

차세대 Flexible Display의 연구동향



도이미

한국전자통신연구원
반도체원천기술연구소 선임연구원

1. 서론

Display 는 전자기기와 사람간의 인터페이스로서, 전기적인 정보신호를 광정보 신호로 변환하여 정보를 표시, 전달하는 장치로 급속히 발전하는 정보화 시대에 따라 브라운관(CRT)에서 대면적, 고실감화된, 경량의 Flat Panel Display (FPD)로 시장이 변화하고 있다. 따라서 차세대 Display는 보다 더 큰 화면, 보다 실감화 된, 보다 가벼운, 저 전력의 Display가 요구될 것으로 예상되므로 초경량, 저가격, 저전력 대면적이 가능한 유연한 기관의 OLED(Organic Light Emitting Display, 또는 유기EL) 기술은 차세대 Flexible 디스플레이의 한 분야가 될 것으로 기대된다. 본 글에서는 Flexible Display의 시장성과 요소기술인 기관 및 차단층 형성, Full Color화, 스위칭 소자 및 대량 생산기술에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

2. Flexible Electronics 및 Display 의 시장

Flexible 디스플레이의 기술은 크게 Flexible Substrate, Flexible Electronics, 패널, 구동 및 모듈화 기술로 나눌 수 있다. 유연한 기관의 저온공정이 가

능한 Flexible Electronics는 그 기반성이 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 대량정보 전달이 가능한 센서 등이 새로운 시장으로 예상된다. Flexible Electronics의 시장성은 기술수준이 아직 연구초기단계여서 조사기관에 따라서도 큰 차이가 있는 것으로 희망적인 경우에는 디스플레이, 센서, 태양전지 등을 포함하여 2010년에 약 500억불의 수준에 이른다고 보고 되었다(그림1, 표 1)[1].

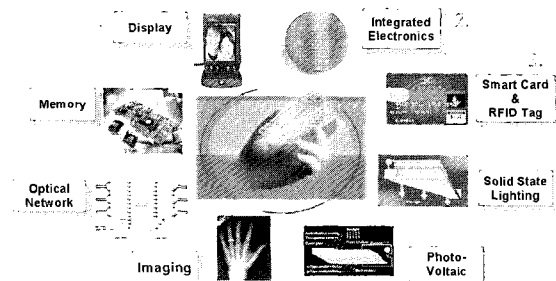


그림 1. Plastic Semiconductors 의 응용범위.

표 1. Semiconductors-on Plastic Opportunities (자료: FlexICs).

Year Segment	2000	2005	2010	2015
Display	\$6B	\$13B	\$25B	\$40B
Imaging	\$0.2B	\$0.4B	\$0.8B	\$1.3B
Integrated Electronics	\$0.6B	\$0.9B	\$1.2B	\$2B
Smart Card	\$0.1B	\$0.2B	\$0.3B	\$0.6B
Memories	\$0.6B	\$1.2B	\$1.5B	\$2.5B
Photonics	\$0.01B	\$0.15B	\$0.42B	\$1B
Bio-Tech	\$0.005B	\$0.02B	\$0.06B	\$0.16B
Solid State Lighting	\$0B	\$0B	\$0.5B	\$5B
TOTAL	\$7.65B	\$15.42B	\$29.78B	\$52.56B

3. 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 실용화를 위한 첩경으로 낮은 투습도, 낮은 투산소도의 특성을 가진 광학적 특성이 우수하고 내화학성, 열안정성이 우수한 기판제작기술이 요구된다. 표 2에는 유연한 기판을 제작시에 검토되어야 할 사항으로 기판의 광학적 특성, 열적인 안정성, 내화학적인 내구성, 및 구부림이 가능한 기계적인 안정성 측면에서 검토되어야 하는 특성에 대하여 나타내었다.

표 3은 Flexible 기판으로 사용가능한 기판종류와 이에 따른 물리적, 화학적 특성에 대하여 나타내었다. 표 3에서 나타난바와 같이 기판은 아직 연구개발 단계로 향후 개발 성공시에는 광범위한 응용범위로 인하여 경제적인 파급효과가 클 것으로 기대된다.

