많

은 정보를 제공하기 때문이다[6]. <표 4>에 플라스틱 센서와 기존 실리콘 센서의 장단점을 비교하였다.

## 2. 플라스틱 센서 세계 기술 현황

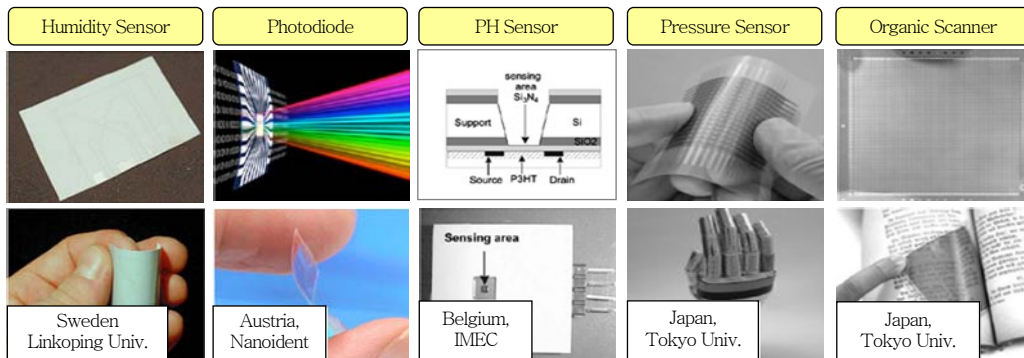
플라스틱 센서의 세계적인 기술 동향을 살펴 보면 아직 기초 연구 단계의 수준을 넘지 못하고 있다. 가스 센서/화학 센서/바이오 센서로의 응용 가능성에 대해 논문 연구 수준에서 진행중이다. 유럽에서는 이탈리아, 독일, 프랑스, 스웨덴 등에서 화학 센서로서의 응용을 연구중에 있고, 미국에서는 Bell Lab. 등에서 화학 증기 센서로의 응용을 연구중이다 (<표 5> 참조). (그림 4)는 플라스틱 센서의 대표적인 연구 결과들을 정리한 것이다. 스웨덴 Linköping 대학에서는 습도 센서, 오스트리아 Nanoident 사에서는 photodiode, 벨기에 IMEC에서는 PH 센서, 그리고 일본의 동경 대학에서는 스캐너 및 인공

<표 4> 플라스틱 센서와 Si 센서 장단점 비교

구분	특징
플라스틱 센서	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Large sensing area(up to 50cm×50cm)</li> <li>- Application-specific sensor substrate (e.g. glass, PET)</li> <li>- Strongly curve sensor surface</li> <li>- Flexible and bendable sensor</li> <li>- Ultra thin sensor(&gt;100μm)</li> <li>- Low weight sensor(1g/cm<sup>2</sup>)</li> <li>- Optically transparent sensor</li> <li>- Customized sensitivity</li> <li>- Integrated light source</li> <li>- Disposable sensor</li> <li>- Low cost</li> </ul>
Si 센서	<ul style="list-style-type: none"> <li>- High sensitivity and selectivity</li> <li>- Good reliability and life-time</li> </ul>

<표 5> 플라스틱 센서 형태별 연구 동향

센서 형태	연구 기관	적용 범위
Gas 센서	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ESPCI(프랑스)</li> <li>- Bell Lab.(미국)</li> <li>- Maroran Ins. Tech.(일본)</li> <li>- Cornell University(미국)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- OTFT 구조에서 1000ppm의 N<sub>2</sub>O 검출함</li> <li>- Humidity 검출 가능함</li> <li>- Ozone 검출 가능함</li> <li>- Multi-parameter용 sensor 개발(H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 등의 혼합 gas 적용)</li> </ul>
Chemical 센서	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IMEC(벨기에)</li> <li>- TIRES(이탈리아)</li> <li>- ESPCI(프랑스)</li> <li>- ITN(스웨덴)</li> <li>- Tokyo University(일본)</li> <li>- Ching Hwa University(중국)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alcohol vapor sensor 개발</li> <li>- 1-Phentanol, alcohol 검출 가능함</li> </ul>
Bio 센서	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ESPCI(프랑스)</li> <li>- Liverpool University(영국)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Glucose와 mannose 이동도 실험</li> <li>- Biotin 이용 avidin 검출</li> </ul>



(그림 4) OTFT 센서 연구 동향

피부용 압력 센서로의 OTFT 이용 가능성을 활발히 연구하고 있다. 플라스틱 센서 상용화를 위한 요구 기술 수준은 가스 센서 → 화학 센서 → 바이오 센서로 갈수록 높아진다. 화학 및 바이오 센서에서는 CHEMFET 기술을 적용해야 하고 용액 속에서도 특성 저하 없이 구동할 수 있도록 패시베이션과 인캡슐레이션 기술이 동시에 개발되어야 하기 때문이다.

