

대용량, 초고속 정보전달이 가능한 유비쿼터스 시대가 도래함에 따라 디스플레이는 브라운관(CRT)에서 대면적이 가능한 Flat Panel Display(FPD)와 종이와 같은 초경량의 유연한 차세대 Flexible Display 기술로 연구동향이 변화하고 있다. 따라서 차세대 디스플레이는 보다 실감화된, 가벼운, 저전력, 저가격, 대면적이 가능한 유연한 기판의 Flexible Display가 될 것으로 기대된다. 이 같은 기술의 발전과 함께 핵심부품인 유연한 기판, 스위칭 소자, 패널 등의 소재가 모두 유기물로 구현이 가능한 All Organic Display(AOD)가 연구되고 있는데, 저온공정을 이용한 기술의 기반성, 저가격으로 인한 경제적인 파급효과 등에 기초하여 그 응용가능성을 가속화 하고 있다. 따라서 본 글에서는 Flexible Display의 요소 기술인 기판 및 차단층 형성, 스위칭 소자, Flexible OLED (Organic

위한 핵심기술로 낮은 투습도, 낮은 투산소도의 특성을 가진 광학적 특성이 우수하고 내화학성, 열안정성이 우수한 기판제작기술이 요구된다. 표 1에는 유연한 기판을 제작 시에 검토되어야 할 사양으로 디스플레이로서의 광학적 특성, 제작공정을 고려한 열적인 안정성, 내화학적인 내구성 및 구부림이 가능한 기계적인 안정성 측면에서 검토되어야 하는 특성에 대하여 나타내었다. 또한 표 2는 Flexible 기판으로 사용 가능한 기판의 종류와 이에 따른 물리적, 화학적 특성에 대하여 나타내었다. 표 2에서 나타난 바와 같이 디스플레이로서 사용하기 위한 기판의 특성 및 제조기술은 아직 연구개발 단계로 향후 개발 성공 시에는 디스플레이 뿐만이 아니라, Flexible Electronics, Sensor 등 광범위한 응용범위로 인하여 경제적인 파급효과가 클 것으로 기대된다.

특집 「디스플레이」 II

OTFT를 이용한 All Organic Display의 연구동향

도이미*, 최종선**

Light Emitting Devices)의 핵심기술과 함께 향후 예상되는 대량생산기술 개념 및 시장성에 대하여 간략히 언급하였다.

1. Flexible 기판과 차단층

새로운 기술의 Breakthrough를 주도하는 분야중의 하나가 신소재이듯이 Flexible Electronics와 Display 분야에서도 우선적으로 개발되어야 하는 분야는 고기능성을 가진 신소재이다.

얇고 유연하면서도 고기능성을 포함하는 Flexible 기판 및 차단층(Barrier Layer) 형성 기술은 소자의 상용화를

주로 유기물을 소재로 하는 Flexible Electronics 와 Display 소자는 수분 또는 산소 등의 화학반응으로 인하여 유기물 소자의 수명이 단축된다. 따라서 소자의 안정성에 치명적인 영향을 주므로 기판 뿐만이 아니라 소자를 보호할 수 있는 차단층 또는 보호층(barrier or passivation layer)의 기술 개발이 절대적으로 필요하다. 현재 사용되는 PES, PET, PEN 기판의 투습도가 1~60 g/m²/day/atm 정도의 수준이나 Display로서 소자의 수명을 고려한다면 10⁶ g/m²/day/atm 정도를 요구하고 있으므로 보다 새로운 개념의 소재/소재개발이 필요하다.

이 같은 개념에서 Schott사는 차단성이 우수한 초경량의 유연한 기판을 대량 생산 하기 위하여 초박막의 유리 제조방법에 기계적으로 안정한 고분자 다층막을 이용하

* 한국전자통신연구원, 기반기술연구소

** 홍익대학교, 전기전자공학과

㉔ 1. Requirements in Flexible Substrates

Specification	Requirements
Flexible	<ul style="list-style-type: none"> - Free standing films (Steel, ..) - Dielectric coated metal foil, Plastics, etc.,
Dimensional stability	<ul style="list-style-type: none"> - Type of substrate (PEN, PET, glass, etc.,) - Film manufacturing process - Heat stabilization process - Barrier coatings - Device making process
Thermal stability	<ul style="list-style-type: none"> - Withstand elevated processing temperature - Localized high temperatures may be experienced
Radiation Stability	<ul style="list-style-type: none"> - UV radiation stability for outdoor applications - Block UV penetration to active layers - UV absorbing materials incorporated into the plastic, or added as an additional layer - Minimal solar loading effects
Surface topography	<ul style="list-style-type: none"> - Quality of ultimate barrier - ITO quality - Final device quality
Optical transparency	<ul style="list-style-type: none"> - Affects sufficiency
Internal and external cleanliness	<ul style="list-style-type: none"> - Polymer formation chemistry - Polymer process control, Film process cleanliness - Manufacturing environment, Process control
Solvent resistant	<ul style="list-style-type: none"> - Common organic solvents used during processing
Durability	<ul style="list-style-type: none"> - Substrate(and completed device) should withstand repeated bending to a specified radius of curvature - TFT arrays, solder processes, processing chemicals, - Compatible with roll-to-roll Processing
Toughness	<ul style="list-style-type: none"> - Substrate should be resistant to tearing to a specified stress
High Young's Modulus	<ul style="list-style-type: none"> - Limited elastic stretching deformation during fabrication and handling

