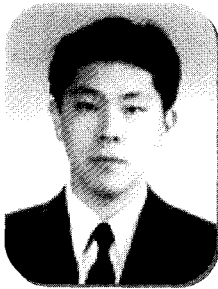
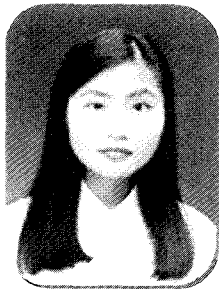


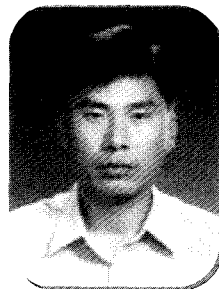
Flexible Display를 위한 유기 박막 트랜지스터의 제작 및 특성 연구



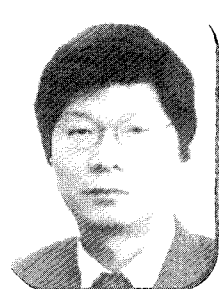
· 김성환 ·
경희대
물리학과
석사과정



· 최혜영 ·
경희대
정보디스플레이학과
석사과정



· 박규창 ·
경희대
정보디스플레이학과
조교수



· 장진 ·
경희대
차세대 디스플레이
연구센터장

1. 서론

현재 LCD(Liquid Crystal Display)가 평판 표시 소자의 수요를 대부분 공급하고 있으나, 값싸고 고화질의 새로운 고성능 평판 표시를 개발하려는 노력이 활발하다. OLED(Organic Light Emitting Diode) 소자의 경우 자체발광에 의한 고휘도, 광시야각, 고해상도, 낮은 구동전력, 저가격화, 천연색상 등 평판 소자로서 적합한 특성을 지니고 있어 새로운 평판 표시 소자(Flat Panel Display : FPD)로서 최근 전세계적으로 연구되고 있다. 최근에는 OLED 소자의 큰 문제점이었던 짧은 구동 수명이 많이 향상되어 상업화에 보다 근접했다. 그러나 유기 단분자 EL 소자는 높은 효율을 보이지만 낮은 열안정성 및 기계적 강도의 해결이 필요하며, 이는 고분자 재료와의 복합화를 통하여 제반 특성이 보다 향상된 새로운 형태의 표시 소자 개발에 대한 필요성을 증대시키고 있다.

현재까지 OLED 를 구동시키는 소자는 폴리 실리콘(poly-Si)등의 무기물 반도체를 사용하여 왔고 상품화는 유리기판/단색/수동형 패널에, 연구개발은 유리기판/풀컬러/능동형 저온 폴리 실리콘(Low Temperature Poly Silicon ; LTPS) 패널에 집중되고 있다.

OLED 와 함께 차세대 디스플레이의 연구 과제

떠오른 것은 flexible display 로서 flexible display는 대량의 정보의 입/출력, 동화상 등의 전자 정보 디스플레이의 기능과 편리성, 휴대성 등의 종이 정보 디스플레이의 장점을 가진 디스플레이로서 유망한 차세대 디스플레이로 평가되고 있고 그에 대해 활발한 연구가 진행되고 있는데 위의 두가지 연구 방향은 유기물의 특징인 유연성을 최대한 활용할 수 있는 최첨단 기술 단계 즉 플라스틱 기판/풀컬러/능동형 방식의(Organic Thin-Film Transistor : OTFT) 방식의 전 유기 FPD의 개발로 이어지고 있다.

이와 관련하여 현재 도시바 및 삼성전자-경희대 등에서 플라스틱 기판 위에 공정온도 150°C의 비정질 실리콘(a-Si) 트랜지스터 시제품을 개발하고 있으나, 플라스틱과 a-Si 사이의 열팽창계수 차이 등 여러 가지 문제점이 있으므로 궁극적으로는 TFT 및 배선 재료 모두 유기 물질로 대체될 전망이다.