### 3. 플라스틱 센서 국내 기술 현황

국내는 아직 초기 기술 탐색 단계이며 유기 반도체 소자를 이용한 센서 응용 분야는 활발하게 연구되지 못하고 있다. 유기 반도체 소자 자체를 중심으로 ETRI, 삼성 종합 기술원, 경상대, KAIST, 홍익대, 연세대, 동아대, 서울대 및 한국 화학 연구원 등에서 이루어지고 있으나 아직 독창적인 유기물 소재를 합성한다거나 센서 특성을 평가하는 연구는 활발하게 진행되지는 못하고 있고, 최근에 ETRI에서 유기 반도체를 이용한 바이오 센서의 기초 연구를 착수하였다.

### 4. 플라스틱 센서 관련 업체 동향

2005년 말 오스트리아 Linz의 Nanoident는 세계 최초로 유기 반도체 센서 생산을 위한 plant를 설립했으며, Nanoident는 폴리머 기반 포토 디텍터를 생산할 예정이다. 또한 최근 유럽에는 ISOTEC라는 컨소시엄이 구성되어 플라스틱 센서를 상용화하기 위한 원천 기술 연구가 활발히 진행중이다. Comfortable and wearable 플라스틱 센서는 사람의 건강 상태를 지각하거나 화학 오염 물질이나 혹은 다른 관심 있는 정보에 대한 인지도를 높이게 될 것이며, 농업이나 식료품업에서 식물이나 동물 혹은 농장 생산물의 지속적인 모니터링도 가능하게 한다. 또한 인류는 공기나 물의 오염을 on-line control 하고 싶어한다. 하지만 불행히도, 현재의 Si 기반 센서의 능력과 나날이 증가되는 인류의 요구 사이에는 큰 갭이 존재한다. 이 갭을 극복하기 위한 최초의 상

용화가 오스트리아의 Nanoident에 의해 준비중인 데 집적된 광전소자를 위한 유기 반도체의 응용을 시작으로 유기물 플라스틱 센서의 영역을 점차 넓혀 나갈 계획이라고 한다.

## IV. 플라스틱 RFID 기술

### 1. 개요

플라스틱 RFID가 연구되고 있는 가장 큰 이유는 낮은 제조 비용 때문이다. Si 단결정을 이용하고 고온 증착하는 절연체와 도체를 사용하는 Si 기반 RFID에 비해 프린팅 가능한 유기물 용액을 이용하는 플라스틱 RFID는 가격을 획기적으로 낮출 수 있을 것으로 많은 사람들이 기대하고 있다. 특히 Si RFID 태그는 기판, 태그 IC, 안테나가 패키징에 의해 부착되어야 하는데, 플라스틱 RFID의 경우 roll-to-roll process가 가능하여 안테나와 태그 IC를 기판 상에 동시에 형성 가능하기 때문에 패키징에 대한 비용도 절감할 수 있다.