㉔ 2. Thermal and Chemical Properties of Flexible Substrate⁽³⁾

Max. Process Temp.	Material	Characteristics (good, OK, bad)
900℃	Steel	<i>Opaque, moderate CTE, moderate chemical resistance, metal contaminants</i>
325℃	appear™	Clear, poor solvent resistance, high CTE, High Tg
275℃	Polyimide(Kapton)	<i>Orange color, high CTE, good chemical resistance, expensive</i>
250℃	Polyetheretherketone (PEEK)	<i>Amber color, good chemical resistance, expensive</i>
230℃	Polyethersulphone(PES)	Clear, good dimensional stability, <i>poor solvent resistance, expensive</i>
200℃	Polyetherimide(PEI)	Strong, brittle, hazy/colored, expensive
150℃	Polyethylenenaphthalate (PEN)	Clear, moderate CTE, good chemical resistance, inexpensive
120℃	Polyester(PET)	Clear, moderate CTE, good chemical resistance, lowest cost

OTFT를 이용한 All Organic Display의 연구동향

여 기판의 유연성, 차단특성향상, 열적 안정성 향상, 등을 시도하고 있으며¹⁾, Vitex 사는 유기/무기 다층박막 개념을 도입하여 Ultra-Barrier Packaging 및 소자의 수명향상을 위한 Encapsulation 기술에 대하여 연구를 진행 중에 있다²⁾.

2. Flexible Display - OLED

OLED는 양극과 음극 사이에 두께가 5~10 나노미터 정도인 유기박막이 다층으로 삽입된 구조로 전기를 가했을 때 두개의 전극 사이에 있는 유기박막으로부터 가시광선 영역의 빛을 내는 소자를 말한다⁴⁾. 양극 재료는 투명한 ITO 전극을 주로 사용하고, 음극 재료로는 일함수가 낮은 금속 또는 합금(Ca, Al:Li, Mg:Ag 등)을 사용한다. 이 소자에 순방향의 전압을 가하면 양극에서는 유기층의 HOMO(Highest Occupied Molecular Orbital) 준위로 정공이 주입이 되고, 음극에서는 LUMO(Lowest Unoccupied Molecular Orbital)로 전자가 주입된다. 주입된 전자-정공은 엑시톤(exciton)을 형성하고, 이 엑시톤이 바닥상태로 천이하면서 빛을 방출하는 경우를 전기발광(electroluminescence, EL)이라고 한다. 사용되는 유기 박막층은 단층 유기박막으로 제작할 수 있으나, 일반적으로 정공과 전자의 전하주입을 쉽게 하기 위하여 전하수송이 우수한 다층 박막을 이루며, 발광효율을 높이기 위해 발광층에 발광효율이 우수한 유기 색소를 도핑한다. 특히 OLED는 다른 디스플레이와 비교하여 고효율, 높은 색순도, 고휘도, 넓은 시야각, 빠른 응답속도 등의 특성을 나타내며, 소자의 제작공정이 저온으로 가능하여 유연한 기판위의 차세대 Flexible Display로 응용 가능할 것으로 예상된다.

플라스틱 기판 위에 Flexible OLED를 제작하는 방법은 크게 ① 유기물을 진공에서 가열해서 새도우 마스크를 통해 적·청·녹색(RGB) 화소를 증착하는 방법, ② 고분자 용액을 잉크젯 프린팅(ink-jet printing), 또는 스크린 프린팅(screen printing) 방법으로 인쇄하는 방법, ③ 열(Laser 또는 UV) 이용하여 기판 위에 R·G·B 유기박막을 전사하는 방법(Laser induced thermal image, LITI) 등으로 구분할 수 있다. 이 방법들을 차세대 Flexible Display의 가장 큰 장점인 값싸고 대면적이

가능한 기술적인 측면에서 비교해 보면 ① 보다 ② 또는 ③의 방법이 유리할 것으로 예상된다. 그러나 아직 저분자를 진공 증착하는 방법이 가장 우수한 디스플레이 특성을 나타내고 있어서 현재 상용화 되고 있는 제품은 ①의 방법을 사용하고 있다. 특히 고분자인 경우 고분자의 용액성을 이용하여 Dupont, Philips, Seiko-Epson 등에서 잉크젯 프린팅 방법을 시도하고 있으며, 잉크의 분산, 위치제어, 박막의 두께조절, 등 화학적, 물리적, 기계적 특성제어 등을 통한 고정세화 기술 개발이 필요시 되고 있다⁵⁾.

삼성 SDI와 3M이 공동 개발하고 있는 Laser 전사(Laser Induced Thermal image, LITI) 방법은 레이저 빔을 조사하여 발생하는 열을 이용하여 Donor 필름으로부터 기판 또는 유기 박막 위로 유기박막을 전사(Transfer)하여 소자를 제작하는 기술이다. 전사시키는 Donor 필름의 형성 제어(흡착 및 탈착), 코팅필름박막의 두께 균일도 제어, 다층박막 제작 시에 적층 제어 등이 핵심 기술이다. 특히 전사기술은 향후 기술의 발전에 의하여 실온, 대면적에서 고분해능, 고해상도를 얻을 수 있다면 저가격 공정으로서 대량생산 측면에서 큰 장점을 가지게 될 것으로 예상된다⁶⁾.

Flexible Display 분야에서 아직 연구개발 단계인 Flexible OLED 기술은 플라스틱 기판 위에 형광 또는 인광재료를 이용한 Passive Matrix(PM) OLED를 형성하는 방법을 주로 사용하고 있으나, 기술이 진일보 하고 있으며 고효율의 인광재료를 통하여 소자특성이 향상되고 있다. 특히 플라스틱 PM-OLED의 경우 Pioneer⁸⁾, UDC⁷⁾, DNP가 저분자를 이용하고 있으며, Seiko-Epson⁵⁾, Dupont⁹⁾, Philips¹⁰⁾ 등이 고분자를 이용하여 연구를 진행하고 있다. 그림 1에는 이제까지 연구 보고된 Flexible OLED의 시작품을 나타내었다.