주로 유기물을 소재로 하는 Flexible Electronics와 Display 기술은 수분 또는 산소 등과 같은 화학반응으로 인하여 유기물 소자의 수명이 단축될 뿐만 아니라 재현성 등에 영향을 주므로 보호층 기술이 절대적으로 필요하다. 특히 Display로 사용하기 위하여는 기판 뿐만 아니라 소자를 보호할 수 있는

표 2. Flexible Substrates 제작 시 검토할 사항들.

Specification	Requirements
Flexible	- Free standing films(Steel, ..) - Dielectric coated metal foil, Plastics, etc.
Dimensional stability	- Type of substrate (PEN, PET, glass, etc.) - Film manufacturing process - Heat stabilization process - Barrier coatings - Device making process
Thermal stability	- Withstand elevated processing temperature - Localized high temperatures may be experienced
Radiation Stability	- 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	- Quality of ultimate barrier - ITO quality - Final device quality
Optical transparency	- Affects sufficiency
Internal and external cleanliness	- Polymer formation chemistry - Polymer process control, Film process cleanliness - Manufacturing environment, Process control
Solvent resistant	- Common organic solvents used during processing
Durability	- 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	- Substrates should be resistant to tearing to a specified stress
High Young's Modulus	- Limited elastic stretching deformation during fabrication and handling

표 3. 기판종류에 따른 열적, 화학적 특성[1].

Max. Process Temp.	Material	Characteristics (good, OK, bad)
800°C	Steel	Opaque, moderate CTE, moderate chemical resistance, metal contaminants
325°C	paper™	Clear, poor solvent resistance, high CTE, High Tg
275°C	Polyimide(Kapton)	Orange color, high CTE, good chemical resistance, expensive
250°C	Polyetheretherketone (PEEK)	Amber color, good chemical resistance, expensive
230°C	Polyethersulphone(PES)	Clear, good dimensional stability, poor solvent resistance, expensive
200°C	Polyetherimide(PEI)	Strong, brittle, hazy/colored, expensive
150°C	Polyethylenecapthalate (PEN)	Clear, moderate CTE, good chemical resistance, inexpensive
120°C	Polyester(PET)	Clear, moderate CTE, good chemical resistance, lowest cost

Encapsulation 측면에서 차단층 기술 개발이 필요하다. 현재 사용되는 PES, PET, PEN 기판의 투습도가 1~60g/m²/day/atm 정도의 수준이나 Display로서 소자의 수명을 고려한다면 10⁻⁶g/m²/day/atm 정도를 요구하고 있으므로 보다 새로운 개념의 소재/소자개발이 필요시 되고 있다.

이 같은 개념에서 Schott사는 Flexible Glass Sheets로 부터 접근하는 방법(그림 2)을 제안하였으며[2], Vitex사는 유기/무기 다층박막을 이용한 Ultra-Barrier Packaging 및 Encapsulation System을 제안 하였다(그림 3)[3]. Schott사는 차단성이 우수한 초경량의 유연

한 기판을 대량 생산 하기 위하여 초박막의 유리제 조방법에 기계적으로 안정한 고분자 다층막을 이용하여 기판의 유연성, 차단특성향상, 열적 안정성 향상, 등을 시도하고 있으며, Vitex사는 유기/무기 다층 박막의 개념을 도입하여 차단특성을 향상시킬 뿐만 아니라 박막 패키징을 이용한 소자의 수명향상 기술에 대하여 연구 진행 중이다.

	polymer foils	thin glass	polymer coated ultra thin glass
water permeation	-	o.k.	o.k.
oxygen permeation	-	o.k.	o.k.
thermal stability	-	o.k.	o.k.
chemical resistance	-	o.k.	o.k.
mechanical stability	o.k.	-	o.k.
flexibility	o.k.	-	o.k.
standard manufacturing	-	o.k.	o.k.