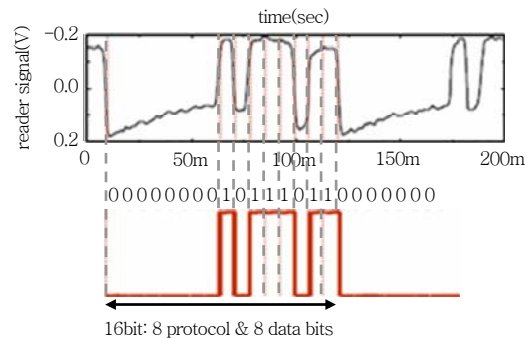
플라스틱 RFID는 가격 경쟁력에 대한 장점이 있지만 기술 개발 속도나 현재의 기술 수준을 고려하면 부정적인 측면도 많이 있다. 우선 플라스틱 RFID의 긍정적인 측면을 살펴보면 안테나와 IC가 동시에 제작된다는 사실, 제품 패키징에 대한 직접 인쇄 가능성, 싼 가격과 다양한 기판 사용 가능성 등을 들 수 있다. 한편 부정적인 측면으로는 현재의 기술 개발 속도와 수준을 들 수 있다. 동시에 많은 라벨들을 읽어 들일 수 없고, 수명이 한 달도 안되며, 최대 인식 속도가 10/sec 정도이고, 최대 인식 거리가 수 cm라는 사실 등이 큰 문제점으로 지적될 수 있다. 즉 다시 말해 아직도 여전히 연구 수준에 지나지 않고 있다. 아마도 상용화 및 시장 진입을 위해서는 10년 이상 걸릴 수 있다는 주장도 제기되고 있다. Philips는 6년 전에 폴리머 일렉트로닉스를 이용한 RFID IC를 만드는 반도체 회사를 설립하였으나 아직 연구 개발 활동이 진행중에 있다.

현재 시장에서 가장 싼 태그는 약 20센트 정도이다. 실리콘 기반의 태그는 5센트 이하로는 불가능하다. 1센트 혹은 더 낮은 가격은 item level tracking에서는 반드시 달성되어야만 하는 가격이다. Fully printable 방법을 사용한 플라스틱 RFID만이 1센트의 가격을 만족시킬 수 있다고 생각된다. Si RFID의 경우 현재는 pallet 수준에서 tracking하고 있는데 향후에는 printed 태그를 이용한 item-level tracking이 가능할 것으로 기대하고 있다. 그리고 item-level tracking에서 가장 장점을 보이는 것은 인식 거리나 환경에 대한 저 민감도 등에서 13.56MHz 대역이다. 세계 선진 연구 기관에서 13.56MHz 플라스틱 RFID 기술 개발에 매진하고 있는 이유가 이에 있다.

## 2. 플라스틱 RFID 세계 연구 동향

### 가. PolyIC사 기술 개발 동향

PolyIC사는 독일의 전자 회사 Siemens 지분 49%와 프린팅 회사 Kurz 지분 51%로 만들어진 joint venture 회사이며 현재 세계에서 가장 활발하게 유기물 플라스틱 RFID를 연구 개발중에 있다. 그들이 제시하는 printed RFID 로드맵을 살펴 보면 2005년에 13.56MHz를 시연하고 2006년에 프로토타입을 발표하고 2008년부터는 간단한 응용 제품을 출시하고 2010년부터는 EPC를 제품화한다고 발표하고 있다. 다시 말하면 2010년에는 13.56MHz의 96bit를 제품화하여 item-level tracking을 하고자 하는 것이다. 기관으로는 주로 polyester를 사용하고 소스/드레인 및 게이트 전극으로는 polymer 재료, 나노 재료, 금속 등을 사용하고 있고 반도체 재료로는 P3AT를 주로 사용한다. 게이트 절연막 역시 PolyIC가 자체 개발한 polymer blend 기반의 재료이며 구조는 staggered TFT 이다. 정류 회로에서 사용되는 다이오드는 Schottky diode 타입이다. 그들이 개발한 OTFT의 소자 특성은 mobility는 약  $0.02\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ,  $I_{\text{on}}/I_{\text{off}}$ 는  $10^5$  이상, threshold vol-



(그림 5) PolyIC 제작 13.56MHz 플라스틱 RFID

tage는  $-4\text{V}$ , 그리고 subthreshold slope은  $2\text{V}/\text{dec}$ 이다. 이 특성은 10개월 후에도 열화가 관찰되지 않을 정도로 안정하다고 한다. 그리고 그들은 Schottky 타입의 rectifier를 상용하여 13.56 MHz 이상에서 AC가 DC로 변환되는 것을 확인하였고, RFID의 전원부는 13.56MHz 이상으로 동작하는 특성을 확보하였다. Input이  $\pm 15\text{V}$  AC 13.56MHz 일 때 output은 DC 6V 이상이였다. 이와 같은 특성을 확보하기 위해 저가 프린팅 공정에 photolithography 공정이 추가된 것으로 판단된다. 2004년에 처음으로 제작된 full printed ring oscillator는 1Hz 정도의 주파수가 얻어졌으나 최근에는 600kHz 이상의 ring oscillator도 보고한 바 있다. (그림 5)는 이상과 같은 소자 특성들을 기반으로 demonstrator를 제작한 것이다. 7.5cm 인식 거리를 가지는 8bit 13.56MHz RFID였다. 이 시작품은 0.1sec의 read time, 3 months 정도의 수명 특성을 보여주었다[7].