3. 유기반도체 스위칭 소자

LCD, OLED, E-paper 등과 같은 Flexible Display의 스위칭 소자기술은 무엇보다도 저온공정을 이용해서 전기적 특성이 우수한 소자 제작을 해야 하는 어려움이 있다. 표 3은 스위칭 소자 종류에 따라 가격, 생산성, 소자의 성능, 실용화 측면 등에서 비교한 것이다. 표 3에 나타

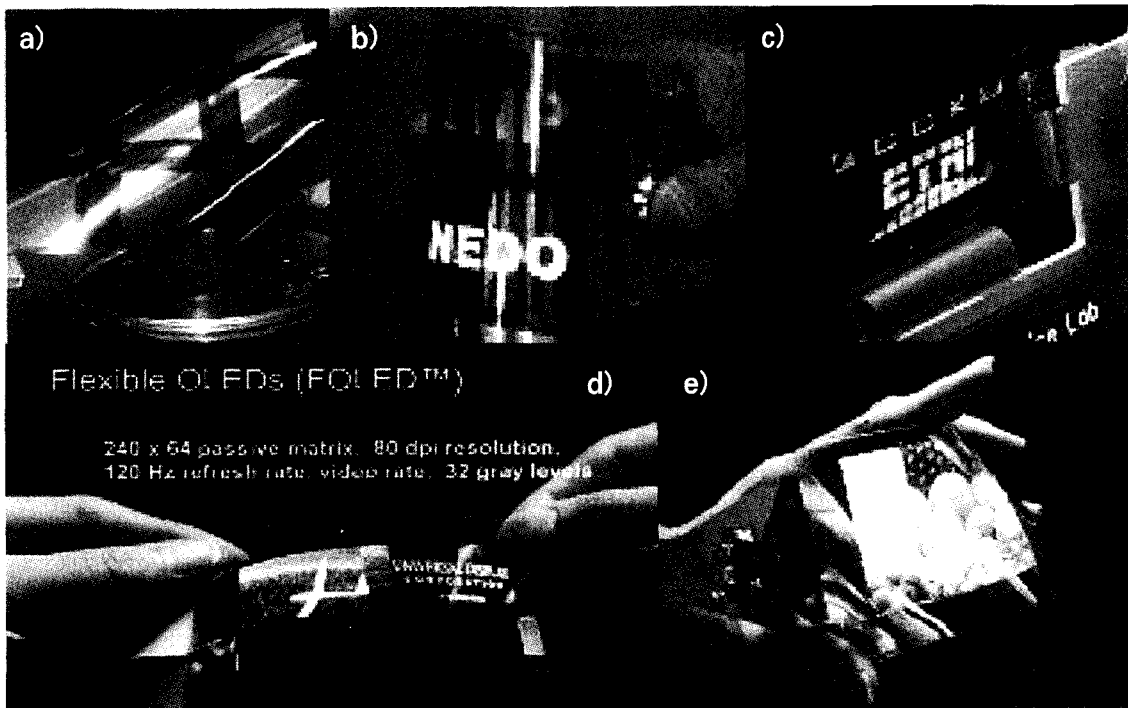


그림 1. 다양한 Flexible OLED의 시작품
 a) PM-PLED(Dupont, 2001), b) 스크린 프린팅 방법을 이용한 PM-OLED(DNP, 2001),
 c) PM-OLED(ETRI, 2000), d) PM-OLED(UDC, 2002), e) Full color PM-OLED(Pioneer, 2003)

난 바와 같이 Poly-Si TFT 기술은 소자의 우수성 대비 Cost 측면이 검토될 사항이며, Amorphous Si TFT의 경우는 소자의 Stability 측면에서 기술적인 Breakthrough가 필요 되고 있다. 이에 비하여 유기 박막 트랜지스터는 (Organic Thin Film Transistor, OTFT)는 신소재 개발, 소자 성능 향상 등 많은 연구가 필요시 되고 있다. 아직은 연구초기 수준이나 낮은 공정 온도로 유연한 플라스틱 기판을 사용할 수 있고, 기존의 실리콘 기반기술보다 훨씬 싸게 제조할 수 있기 때문에 Flexible display의 스위칭 소자로 적합할 것으로 생각된다. 특히, 전도성 고분자를 이용한 전극, OTFT 스위칭기술과 OLED, 그리고 유연한 Flexible 기판이 유기물로 가능하다면 향후 Si 기술을 대체할 수 있는 All Organic Display(AOD) 구현이 가능할 것으로 기대된다. 이 같은 연구는 전 세계적으로 Seiko-Epson, Plastic Logics^[12], Philips^[10], Siemens^[13], Infineon^[14] 등에서 활발히 진행되고 있으며, 국내에서도 산학연을 중심으로 연구가 진행되고 있다.

다음은 이제까지 연구 보고된 OTFT에 사용되고 있는 소재/소자의 연구동향에 대하여 간략히 소개한다.

표 3. Flexible Display 구현을 위한 스위칭 소자의 특성^[11]

	Poly-Si TFT	Amorphous Si TFT	OTFT
Type	CMOS	NMOS	PMOS
Performance:			
Mobility	Very Good	OK For PhOLED	OK?
Leakage	OK	Very Good	OK
Stability	Good	Issue	Issue
Uniformity	Issue	OK	Issue
Manufacturability	Maturing	Excellent	N/A
No. Of Interconnects	Data?	Scan+Data	Scan+Data
Cost	Medium	Medium	Low??
Plastic Compatibility	Under Development	Good	Excellent

3.1 OTFT용 반도체 박막 소재

유기 반도체를 이용한 전계효과 트랜지스터는 1986년 일본의 Mitsubishi Electric Corporation의 Tsumura^[15] 등이 처음으로 유기물 반도체 polythiophene을 이용한 OTFT를 제작한 이래 Cavendish Lab, CNRS, Philips, IBM, Penn State University의 Prof. Jackson^[16] 등에

OTFT를 이용한 All Organic Display의 연구동향

의하여 많은 연구가 진행되었다. 반도체층으로 고분자는 스펀코팅 또는 Dipping 방법으로 주로 thiophene 유도체들이 연구되었으며 저분자의 경우 진공증착 방법을 이용하여 결정성이 우수한 pentacene과 같은 Linear fused ring compounds, Naphthalene 유도체, phthalocyanine 유도체와 같은 two-dimensional fused ring compounds, 및 Heterocyclic oligomers 등이 연구 보고 되었다(표 4, 5 참조).