이러한 소자가 성공적으로 개발되면 TFT-LCD를 이은 차세대 표시 소자로서 AMOLED(Active-Matrix OLED) 가 각광 받을것으로 예상되며 이것은 초박형, 초대형 벽걸이 표시소자, 두루마리 TV등의 출현을 가능하게 할 것이나, 아직까지 전유기 FPD의 핵심소자인 OTFT에 대한 국외 연구는 단위소자에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 직접 active

matrix에 적용한 연구는 아직 미약한 수준에 있고, 국내에서도 단위소자에 대한 연구가 ETRI, 동아대, 경희대 등에서 산발적으로 수행되고 있는 실정이다. 그러므로, 2010년경 본격적인 시장이 형성될 것으로 예상되는 전유기 FPD의 핵심소자인 OTFT를 성능뿐 아니라 신뢰도 면에서 상품화할 수 있을 정도로 연구 개발하는 것이 필요하다.

OTFT의 재료는 conjugated 고분자와 oligomer, 그 밖의 분자들 등의 유기 반도체들이다. 이러한 재료로 구성되는 OTFT는 기존의 단결정 실리콘(single crystal Si) 반도체보다 전하(carrier, 전자 또는 정공)의 이동도가 10^3 배 정도 낮기 때문에 고속의 switching 장치의 응용에 제한을 가지게 된다. 그러나 OTFT를 제작시 spin coating, solution casting, 인쇄법(printing), stamping 등을 이용하면 대면적화가 용이하고, 상온 근처의 저온에서 제작하여 flexible한 기판위에 적용이 가능하며 비교적 단순한 공정으로 제조비용 또한 저렴하다. 또한 물질이 가지는 특성상 투명하며, 유연성을 가지는 등 많은 장점을 가지므로 새로운 개념의 제품 등에 그 응용 가능성이 크다.

예를 들면 정보처리용 집적회로에 활용도가 높다. 유기 반도체 칩은 제작비가 저렴하고 많은 정보를 저장할 수 있으므로 차세대 smart card에 곧 활용될 것으로 예상된다. 현재 smart card는 플라스틱 기판위에 별도 제작한 Si 칩을 실장하는 형태인데 이 과정에서 많은 불량품이 발생하고 있다.

Si 칩 대신에 유기 반도체 칩을 사용하면 기판과 재료가 동일하므로 플라스틱 기판위에 직접 유기 집적회로(Organic IC)를 동시에 제작(monolithic integration)할 수 있기 때문에 불량률을 현저히 줄일 수 있으며 동시에 제작비도 줄일 수 있다. 이외에 기존의 바코드를 대신하여 물품, 화물, 컨테이너, 화차 및 자동차와 같은 차량용 ID 소자, 관리와 후대가 편리한 유기 전자책(E-paper) 등 유기물의 특성(저가격, 성형이 용이함 등)을 고려할 때 유기 집적회로는 상상할 수 없을 만큼 많은 분야에서 활용될 수 있는 핵심 소자이다.

현재 OTFT에 대한 연구는 태동단계 이므로 우리나라 과학 기술자들의 역량을 모아 경쟁력 있는 기술을 개발한다면 우리나라가 세계 선도에 설 수 있

는 연구 분야이므로 많은 연구가 필요하다.

2. Organic thin-film transistor

1970년대 후반부터 특정한 유기물에 적절한 도핑을 통해 전기 전도도가 구리에 거의 가깝게 도달될 수 있다는 것이 알려진 후[1], 현재 유기물은 전도도 측면에서, 절연체 및 반도체, 전도체 뿐만 아니라 초전도체까지 모든 부분의 재료를 얻을 수 있게 되었다. 반도체의 예로서는 p-형의 pentacene, n-형의 Alq₃ 등이 있고, 유전체로는 강유전체인 PVDF와 이를 근간으로 한 co-polymer들이 있고, 지금 이 순간에도 수많은 새로운 재료가 개발되고 있다.

유기 반도체를 이용한 박막 트랜지스터에 대한 연구는 이미 80년대 중반부터 시작되었다. 초기 소자의 성능은 주목받기에는 매우 부족해 보였으나 소재의 고순도화, 결정성 증가, 소자 제작 조건 최적화, 계면 특성 향상 등을 통하여 최근에는 a-Si TFT 수준의 성능을 보일 수 있게 되었다.