### 나. OrganicID사 기술 개발 동향

OrganicID는 주로 CMOS를 이용한 ring oscillator 제작을 진행하고 있다. 그들은 3.2kHz의 구동 주파수 특성을 얻을 수 있었다. 정류 회로는 bridge 타입의 정류 회로를 사용하였고 이를 이용해  $\sim 20\text{MHz}$ 까지 정류를 성공적으로 수행할 수 있었다. 이외에도 CMOS 기반 D flip-flop를 제작하여 shift register로의 사용 가능성을 연구하고 있다[8].



다. IMEC사 기술 개발 동향

IMEC는 벨기에에 있는 반도체 기반 회사로 organic electronics에 대한 연구를 꾸준히 수행해오고 있다. 특히 그들은 RF 신호를 받아 inductively coupling 시킨 후 AC를 DC로 정류하는 정류 소자에 대한 특성을 주로 다루었다. 정류 회로에 사용되는 다이오드에는 OTFT with shortened drain-gate 구조와 organic Schottky 다이오드 구조의 2가지가 있다. 이 2가지 구조의 특성을 비교해 보면 일반적으로 organic Schottky가 차지하는 공간이나 특성면에서 우수하였다. Schottky contact 하는 전극(Al)과 ohmic contact 하는 전극(Au) 사이에 유기 반도체를 증착한 구조로 반도체의 두께가 매우 얇고, 또한 적당한 표면 처리를 하면 50MHz까지 정류가 가능하다고 보고하였다. 그들은 고순도를 가지는 pentacene을 이용하여 high SCLC mobility를 얻었고 다결정 입자 모양 제어를 통해 높은 주파수에서 정류 특성을 얻을 수 있었다고 한다. 50MHz 정류 특성은 유기 재료를 이용한 가장 높은 주파수에 대한 특성을 보여주고 있다. 이들의 결과를 고려하면 플라스틱 RFID에서 13.56MHz 수신에는 전혀 기술적인 문제가 없는 것으로 판단된다[9].

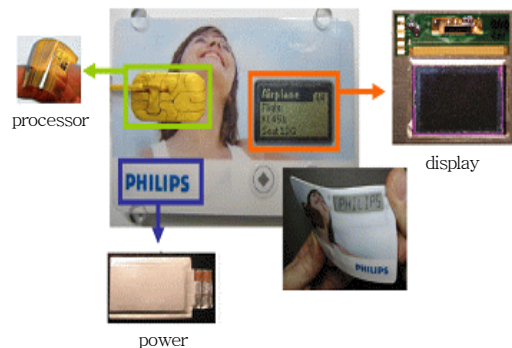
3. 플라스틱 RFID 국내 연구 동향

경희대에서는 2005년 말에 이동도  $0.6\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ,  $I_{\text{on}}/I_{\text{off}} 10^7$ , 그리고 threshold voltage  $-5\text{V}$  OTFT를 이용하여 PMOS bootstrapped inverter 구조를 이용하여 11-stage pentacene ring oscillator를 발표하였다. 그들의 oscillator 특성은 3~10.4kHz였고,  $15\mu\text{s}$  delay time per stage를 나타내었다. Bootstrapped inverter를 사용한 것이 특징적인데, 일반적인 enhancement type inverter에 bootstrapped capacitor를 형성하여  $V_{\text{out high}}$ 의 값을  $V_{\text{DD}}$ 로 내려 swing 폭을 좋게 하는 역할을 수행하게 하기 위해 적용하였고, 이 결과는 국내에서 발표된 유기 전자 회로 중에서는 가장 좋은 특성이라 판단된다[10]. 순천대에서는 초저가 플라스틱 RFID 태