저분자 p-type OTFT재료는 oligothiophene(OT), pentacene, bis(dithienothiophene) (BDTT), anthradithiophene(ANDT) 등이 Bell Lab., CNRS, IBM, Phillips, Penn. State Univ., Durham Univ. 등

에 의해 연구되고 있으며, 재료 및 박막형성방법에 따라 oligothiophene의 경우 최대 전하이동도가 0.01 - 0.1 cm^2/Vs 이며, pentacene의 경우 최대 2 - 3 cm^2/Vs 를 나타내어 α -Si를 능가하고 있어 OTFT 재료의 실용화 가능성을 충분히 보여주고 있다.

저분자 n-type재료로는 phthalocyanine(PC) 및 fluorinated PC(FPC), tetracyanoquinodimethane (TCNQ), C_{60} , naphthalene tetracarboxylic dianhydride (NDTCA) 및 perylene tetra-carboxylic dianhydride (PDTCA) 유도체 등이 있으나 전하이동도는 FPC의 경우 0.03이며, C_{60} +TDAE(tetrakisdimethylaminoethylene)을 사용한 경우의 0.3 cm^2/Vs 이 최고 값이어서 실용화

표 4. 저분자 OTFT 재료들의 구조 및 전기적인 특성



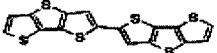


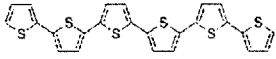
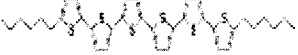
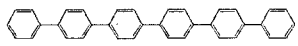

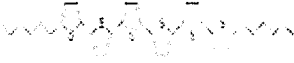

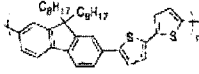
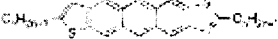
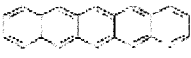


구분	구조	이동도($\text{cm}^2/\text{V.s}$)	점결비	비고(ref)	
Fused aromatic		2-3/	$10^4 - 10^9$	17	
		0.15	NR	18	
		0.02 - 0.05	10^8	19	
		0.02 - 0.11	$10^3 - 10^5$	20	
	n형		0.003	NR	21
		C_{60}	0.08	10^6	22
Oligo-arylene		0.03	NR	23	
		0.08	NR	24	
		0.1 - 0.01	$10^5 - 10^6$	25	
	n형		N/A	NR	26
Phthalocyanine	p형	0.02	4×10^5	27	
	n형	0.03 (F6CuPc)	NR	28	

표 5. 고분자 OTFT 재료들의 구조 및 성막 조건에 따른 전기적인 특성

구분	구조	이동도(cm ² /V.s)	점결비	비고(ref)
Thiophene 계열		0.1 (Cl-benzene)	>10 ⁶	29
		0.05	>10 ³	30
		0.01 - 0.02	10 ⁵	31
Fused aromatic 계열		0.01 - 0.02	NR	32
		0.2 (via precursor)	NR	33
		0.0005	30 - 150	34
Organic-Inorganic Hybrid		0.61	NR	20

하기에는 성능이 너무 낮아 전자결계 그룹이 주사슬에 도입된 소재 또는 불소가 결사슬에 도입된 신물질 개발에 연구가 진행되고 있다. 특히 집적회로의 특성을 높이기 위해서는 n-type transistor의 특성향상 연구가 반드시 필요하므로 신소재의 개발의 시급성 및 중요성이 인식되고 있다.

고분자를 이용한 TFT 재료는 Bell lab, Cavendish Lab, Dow Chemical, Seiko-Epson, 등을 중심으로 최대 전하 이동도는 약 0.1 cm²/Vs를 보고하였으며, 최근 IBM에서는 Organic-inorganic hybrid 재료를 이용하여 전하 이동도가 0.1-0.62 cm²/Vs인 물질을 연구 보고하였다. 일반적으로 용액 공정이 가능한 고분자 소재들은 박막 결정성이 높지 않아 높은 이동도의 박막을 제작하기가 어렵다는 문제점이 있으므로 액정성을 가지면서도 정공의 이동도를 높일 수 있는 소재 또는 LB나 Self-Assembled Monolayer(SAM)를 이용하여 절연체와 반도체층 간의 Interface engineering을 통한 TFT 특성 향상 등에 대하여도 연구 보고하고 있다.

3.2 OTFT용 절연층 소재

일반적으로 게이트 절연체는 유전상수가 크고 절연강도가 높은 SiO₂ 같은 높은 유전상수를 나타내는 무기 박막을 사용하고 있었으나 누설전류가 크다는 것과 박막 제작 시에 진공증착 방법을 써야 한다는 점에서 저가적의 대면적을 지향하는 Flexible Display 제작면에서는 어려운 점이 있다(표 6 참조). 이에 비하여 절연특성이 우수한 고분자 소재는 주로 Polyimide 및 Silsesquioxane, Photoresist, Poly(4-vinylphenol) (PVP), Photoacryl, PMMA, PI 등을 사용하는 연구가 진행되고 있다(표 7 참조).