OTFT 기술은 다음의 4가지 기술로 기존에 확립된 a-Si TFT와 경쟁되며 연구되고 있다.

1. 기존의 기술보다 단연 뛰어난 성능의 OTFT 개발
2. 공정온도가 낮아 휘어질 수 있는 플라스틱 기판 사용가능 등 OTFT의 유일한 특성을 활용.
3. 기존의 Si-based TFT보다 생산 비용이 대폭 절감됨.
4. 비용 감소로 인한 짧은 life time의 새로운 제품에 응용.

다양한 형태의 OTFT가 이러한 네 가지 경우에 대하여 재료, 공정, 회로설계, 응용 등의 분야에서 연구되고 있다.

표 1은 현재 연구되고 있는 OTFT의 종류와 특성을 나타낸 것으로 OLED의 구동소자, smart card와 RF tag의 핵심소자로 사용하기 위하여 Lucent Tech., Philips, Cavendish, Mitsubishi, Bell Lab., CNRS 등 유명 연구소를 중심으로 활발히 연구되고 있다[2]. 유기 박막 활성층 이외의 나머지 재료에 대해서는 아직까지 Si, 플라스틱, 유기물과 금속 등 다양한 재료들이 사용되고 있지만, 최종적으로는 기판, 게이트 유전체, 전극, 활성층 모두 유기물로 대체될 것으로

표 1. 연구기관별 OTFT의 종류와 특성.

연구기관(국가)	기술수준(성능 및 사양)	특징(독창성 등)	전망 및 의견
Mitsubishi Electric(일본)	· 접합비: 10^2 · 전계효과 이동도: $\sim 10^5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$	· Polythiophene을 이용한 최초의 FET를 제작	· 유기반도체를 이용한 기본 트랜지스터 구성
Penn. State University(미국)	· 접합비: 10^8 · 전계효과 이동도: $1.7 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ · 최고 속도: 200 kHz	· Pentacene OTFT · Inverters와 5-s tage ring oscillator 제작	· 유기 집적 회로 제작을 목표로 함
IBM(미국)	· 유전율 17.3, 16인 BZT, BST 사용, 작동전압: $< 5\text{V}$ · 전계효과 이동도: $0.3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$	· Pentacene OTFT · 유전체인 BZT를 사용하여 작동 전압 낮춤	· 고유전을 유전체 적용 가능성 제시
Phillps(미국)	· 반도체(polythiénylenevinylene)를 사용하여, $10^4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 이동도 얻음	· 고분자 solution process · 모든 부분이 플라스틱으로 만들어진 집적회로	· 전 유기 트랜지스터 구성 · 성능은 미흡하나 공정이 간단하고 저렴
Bell Lab.(미국)	· 접합비: 10^9 · 전계효과 이동도: $3.2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ · S.S: 6.0 V/dec.	· 진공증착 Pentacene 단결정 성막	· 유기 반도체 shift resister로 구성 · 대면적 단결정 성막기술이 확보되지 않으면 상품화하기 어렵다고 판단됨
Infineon(독일)	· 전계효과 이동도: $3.0 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ · 접합비: 10^6	· Pentacene OTFT · 유기유전체(PVP) 사용	· 전 유기 트랜지스터로의 발전 시도
3M(미국)	· 전계효과 이동도: $5.0 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ · 접합비: 10^6	· OTFT 세계 최고 성능 · Inverters와 5-s tage ring oscillator 제작	· 유기 집적 회로 제작을 목표로 함
ETRI	· 기판: Si, 유전층: $\text{SiO}_2, \text{SiN}_x$ · 전계효과 이동도: $0.8 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ · 접합비: $> 10^6$	· 정제된 Pentacene 이용	· Pentacene 트랜지스터 성능의 특성 개선
홍익대	· 전계효과 이동도: $> 0.5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ · 접합비: $> 10^6$ · S.S: $< 1.0 \text{ V/dec.}$	· Pentacene OTFT · 유기 유전체(Photo Acryl) 사용	· 유기 유전체를 사용
동아대	· 전계효과 이동도: $> 1.0 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ · 접합비: $> 10^7$ · S.S: $< 1.0 \text{ V/dec.}$	· 유기 유전막과 유기 반도체를 계면에 단분자층을 도포	· 유기 유전체를 사용
경희대	· 전계효과 이동도: $> 0.4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ · 접합비: $> 10^7$ · OVPD	· 선택적 증착가능 · TFT-array 신구조 · $20 \mu\text{m gain}$ 형성	· 우수한 TFT-array 기술 보유

예상된다.