그 제조를 위한 플라스틱 IC 인쇄 기술(잉크젯)을 주로 연구하였고, 2005년 10월경 ~13.56MHz 구동 가능한 플라스틱 RFID 개발 성공이란 발표를 하였다. 현재의 세계적인 수준을 고려할 때 ring oscillator의 구동 주파수는 약 30~60kHz 정도의 수준인 것으로 판단된다. 특히 그들은 저가의 all ink-jet printing 공정에 주력하고 SWNT 트랜지스터를 프린팅 기법으로 제작하는 연구를 수행중이며 (쥘파루와 공동 연구를 진행하고 있다. (쥘파루에서는 RFID 설계와 회로를 담당하고 있다. 국내에서 가장 활발히 RFID를 연구하고 있는 그룹이라 할 수 있다[11].

V. 플라스틱 융합 부품 기술

최근에는 플렉시블 디스플레이, 플라스틱 센서 등의 플라스틱 전자 소자의 단 부품 연구를 벗어나 이들 기술을 융합한 IT 부품에 대한 연구가 태동되고 있다. 플라스틱 u-IT 융합 부품 기술로는 초기 단계의 smart card가 1998년 Siemens와 Covion 사에 의해 시연된 이래로, 2005년 Philips에 의하여 디스플레이, 메모리/로직, 전지가 집적된 비주얼 스마트 카드(visual smart card)가 시연되었다(그림 6) 참조). 그리고 최근 일본에서는 플라스틱 IT 융합 부품에 대한 concept generation을 시도하고 있다. 플라스틱 전자 소자 기반으로 차세대 플라스틱 스마트 IOP를 개발하고자 하는 준비가 ETRI에서



<자료>: Philips, 2005.

(그림 6) 비주얼 스마트 카드 실례

현재 진행중이며 이 기술은 DMB, WiBro 등 모바일 단말기기에 초경량, 초박형의 큰 화면과 신기능 서비스를 가능하게 할 것이며, 이 밖에 wearable IT 기술 등 미래 IT 기술을 선도할 와해성 기술이다.

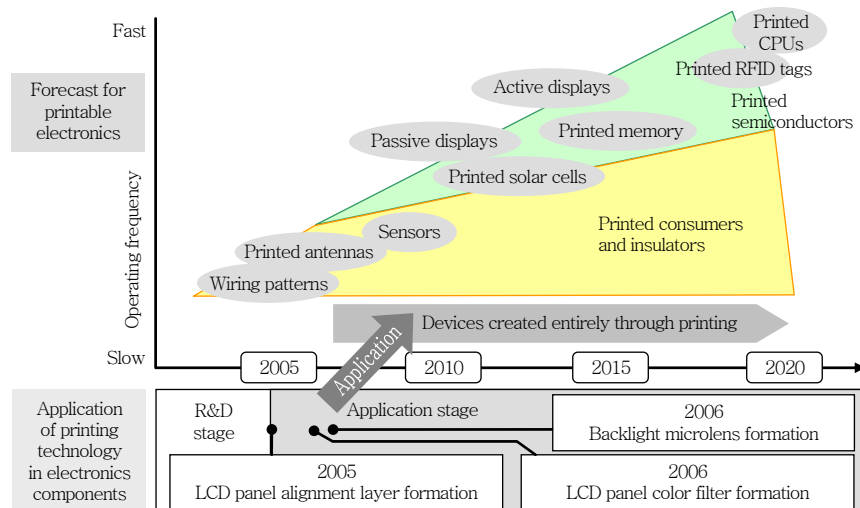
## Ⅵ. 시장 전망

니케이 일렉트로닉스에서 2007년 보고한 플라스틱 전자 소자의 기술 개발 로드맵을(그림 7)에 나타내었다. 이동도 및 주파수 특성이 크게 향상되는 2020년 이후에는 플라스틱 CPU를 비롯하여 대부분의 Si 기반 소자를 대체할 것으로 예측하고 있다. 이 시점에서는 wearable 컴퓨터나 두루마리 컴퓨터의 실제 구현이 가능할 것으로 예상된다. 플라스틱 전자 산업 분야는 2007년부터 시장이 형성되어 점진적인 성장을 이루다가 기술이 성숙될 2013년에는 170억 달러, 2025년에는 2,759억 달러로 급격한 시장 성장이 예측되고 있다(출처: IDTechEx). 또한 iSuppli사의 2006년 예측 자료와 Nanomarkets사의 2007년 예측 자료에 의하면 플라스틱 디스플레이의 시장 규모는 2012년 약 300억 달러에 달하고, 플라스틱 RFID가 45억 달러, 플라스틱 전원 장치가 17억 달러, 플라스틱 센서가 12억 달러,

조명 분야 6억 달러, 기타가 10억 달러로 예측되고 있다[12].