소재 특성면에서 우수한 절연체 선정에 요구 되는 특성은 저온공정에서 대면적으로 균일한 박막의 제작 가능성, 고유전율과 더불어 좋은 절연 특성, 기판/전극/반도체층 간의 열팽창율, 패터닝 가능성, 내화학성 등의 측면이다. 따라서 이제까지 사용되고 있는 절연체 소재들은 열이나, 자외선으로 cross-link가 가능한 아크릴계 고분자를 이용하여 불용성 고분자 막을 형성하는 원리를 이용하는 장점이 있으나 열을 이용할 경우 플라스틱 기판과의 열팽창율 차이 등으로 인해 기판이 휘는 문제가 발생할 수 있고, 패터닝이 어렵다는 문제도 발생한다.

OTFT를 이용한 All Organic Display의 연구동향

표 6. 무기 유전체의 물리적 성질

종류	특성	Dielectric constant	Min. process temperature(°C)	Deposition process	Problem
	SiO ₂	3.9	350	CVD	High temperature
	SiN _x	7	450	CVD	High temperature
	AlN	9~10.4	RT	Sputter	Leakage
	AlON	12.4	RT	Sputter	Leakage
	Al ₂ O ₃	9~9.8	RT	Sputter	Leakage
	Ta ₂ O ₅	26	RT	Sputter	Leakage
	La ₂ O ₅	27~30		Thermal Oxidation	High temperature
	BZT	17.3	RT	Sputter	Leakage
	PZT	600	RT	Sputter	Leakage

표 7. 유기 유전체의 물리적 성질

종류	특성	Dielectric constant	Min. process temperature(°C)	Deposition process	Problem
	BCB	2.65	200	Spin-coat and cure	High temperature
	Polyimid	3.3	180	Spin-coat and cure	High temperature
	Parylene C	3.10	RT	Vapor deposition	Difficult process
	PMMA	2.5~4.5	120	Spin-coat and cure	Chemical resistance
	CYPE	18.5	NR	Spin-coat and cure	Moisture sensitive
	PVP	7.8	100	Spin-coat and cure	Moisture sensitive

3.3 전극용 유기물 소재

일반적으로 전자소자의 전극 재료로서 Al 등 금속을 사용하고 있으나 공액 고분자에서 파이전자의 비편재화 또는 도핑에 의한 전도성 고분자의 전도도가 도체의 수준을 나타내므로 전극재료로도 많이 연구되고 있다. 특히 기판/박막/전극간의 Adhesion, 열팽창율, 측면에서는 고려한다면 금속과 유기물보다 고분자 기판과 유기박막이 보다 우수하므로 전도성 고분자인 polyaniline, PEDOT 등을 사용하여 많은 연구가 진행되고 있다.

이제까지 보고된 대표적인 전도성 재료의 도핑에 따른 전기전도도의 변화는 표 8과 같다. 특히 Polyaniline의 경우 deep UV 조사 여부에 따라 $1\text{ k}\sim 10^4\ \Omega/\text{square}$ 의 값을 나타내어 전극 또는 절연체로서 동시 이용이 가능하므로 고분자를 이용한 저가격의 가능성을 제시하고 있다. 이 밖에도 최근에는 유기반도체 소자용 전극재료에 Ag 또는 카본 나노튜브(CNT)와 같은 나노 composite를 이용한 저저항 시도가 이루어지고 있다. 이 같은 특성은 전도성 고분자 나노입자의 결정화도나 도핑정도가 전도성 고분자 고유의 전도특성 뿐만이 아니라 나노입자간의 계면 특성, 코팅되는 박막의 Morphology에 따라 전기적

인 특성을 제어 할 수 있기 때문이다.

3.4 All Organic Display

앞에서 논의한 바와 같이 유기물 소재의 절연체로부터 도체의 특성 및 고기능성 소재의 개발 및 소자의 기술향상은 고기능성 유연한 기판의 개발과 함께 향후 전 유기물을 이용한 디스플레이의 개발 가능성을 제시하고 있다.

현재까지 발표된 최대 전하 이동도 (μ)는 p-type의 경우 이미 a-Si 수준을 넘는 약 $5\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 까지, n-type의 경우 $0.1\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 에 도달 하였으며, 스위칭 소자로서 점멸비($I_{\text{ON}}/I_{\text{OFF}}$ 전류비)는 $10^6\sim 10^8$ 수준에 도달하고 있다. 특히 Plastic Logic 사는 고분자를 이용하여 전극, 절연체, 유기반도체 층을 잉크젯 프린팅 방법으로 구현하였으며 미국의 Superior Micro Powders, Spectra, Optomec과 함께 8.8×11 "급 Flexible Electronic Paper Display를 목표로 하여 연구를 진행 중에 있다. 또한 OTFT제작에 있어 잉크젯 프린팅 방법을 이용한다면 용액공정의 연속성 및 정밀도의 개선과 함께 효율적인 재료이용, 다양한 소재의 이용 가능성이 예상되므로 향후 파급효과가 클 것으로 기대된다(표 9, 그림 2 참조)

표 8. 도핑 종류에 따른 전기전도도의 변화

Polymer	Doping Materials	Conductivity(S/cm)
Polyacetylene(PA)		$10^9 \sim 10^5$
	Metal : Cu, Ag	10^6
	Proton acid : HClO ₄ , H ₂ SO ₄ , CF ₃ SO ₃ H	10^3
	I ₂ , Br ₂ , Li, Na	10^4
Poly(p-phenylene)(PPP)		10^{-14}
	AsF ₅	5×10^2
Polypyrrole(PPy)	BF ₄ ⁻ , ClO ₄ ⁻ , tosylate(CH ₃ -C ₆ H ₄ -SO ₃ ⁻)	7×10^3
Polythiophene(PT)		$10^3 \sim 10^4$
	BF ₄ ⁻ , ClO ₄ ⁻ , tosylate	10^4
Poly(3-alkylthiophene)(PAT)	BF ₄ ⁻ , ClO ₄ ⁻	$10^3 \sim 10^4$
Polyphenylene sulfide(PPS)	AsF ₅	1 ~ 10
Polyphenylene vinylene(PPV)		10^{-6}
	AsF ₅ , I ₂	$5 \times 10^2 \sim 3 \times 10^3$
Polythiopenylene vinylene(PTPV)	AsF ₅	3×10^3
Polyphenylene(PP)	AsF ₅ , Li, K	10^3
Polyazulene(PAZ)	BF ₄ ⁻ , ClO ₄ ⁻	1
Polyfuran(PF)	BF ₄ ⁻ , ClO ₄ ⁻	100
Polyaniline(PANi)	HCl	200