그림 1은 최근 10년 사이에 개선된 OTFT의 전계효과 이동도를 나타낸 것이다. 1986년 일본의 Mitsubishi Electric Corporation의 Tsumura등은 유기물 반도체인 Polyacetylene을 이용한 최초의 field-effect TFT를 제작하였으나 전계효과 이동도가 $10^{-5} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 로서 실용 가능성이 희박해 보였으나, 지속적인 공정 개선에 의하여 당해년도의 3M사의 경우 pentacene을 이용한 단일소자의 전계효과 이동도가 $5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 로 급격히 향상되었다.

이는 OTFT가 OLED의 구동소자로 활용 가능성을 보여 주는 것으로서, 표 2에서 나타낸 것과 같이

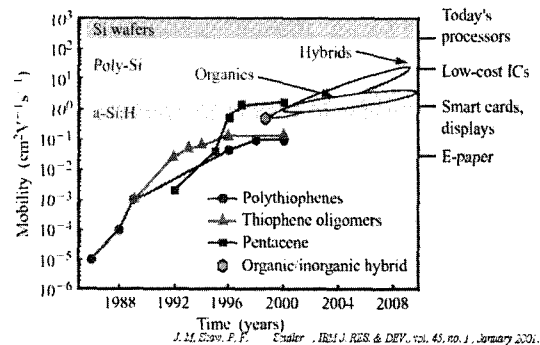


그림 1. OTFT와 전계효과 이동도의 발전.

표 2. OTFT를 이용한 어레이 구성.

연구기관(국가)	화소수	기술수준(성능 및 사양)	특징(독창성 등)	전망 및 의견
Samoff Corp.	16×16 pixels	· V_{th} : 3.2 V · 전하 이동도 : $0.45 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ · Aperture ratio : 58 %	· PVA(Photosensitized polyvinyl alcohol)을 이용하여 Pentacene pattern 형성. · Polymer-dispersed liquid crystal (PDL) display.	· OTFT를 사용하여 최초의 AMLC D 제작
Plastic Logic Ltd.	4×4 pixels	· 점별비: 10^5 · 전계효과 이동도 : $\sim 2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$	· 잉크젯 프린팅 방법과 self-assembly를 이용하여 TFT 형성. · PDLC & electro phoretic display. · PI strip을 이용하여 $5 \mu\text{m}$ 의 short channel 형성 · 10%~20%의 작은 on current 변화	· 환경친화적 공정 방법
Phillips	64×96 pixels	· Pixel size : $500 \mu\text{m} \times 500 \mu\text{m}$	· The first PDL display based on organic TFT	

표 3. 유기 반도체의 종류와 성능 및 주요 유기 유전체의 종류와 성능.

Semiconductor (P-type)	Deposition Technique	Mobility (cm^2/Vs)	특성 종류	Dielectric Constant	Min. Process Temp.(°C)	Deposition process
Pentacene	Vacuum Deposition & Precursor Route	5.0	BCB	2.65	200	Spin coating and cure
P3HT	Solution process	0.1	Polyimide	3.3	180	Spin coating and cure
α -6T(-hexathienylene)	Vacuum Deposition	0.05	Parylene C	3.1	R.T.	Vapor deposition
α -Sexithiphenylene	Vacuum Deposition	0.03	PMMA	2.5~4.5		Spin coating and cure
Polythiophene	Electrochemical	10^{-5}	CYPE	18.5		Spin coating and cure
Poly(thienylene vinylene)	Precursor Route & Solution Cast	0.6	Acryl	3.4	250	Spin coating and cure
Polyacetylene	Precursor Route	10^{-4}	Epoxy	3.4~4.4	250	Spin coating and cure
CuPc	Vacuum Deposition	0.02	PVP	3.6	200	Spin coating and cure
(N-octadecylpyridinium)-Ni(dmit) ₂		0.22	Poly-styrene	2.5~2.65	200	Spin coating and cure
Polyaniline	Solution process	5.35				
Semiconductor (N-type)	Deposition Technique	Mobility (cm^2/Vs)				
F16-CuPc	Vacuum Deposition	0.03				
Perylene	Vacuum Deposition	5.5				
C60	Vacuum Evaporation	0.08				