## Ⅶ. 결론

앞 절의 플렉시블 디스플레이, 플라스틱 센서, 플라스틱 RFID 기술 개발 동향에서 살펴보았듯이 플라스틱 전자 산업 분야는 15년 후에 Si 전자 산업 분야를 대체할 차세대 소재/소자 기술로 전세계적으로 활발히 연구되고 있다. 첫번째 상용화는 OLED 분야에서 이미 일어나고 있고, 향후 몇 년 안에 OTFT 구동 소자를 채택한 플렉시블 디스플레이가 시장에 선보일 것으로 예측된다. 플라스틱 센서의 경우 가스/화학/바이오 분야에서 다양하게 연구되고 있으나 아직은 연구소 수준의 원천 연구에 지나지 않으며, 플라스틱 RFID의 경우 유기 반도체를 이용할 경우 logic clock frequency가 현저히 떨어지는 기술적인 문제를 안고 있지만 short channel OTFT 특성 확보/고이동 특성 확보/저전압 구동 특성 확보 등의 기술 개발이 병행될 때 그리고 이러한 기술 개발이 roll-to-roll이 가능한 저가격형 printing 기법으로 구현될 때 머지 않아 item-level tracking을 플라스틱 RFID로 구현할 수 있을 것으로 기대된다. 본 기



<자료>: Nikkei Electronics, 2007. 3.

(그림 7) 플라스틱 일렉트로닉스 기술 로드맵

고문에서는 다루지 못했지만 플라스틱 전자 소자가 가지는 고유한 장점인 대면적/저가격이라는 잠재적 장점을 극대화시킬 수 있는 플라스틱 공정 기술에 대한 기술 개발이 아직 미비한 실정이다. 공정 및 장비 개발에 대한 연구도 반드시 병행되어야 플라스틱 전자 소자의 상용화 시기가 앞당겨 질 수 있고 시장 진입에 성공할 수 있을 것으로 판단된다.

선진국들은 플라스틱 일렉트로닉스 원천 기술 개발을 위해 정부 주도 연구 개발을 현재 활발히 수행 중이다. 미국의 경우 플렉시블 디스플레이가 2000년대 초 MIT 공대 10대 유망 기술로 선정된 이후 국방성의 지원 하에 플라스틱 전자 소자 상용화 센터를 운영하며 체계적으로 플렉시블 디스플레이 및 플라스틱 전자 소자 원천 기술 확보에 주력하고 있다. EU의 경우 플라스틱 디바이스 클러스터를 형성하여 유기 전자 소재/소자 관련 원천 기술을 확보중이며 일본의 경우 2005년 유기 반도체 소자의 기술적 발전 방안을 제안하고 NEDO 프로젝트 수행을 통해 유기 반도체 전자 소자 상용화 전략을 수립한 바 있다.

플라스틱 일렉트로닉스 기술은 전기, 전자, 반도체, 자동차, 항공 우주, 기계(정밀 부품) 등 다양한 산업에 혁신적 변화를 초래하여 국가 산업 발전 및 고부가가치화의 열쇠가 될 미래 유망 기술이며 향후 고도 산업화될 미래 사회에서 인간 친화적인 특성을 바탕으로 사회적, 문화적 패러다임의 변화가 기대되므로 플라스틱 일렉트로닉스 관련 원천 기술 확보 및 핵심 부품 소재의 상용화에 대한 정부 주도의 체계적인 지원과 관심이 절실히 필요하다.