그림 2. Schott 사의 유리기판 위에 고분자가 코팅된 Flexible 기판의 특성[2].

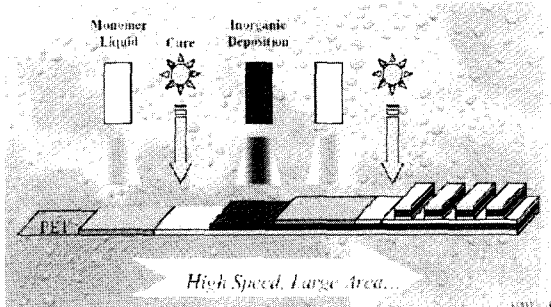


그림 3. Vitex 사의 유기/무기 다층박막 제작 개념도[3].

4. Flexible Display - OLED

OLED는 양극과 음극 사이에 두께가 100~200 나노미터 정도인 유기 박막층이 있는 구조로 전기를 가했을 때 양전극 사이의 유기박막으로부터 가시광선 영역의 빛을 내는 소자를 말한다. 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 전기 발광(electroluminescence, EL)이라고 한다. 사용되는 유기 박막층은 단층으로 제작할 수 있으나, 일반적으로 전하주입을 쉽게 하기 위하여 전하수송이 우수한 다층 유기박막구조를 주로 사용하며, 또한 발광효율을 높이기 위해 발광층에 발광효율이 우수한 유기 색소를 도핑한다. 따라서 소자의 제작이 저온공정이 가능한 OLED는 다른 디스플레이와 비교하여 고효율, 높은 색순도, 고휘도, 넓은 시야각, 빠른 응답속도 등의 특성을 나타내므로 차세대 Flexible Display로 응용 가능할 것으로 예상된다.

플라스틱 기판 위에 Flexible OLED를 제작하는 방법은 크게 ① 유기 저분자를 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 레이저를 이용하여 기판 위에 R·G·B 유기화합물을 열전사하는 방법(Laser induced thermal image, LITI) 등으로 구분할 수 있다.

이 방법들 중에서 차세대 Flexible Display의 가장 큰

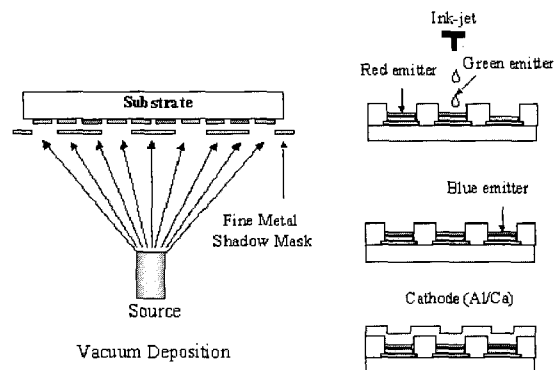


그림 4. 진공 증착법(왼쪽)과 잉크젯 프린팅(오른쪽)을 이용한 OLED 제작 방법.

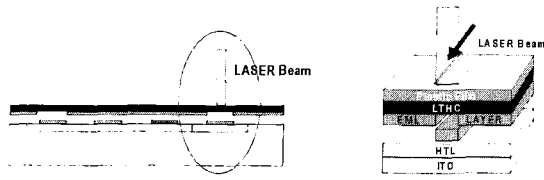


그림 5. 열전사를 이용한 Flexible OLED 제작[5].

장점인 값싸고 대면적이 가능한 기술적인 측면에서 보면 ①보다 ② 또는 ③의 방법이 유리할 것으로 예상된다. 그러나 아직 저분자를 진공 증착하는 방법이 가장 우수한 디스플레이 특성을 나타내고 있어서 Pioneer, UDC 등 많은 회사에서 이 방법을 사용하고 있다. Dupont, Philips 등은 고분자 용액을 이용한 잉크젯 프린팅 방법을 연구하고 있는데 잉크의 분산, 위치제어, 박막의 두께조절, 등 화학적, 물리적, 기계적 특성제어 등의 기술개발이 필요하다(그림 4)[4].