1998년에 Friend 그룹에서 polymer OTFT/OLED를 단위 pixel로 집적하여 AMOLED를 구현한 바 있으며, Penn. University에서는 Sarnoff Coporation과 Kent state University와 협력하여 OTFT와 PDLCD를 이용하여 PEN film위에 16×16 pixel array를 형성, 1/4-VGA급 AMLCD를 제작하였다[3]. 최근에는 3M에서 OTFT를 이용하여 5-oscillator ring을 제작하여 OTFT의 집적소자 활용 가능성을 제시하였다.

유기물 박막에서의 전하 이동도는 분자간 결합에 의존하며 박막과 전극 사이에 결합들이 전하의 trap으로 작용 전하의 이동을 방해하여 전하 이동도 값이 낮아지게 한다. 전하 이동도의 한계를 극복하기 위한 방법으로는 분자의 conjugation을 끊지 않고 인접 분자간의 결합력을 강하게 하여 보다 딱딱한 결정 구조를 형성하는 방법과 전하들이 한 개의 고분자를 이동경로로 하여 분자간(intermolecular)의 전도보다 분자내(intramolecular)전도를 통하여 전달하는 방법이 연구되어지고 있다. 분자내 전도를 이용하는 경우는 TFT의 크기를 나노미터 크기로 줄일 수 있는 장점도 가지고 있다.

표 3은 주요 유기 반도체 및 유전체의 종류와 성능을 나타낸 것이다[4]. 현재 유기 반도체는 pentacene, ologothiophene, perylene, phthalocyanine 유도체 등의 저분자 유기 반도체와 polythiophene, polythienylene vinylene(PTV) 등의 고분자 유기 반도체 등의 많은 새로운 재료가 개발되고 있으며, 유기 절연막 부분에서도 acryl, poly-vinylphenol(PVP) 등의 발전을 보이고 있다.

국내에서의 OTFT에 대한 연구는 소수 대학, 연구소 중심으로 단일 pixel에 한하여 산발적으로 수행되고 있다. 동아대, ETRI, 홍익대, 서울대, KETI, 경희대, KIST등에서 개별연구를 수행해 왔으며, 특히 경희대에서는 OTFT를 이용한 panel 개발에 초점을 맞추어 현재 plastic panel에의 전하 이동도가 0.4 cm²/V·sec 이상의 소자특성을 확보하는 등 세계적인 수준에 접근하는 실험 결과를 보이고 있다.

3. OTFT on plastic

최근 유기 반도체를 이용한 TFT의 연구는 주로

pentacene을 위주로 연구가 되고있다. 궁극적으로는 진공장비를 이용하지 않는 유기박막의 성막이 최종 목표가 되겠지만, 현재까지는 pentacene을 evaporator나 OVPD(Organic Vapor Phase Deposition) 등을 이용하여 진공증착하는 것이 좋은 결과를 보이고 있으며 일부 P3HT(poly-3-hexylthiophene)를 이용하여 spin coating이나 casting의 방법을 이용하여 진공장비를 사용하지 않는 유기 박막이 연구되고 있다.

간략하게 경희대의 pentacene OTFT에 관한 연구를 살펴보면 다음과 같다. 경희대에서는 OVPD를 이용하여 pentacene 박막을 증착하였으며 장비의 개략도는 아래의 그림 2와 같다.