● 용 어 해 설 ●

**비주얼 스마트 카드(Visual Smart Card):** 카드형 디스플레이, 박막형 전지 및 RF 소자들이 집적된 스마트 카드

**플라스틱 스마트 IOP(Input/Output Platform):** 얇고 가벼우며 깨지지 않는 플라스틱 기판상에 디스플레이 이외에 RF/로직 소자, 센서 등의 신기능을 집적한 초경량·초박형의 모듈로서, 다양한 모바일 기기에 탈부착되어 I/O(입출력) 플랫폼 기능을 수행하는 차세대 입출력 장치

## 약 어 정 리

AMLCD	Active Matrix Liquid Crystal Display
AMOLED	Active Matrix Organic Light Emitting Diode
BCB	Benzocyclobutane
CHEMFET	Chemical Sensitive Field-Effect Transistor
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
ECD	Electrochromic Display
EPC	Electronic Product Code
EPD	Electrophoretic Display
FPD	Flat Panel Display
HMDS	Hexamethyldisilazane
IOP	Input/Output Platform
ITO	Indium Tin Oxide
LTPS	Low Temperature Poly Silicon
OTFT	Organic Thin-Film Transistor
P3AT	Poly(3-Alkylthiophene)
PES	Polyethersulfone
PET	Polyethylene Terephthalate
PMMA	Poly(methyl methacrylate)
PTV	Poly-Thienylene-Vinylene
PVD	Physical Vapor Deposition
PVP	Polyvinylphenol
RFID	Radio Frequency Identification
SAM	Self Assembled Monolayer
SCLC	Space Charge Limited Current
SWNT	Single Wall Carbon Nano Tube

## 참 고 문 헌

- [1] Andrew Hannah, "A World Leader in Active Layer Technology for Printed Electronic Devices," *Flexible Displays & Microelectronics Conference & Exhibit*, Phoenix, Arizona, USA, Feb. 5-8, 2007.
- [2] Maidhof, "The Next Electronics Renaissance and the Role of a Versatile Vacuum Coater for Flexible Electronics," *Flexible Displays & Microelectronics Conference & Exhibit*, Phoenix, Arizona, USA, Feb. 5-8, 2007.
- [3] Steve Yeon-Gon Mo, "Technical Issues in Commercializing Flexible Displays," *Korea Display Conference*, KINTEC, Korea, June 26-28, 2007.

- [4] Chong H. Ahn, J. Choi, G. Beaucage, J.H. Nevin, J. Lee, and A. Puntambekar, "Disposable Smart Lab on a Chip for Point-of-Care Clinical Diagnostics," *Proc. of The IEEE*, Vol.92, No.1, 2004, pp.154-173.
- [5] Homepage of Center for Advanced Technology in Ultrafast Photonics at New York City University, [http://www.cunyphotonics.com/tech\\_opps.htm](http://www.cunyphotonics.com/tech_opps.htm)
- [6] Luisa Torsi and Ananth Dodabalapur, "Organic Thin Film Transistor as Plastic Analytical Sensors," *Analytical Chemistry*, 2005, pp.381A-387A.
- [7] Walter Fix, "13MHz RFID Transponders Based on Polymers," *Organic Electronics Conference*, Frankfurt, Sep. 25-27, 2006.
- [8] Klaus Dimmler, "Printed RFID Technology," *Organic Electronics Conference*, Frankfurt, Sep. 25-27, 2006.
- [9] J. Genoe, S. Steudel, C. Rolin, K. Myny, S. De Vusser, S. De Jonge, and P. Heremans, "Challenges for Rectification in In-line Produced Organic 13.56MHz RFID Tags," Frankfurt, Sep. 25-27, 2006.
- [10] S.H. Han, S.M. Cho, J.H. Kim, J.W. Choi, J. Jang, and M.H. Oh, "Ring Oscillator Made of Organic Thin-film Transistors Produced by Self-organized Process on Plastic Substrate," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.89, 2006, pp.93504-93506.
- [11] 조규진, 송재희, 정민훈, 양희택, 이복임, 김선희, "초저가 플라스틱 RFID Tag 제조를 위한 플라스틱 IC 인쇄 기술," *고분자과학과 기술*, 제 17권 1호, 2006, pp.27-37.
- [12] Lawrence Gasman, "The Other Flexibility: Flexible Electronics Markets Outside of the Display Industry," *Flexible Displays & Microelectronics Conference & Exhibit*, Phoenix, Arizona, USA, Feb. 5-8, 2007.