표 9. 기관별 all organic integrated circuits 기술동향

기관	Organic Materials	이동도(cm ² /V.s) 점멸비(I _{on/off})	Substrates	비고 (ref)
Philips	S/D/G: PEDOT/PSS Semiconductor: soluble pentacene	3×10^{-3} $10^2 - 10^3$	Wafers, glass, Polyimide foils	I-Line lithography (35)
CDT /Seiko-Epson /Dow	S/D/G: PEDOT/PSS Insulator: PVP Semiconductor: F ₈ T ₂	2×10^2 10^5	glass	Inkjet Printing (36)
Infineon	S/D/G: PEDOT/PSS Insulator: PVP Semiconductor: pentacene or P3HT	1×10^2 10^3	glass	37

이제까지 사용되고 있는 OTFT용 유기물 재료 및 기술 수준에 대하여 살펴 보았다. 아직까지는 내구성, 수명 등을 언급하기에는 이르나 향후 유기물의 장점을 살릴 수 있는 신소재의 개발이 이루어지고 이를 이용한 소자의 제작기술 수준이 향상된다면, 가까운 장래에 박형의 카드에 대용량의 정보를 저장할 수 있는 스마트카드 그리고 플라스틱 LCD 및 OLED 디스플레이의 능동 구동 회로 등에 사용될 것이 예상되고 있다. 최근 Bell Lab. 에서는 프린팅 방법으로 플라스틱 기판 위에 트랜지스터를 구현하여 대량 생산의 가능성을 보여주었고 전자 잉크와 전자 종이의 구동 회로로 유기 트랜지스터를 이용하는

연구에 박차를 가하고 있어 이 분야 연구의 발전 가능성을 시사했다. 따라서 향후 충분한 성능을 낼 수 있는 유기 반도체가 개발되어 진다면 기존의 Si 반도체 시장을 Organic Electronics가 대체하는 새로운 패러다임의 기술전개가 펼쳐질 것이다.

4. Flexible Electronics 및 Display 의 시장

AOD를 구현하는데 필요한 핵심기술은 크게 Flexible Substrate, Flexible Electronics, Panel 기술로 나눌 수

OTFT를 이용한 All Organic Display의 연구동향

있다. 이 가운데 유연한 기판의 저온공정이 가능한 OTFT 기술을 토대로 한 Flexible Electronics는 그 기판성이 광범위하여 Display 뿐만이 아니라 Integrated Electronics, Smart Card & Tag, Sensor 등의 분야가 가능 할 것으로 예상된다. 따라서 유기물을 이용한 환경 친화적인 두루마리 또는 벽걸이용 Roll-Up 디스플레이, 인체의 내부/외부에도 착용감이 우수한 신기능의 대량정

보 전달이 가능한 센서 등이 새로운 시장으로 예상 된다. 아직은 기술수준이 연구 초기단계로 조사기관에 따라서도 큰 차이가 있는 Flexible Electronics의 시장성은 희망적인 경우에는 디스플레이, 센서, 태양전지 등을 포함하여 2010년에 약 500억불의 수준에 이른다고 보고 되었다⁽¹⁾(그림 4 참조).