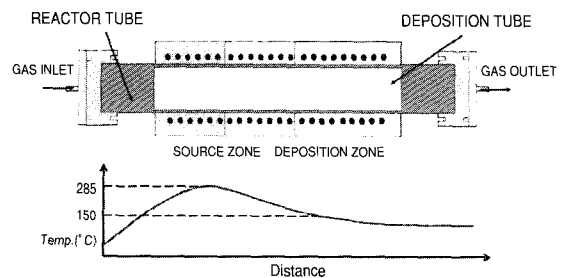


그림 2. OVPD chamber 모식도.

일반적인 pentacene 증착 방법은 thermal evaporation을 이용하여 증착하는데 이와 같은 방법은 대면적화가 어렵고 source material의 손실이 크다. 하지만 OVPD를 이용한 pentacene 박막은 적은 양의 source material을 이용하여 대면적화가 용이하고 불순물을 손쉽게 제거할 수 있으며 박막의 결정성을 향상시킬 수 있다. 본 연구에서는 OVPD를 이용하여 pentacene 박막을 증착하였으며 압력의 변화에 따른 pentacene 박막의 결정성을 연구하였다. 질소를 주입 가스로 사용하였을 때 압력이 높아짐에 따라 pentacene 박막의 결정성이 향상됨을 확인하였으며 그림 3. (d)에서와 같이 압력이 200Torr일 때 평균적으로 20μm의 grain size를 갖는 pentacene 박막을 증착하였으며 (c)와 같이 증착 압력이 2Torr일 때 10μm의 grain size를 갖는 균일한 pentacene 박막이 증착됨을 확인하였다[5].

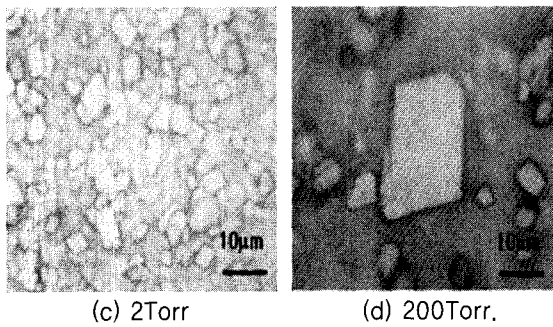
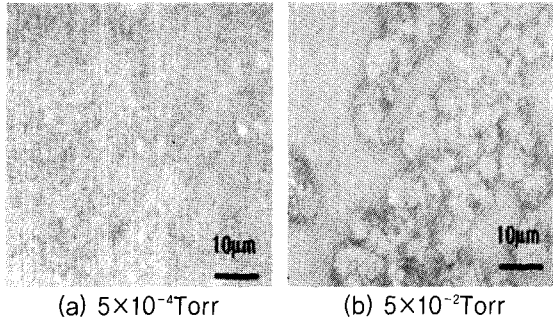


그림 3. 증착 압력에 따른 pentacene 증착의 광학 사진.

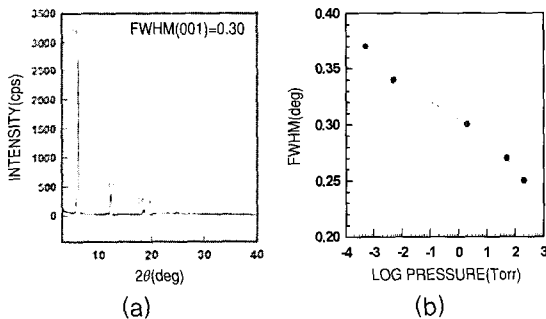


그림 4. (a) 압력 20Torr에서 증착한 pentacene의 X-선 회절 세기
(b) 증착 압력의 변화에 따른 <001>피크의 FWHM 변화.

OTFT는 소재의 특성상 활성층으로 들어가는 pentacene 박막이 고온 공정이 불가능하고 수분과 에칭시 들어가는 화학약품에 취약하여 활성층 증착이 마지막 단계에 들어가는 top-contact(Inverted staggered) 구조 또는, bottom-contact(Inverted coplanar) 구조로 제작되고 있다. 현재 top-contact 구조의 TFT

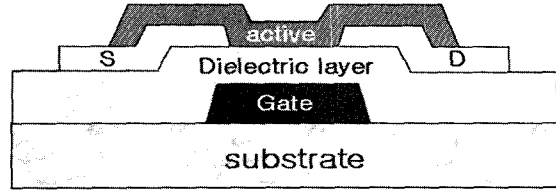


그림 5. OTFT 단면도.

가 source-drain 과 pentacene 과의 접촉특성 향상 등으로 인하여 더 좋은 특성을 보이고 있어 현재 전 세계적으로 많은 연구가 되고 있지만, photo-lithography 공정을 할 수가 없기 때문에 shadow mask를 이용하여 patterning을 하여 실험이 진행되고 있고, 이는 소자의 크기가 일정 이상이어야 하기 때문에 display의 적용에는 bottom-contact 구조로 제작이 되어야 한다.

OTFT 제작을 위하여 그림 5와 같은 공정을 진행하였다. 다음과 같은 공정을 진행하였다. 공정은 PES 기판위에 진행하였으며, 게이트 금속으로 AlNd를 100nm, 절연막으로 유기 절연막인 cross-linked PVP를 400nm, source/drain 금속으로는 Au/Cr을 100nm/10nm 사용하였다. 이와 같은 박막위에 형성될 pentacene 박막의 결정성을 향상시키기 위하여 SAM (self-assembled monolayer) 처리로 OTS(octadecyltrichlorosilane)용액에 담가두었다가 pentacene 박막을 OVPD를 이용하여 증착하였다.

위의 공정과정을 통하여 제작된 OTFT의 특성은 그림 6과 같다. VD와 VG를 연결시켜서 +5V에서 -30V까지 측정하였고, 이때의 $I_D^{1/2}$ 와 V_G 의 함수를 그림 6(c)에 나타내었다.

$V_D = V_G - V_{th}$, 일 때 포화영역에서의 전류값을 다음 식을 이용하여 얻을 수 있다.

$$I_D = \frac{C_{PVP} \mu_n W}{2L} (V_G - V_{th})^2$$

위 식을 이용하여 포화영역에서의 전계효과 이동도를 구할 수 있다. 제작된 OTFT의 길이와 폭은 각각 $305\mu m$ 와 $8\mu m$ 이며 사용된 cross-linked PVP의 두께와 유전율은 각각 400nm와 3.6으로 계산하였다. 계산된 전계효과 이동도는 $0.41 cm^2/Vs$ 을 나타내고

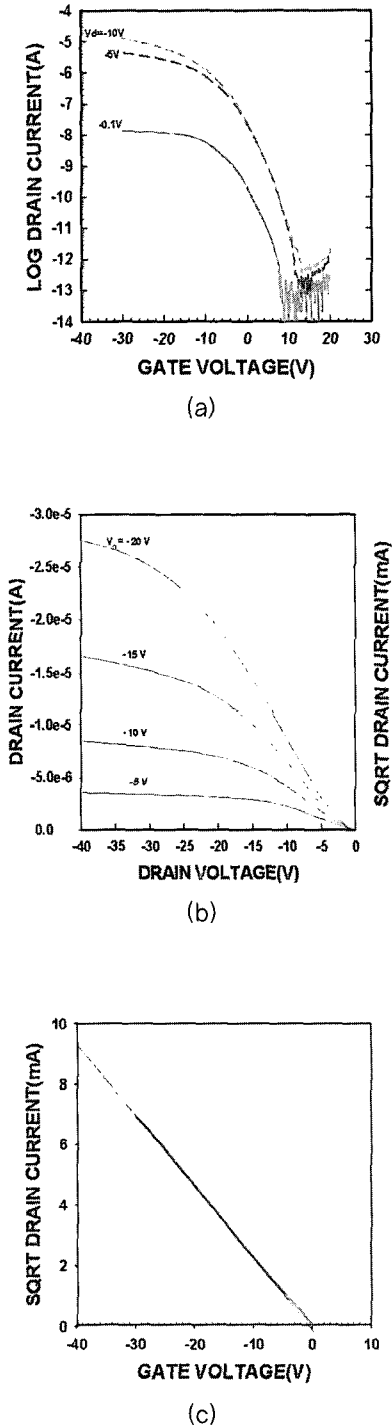


그림 6. Plastic 기판 상에 제작된 bottom contact OTFT의 특성: (a) transfer; (b) Output; (c) mobility characteristics.