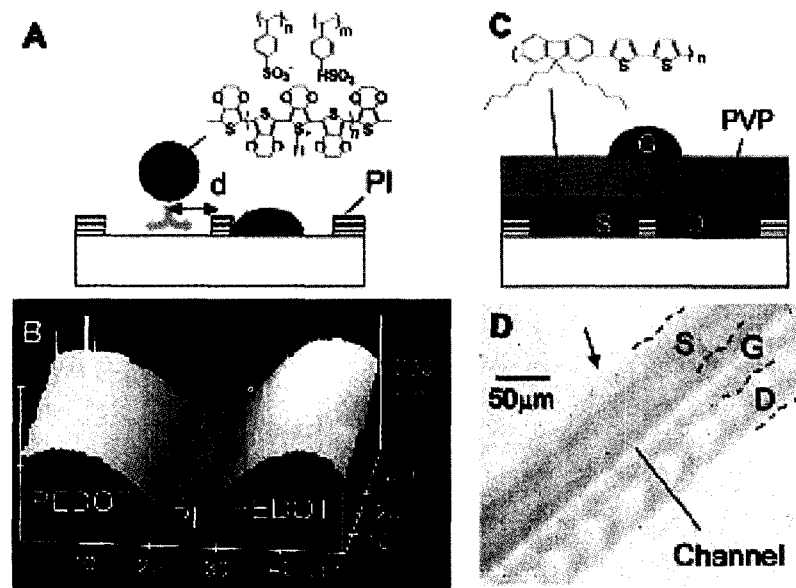


그림 2. LP 방법을 이용한 OTFT 구조⁽¹⁰⁾

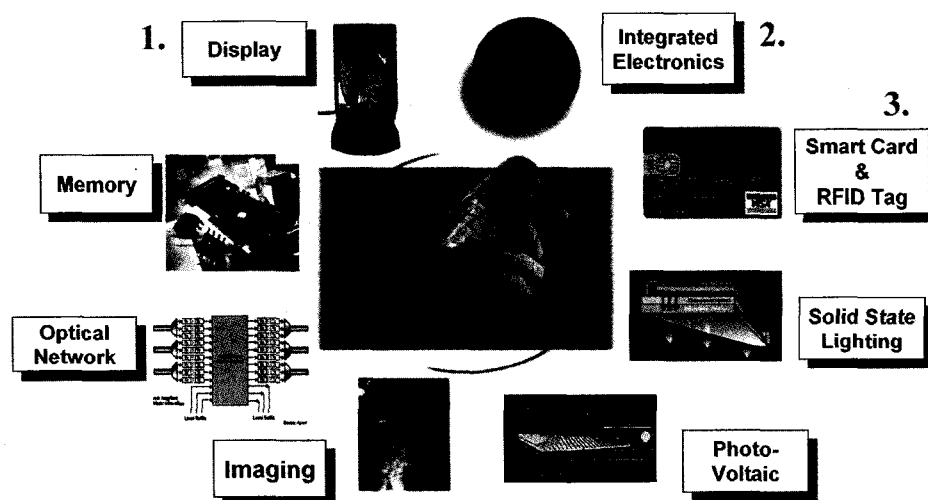


그림 3. Plastic Semiconductors 의 응용범위

5. 대량생산기술

저가격, 대면적을 목표로 하는 차세대 Flexible Display는 현재의 다른 FPD 기술과 비교하여 기반기술의 부족(재료, 소자 및 공정 등의 분야)하다. 이로 인하여 시스템 차원 보다는 부분적인 핵심기술의 개발로 연구가 진행되고 있으며 대량생산 측면에서는 아직 개념을 정립하는 수준이다. 따라서 아직 시장성을 예측하기는 어려우나 생산성 및 가격 면에서 검토되어야 할 공정은 Machine Design의 단순함에 따른 적은 투자비, 연속적인 공정에 따른 Uniform Quality의 생산물, 단순한 대량생산공정에 의한 경제적인 고부가가치, 초박막기판을 사용함에 따른 온도제어, Handling, 경량의 용이함, 운반시에 Non-Exposed 기판사용에 따른 Clean Room 유지비 절감 등을 들 수 있다.

RTR(Roll To Roll Process)과 같은 대량 생산 시에는 단계별 생산가격, 예상되는 Overall Factory Cost, Equipment Cost, Labor Cost, Substrate And

Outsourcing Costs, Clean Class의 수준에 따른 Approximate Clean room Space/Cost 등이 검토되어야 할 것들이다. 이에 따라 DuPont 사가 제안한 대량 생산 개념도를 그림 4에 제시하였다.

맺음말

언제 어디서나 편리하게 사용할 수 있고, 현장감 있는 생생한 화면을 볼 수 있게 해주는 차세대 디스플레이 기술인 Flexible OLED 기술에 대해 간략히 알아보았다. 종이처럼 얇고, 필요할 때 펼쳐 볼 수 있는 Flexible Display는 영화 속의 상상만이 아니라 가까운 장래에 우리들 가까이에서 꿈을 실현시켜 줄 것으로 기대한다. 따라서 디스플레이 분야는 국가차원의 주력 수출 산업인 반도체와 더불어 기존 시장의 지속적인 성장뿐만 아니라 디지털 컨버전스 추세에 따라 신규시장이 개척되는 미래 유망 산업이 될 것으로 예상되며, 첨단기술과의 융합을

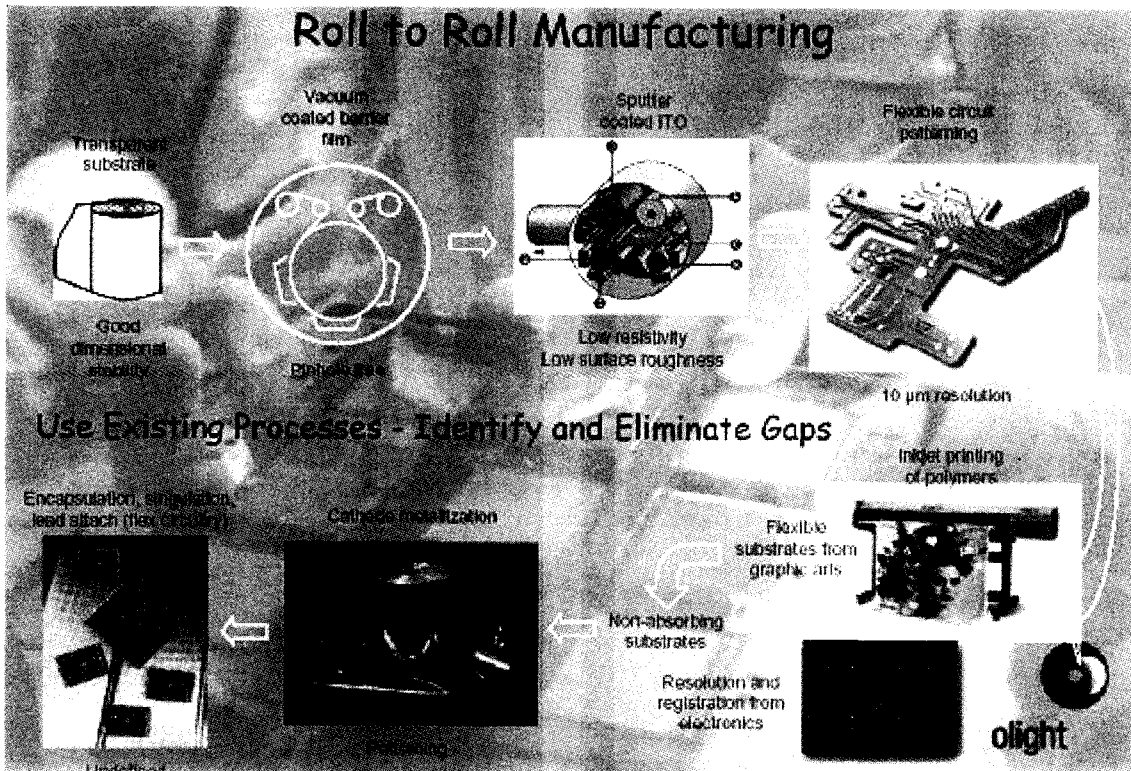


그림 4. RTR 개념에 따른 Flexible Display의 대량생산 흐름도(DuPont)¹¹⁹ 9

OTFT를 이용한 All Organic Display의 연구동향

통한 신기술의 개발로 새로운 시장개척을 가져다 줄 것으로 기대한다.

참고문헌

- (1) <http://www.schott.de/>
 (2) <http://www.vitexsys.com>
 (3) <http://www.flexics.com>
 (4) C.W. Tang, S. A. Van Slyke, C. H. Chen, *Appl. Phys. Lett.* 49, 1210 (1986).
 (5) <http://www.seikoepson.com>
 (6) <http://www.samsung.com>
 (7) <http://www.universaldisplay.com/>
 (8) <http://www.pioneer.com>
 (9) <http://dupontdisplay.com>
 (10) <http://www.philips.com>
 (11) M. Hack, *IMD 2003*, (2003).
 (12) <http://plasticlogic.com>
 (13) <http://w4.siemens.de/ful>
 (14) <http://www.wearable-electronics.de/>
 (15) A. Tsumura, H. Koezuka, and T. Ando, *Appl. Phys. Lett.* 49, 1210 (1986).
 (16) <http://jerg.ee.psu.edu/index.htm>
 (17) J. H. Schön, Ch. Kloc and B. Batlogg, *Org. Electron.*, 1, 57(2000).
 (18) Joyce G. Laquindanum, Howard E. Katz, and Andrew J. Lovinger, *J. Am. Chem. Soc.*, 120, 664 (1998).
 (19) H. Sirringhaus and R. H. Friend, X. C. Li, S. C. Moratti, and A. B. Holmes N. Feeder Lensfield Road, *Appl. Phys. Lett.*, 71, 3871 (1997).
 (20) Hong Meng, Zhenan Bao, Andrew J. Lovinger, Bo-Cheng Wang, and Anthony M. Mujsce, *J. Am. Chem. Soc.*, 123, 9214 (2001).
 (21) G. Horowitz, et al, *Adv. Mater.*, 8, 242(1996).
 (22) R. C. Haddon, A. S. Perel, R. C. Morris, T. T. M. Palstra, A. F. Hebard, and R. M. Fleming, *Appl. Phys. Lett.* 67, 121 (1995)
 (23) D. J. Gundlach, Y.-Y. Lin, and T. N. Jackson, D. G. Schlom, *Appl. Phys. Lett.*, 71, 3853 (1997).
 (24) Francis Garnier, *Chem. Physics* 227, 253(1998).
 (25) D. J. Gundlach, Y.-Y. Lin, and T. N. Jackson, D. G. Schlom, *Appl. Phys. Lett.*, 71, 3853 (1997).
 (26) Sophie B. Heidenhain, Youichi Sakamoto, Toshiyasu Suzuki Atsushi Miura, Hisayoshi Fujikawa, Tomohiko Mori, Shizuo Tokito, and Yasunori Taga, *J. Am. Chem. Soc.*, 122, 10240 (2000).
 (27) Zhenan Bao, Andrew J. Lovinger, and Ananth Dodabalapur, *Appl. Phys. Lett.*, 69, 3066 (1996).
 (28) Zhenan Bao, Andrew J. Lovinger, and Janelle Brown, *J. Am. Chem. Soc.*, 120, 207 (1998).
 (29) C. D. Dimitrakopoulos, D. J. Macaro, *IBM J. Res. & Dev.*, 45, 11 (2001).
 (30) Zhenan Bao, Ananth Dodabalapur, and Andrew J. Lovinger, *Appl. Phys. Lett.*, 69, 4108(1996).
 (31) H. Sirringhaus, R. J. Wilson, and R. H. Friend, M. Inbasekaran, W. Wu, and E. P. Woo, M. Grell and D. D. C. Bradley, *Appl. Phys. Lett.*, 77, 406(2000).
 (32) D. B. Mitzel, K. Chondradoudis, C. R. Kagan, *IBM J. Res. & Dev.*, 45, 29(2001).
 (33) Peter T. Herwig, Klaus Müllen, *Adv. Mater.*, 11, 480 (1999).
 (34) A. Babel, S.A. Jenekhe, *Adv. Mater.*, 14, 371 (2002).
 (35) F. Garnier, R. Hajlaoui, A. Yassar, and P. Srivastava, *Science* 265, 1634 (1994).
 (36) Marcus Halik, Ute Zschieschang, Tarik Kriem, Guenter Schmid, and Wolfgang Radlik, *Appl. Phys. Lett.* 81 (2), 289-291 (2002).
 (37) <http://www.infineon.com>
 (38) Jilji

약 령



도이미

1982년 : 한남대학교 화학과, 이학사
 1984년 : 한남대학교 화학과, 이학석사
 1990년 : 한남대학교 화학과, 이학박사
 1995년 : 동경공업대학교 생체분자공학과, 공학박사
 경력
 1992년-1993년: 동경공업대학 객원연구원
 1996년 - 현재 : 한국전자통신연구원, 선임연구원
 2003년 - 현재 : SID OLED Committee member



최공선

1983년 : 서울대학교 공과대학 금속공학과, 공학사
 1987년 : Univ. of California, San Diego 전자공학, 공학석사
 1992년 : Purdue University 전자공학, 공학박사
 경력
 1992년-1994년: 현대전자 TFT생산기술팀장
 1994년 - 현재 : 홍익대학교 전자전기공학부 부교수