있으며, 문턱전압은 $-1V$ 를 나타내고 있다. 점별비는 10^7 을 나타내고 있으며, off current가 $10^{-12}A$ 이하로 낮은 전류값을 나타내고 있어 display 구동소자로서 활용하기에 부족함이 없는 결과를 보여주고 있다.

4. 결론

위에서 언급한 것을 종합해 볼때 유기물 반도체의 전망은 밝다고 이야기 할 수 있다. 그러나 아직까지 a-Si 및 poly-Si을 이용한 TFT가 주류를 이루고 있는 산업 시장에서 유기 반도체를 이용한 OTFT의 여러 응용분야의 성장이 있기까지는 해결할 과제들이 남아있다고 볼 수 있으나, 가까운 장래에는 초박형의 카드에 대용량의 데이터의 저장이 가능한 smart card 및 접었다 펴면서 볼 수 있는 플라스틱 LCD 및 OLED 등을 영화가 아닌 현실로 접할 수 있을 것이다. 이는 반도체 시장뿐 아니라 우리문화의 큰 변혁을 가져올 것이다.

이러한 일을 가능하게 하기 위해서는 전공을 넘나드는 학제간의 긴밀한 협조가 필요하다. 아직 유기 반도체에서 나타나는 많은 현상들은 이론적 규명이 부족한 실정이다. 앞으로 이러한 분야를 연구하는 많은 학자들이 서로를 이해하고 서로의 연구 결과를 공유해 다시 feed back 한다면, 이 분야는 아직 세계적인으로도 그리 깊이 연구되지 않은 분야이므로 우리 학자들에 의한 원천 기술 확보도 그리 먼 이야기는 아니라는 생각이 든다

참고 문헌

- [1] C. K. Chiang, et. al. "Electrical Conductivity in Doped Polyacetylene", Phys. Rev. Lett., vol. 39, p. 1098, 1977.
- [2] 김성현, "유기반도체 트랜지스터", 물리학과 첨단기술의 세계, 제11권, 6호, 6월, 2002.
- [3] C. D. Sheraw, "Organic thin-film transistor-driven polymer-dispersed liquid crystal display on flexible polymeric substrates", Applied Physics Lett., Vol. 80, No. 6, 2002.
- [4] A. Lodha, "Prospects of manufacturing organic

semiconductor-based integrated circuits”, *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 14, No. 3, 2001.

[5] J. S. Jung, K. S. Cho, and J. Jang, “A large grain pentaceneby vapour phase deposition”, *J. Kor. Phys. Soc.*, Vol. 42, p. 428, 2003.

· 저 · 자 · 약 · 력 ·

성명 : 김 성 환

❖ 학 력

- 1998년 경희대 물리학과 이학사
- 2002년 - 현재 경희대 대학원 물리학과 석사과정

성명 : 최 해 영

❖ 학 력

- 2000년 경희대 화학과 이학사
- 2001년 - 현재 경희대 대학원 정보디스플레이학과 석사과정

성명 : 박 규 창

❖ 학 력

- 1990년 경희대 물리학과 이학사
- 1993년 경희대 대학원 물리학과 이학석사
- 1997년 경희대 대학원 물리학과 이학박사

❖ 경 력

- 1997년 - 1999년 현대전자(주) LCD연구소 선임연구원
- 1999년 - 2001년 Hynix(주) LCD연구소 책임연구원
- 2001년 - 2002년 Hydis(주) 연구소 책임연구원
- 2002년 - 현재 경희대 정보디스플레이학과 조교수

성명 : 장 진

❖ 학 력

- 1977년 서울대 물리학과 이학사
- 1979년 KAIST 물리학과 이학석사
- 1982년 KAIST 물리학과 이학박사

❖ 경 력

- 1982년 - 현재 경희대 물리학과 및 정보디스플레이학과 교수
- 1997년 - 2001년 LCD 거점 연구 단장
- 2001년 - 현재 차세대 디스플레이 연구센터장
- 2002년 - 현재 JSID, Applied Physics 편집위원