삼성 SDI와 3M이 같이 개발한 LITI 방법은 레이저 빔을 조사하여 발생하는 열에 의해 Donor 필름으로부터 기관 또는 유기 박막 위로 유기물을 전사하여 소자를 제작하는 기술이다. 전사시키는 Donor 필름의 형성 제어(흡착 및 탈착), 코팅필름박막의 두께 균일도 제어, 다층박막 제작 시에 적층 제어 등이 핵심기술이다(그림 5). 향후 기술의 발전에 의하여 실온, 대면적에서 고분해능, 고해상도를 얻을 수 있다

면 저가격 공정으로서 대량생산 측면에서 큰 장점을 가지게 될 것이다[5].

아직 연구개발 단계인 Flexible OLED 기술은 플라스틱 기관 위에 형광 또는 인광재료를 이용한 Passive Matrix(PM) OLED 기술이 진일보 하고 있는 수준이며, 인광재료를 이용한 소자특성(색순도, 휘도, 수명 등)은 그림 6와 같다. 플라스틱 PM-OLED의 경우 Pioneer, UDC[6], DNP가 저분자를 이용하고 있으며, Dupont, Philips 등이 고분자를 이용하여 연구 진행하고 있다. 그림 7에는 이제까지 연구 보고된 Flexible OLED 시작품을 나타내었다.

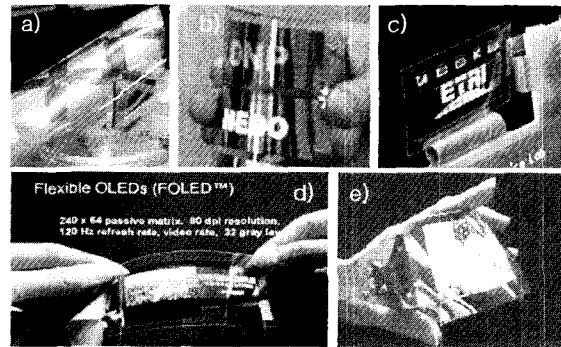
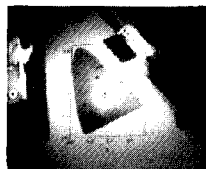


그림 7. 다양한 Flexible OLED의 시작품.

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).

PHOLED Name	RD07	RD09	GD29	BD14	BD30
Color					
CIE (x, y)	0.65, 0.35	0.67, 0.33	0.30, 0.05	0.14, 0.37	0.14, 0.23
Luminous Efficiency (cd/A) at 1 mA/cm ²	12	20	24	16	10
Luminance (cd/m ²) at 1 mA/cm ²	120	200	240	160	100
Lifetime (hours)	75,000 @ 500 cd/m ²	12,000 @ 200 cd/m ²	13,000 @ 600 cd/m ²	Under development	Under development



White PHOLEDs

- CIE = (0.37, 0.40), CRI = 83
- 31,000 cd/m² at 14V
- 6.4 lm/W

그림 6. UDC 사의 인광재료의 Performance[6].

5. Flexible Display 용 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 4는 스위칭 소자 종류에 따라 가격, 생산성, 소자의 성능, 실용화 측면 등에서 비교한 것이다. 유기 박막 트랜지스터는(OTFT)는 아직 성능이 많이 개선되어야 하지만 제조 공정 온도가 낮아서 유연한 플라스틱 기판을 사용할 수 있고, 기존의 실리콘 기반기술보다 훨씬 싸게 제조할 수 있기 때문에 Flexible display에 가장 적합할 것으로 생각된다. 특히, 전극으로 전도성 고분자를 사용하고, 게이트 절연체로 유기 트랜지스터는 기판, 활성층, 절연층, 그리고 전극 등의 모든 물질을 유기물로 사용하는 것을 궁극적인 목표로 하고 있다. 전 세계적으로 Seiko-Epson, Plastic Logics, Philips, Dupont 등에서 활발히 연구를 진행하고 있으며, 국내에서도 산학연을 중심으로 연구진행되고 있다.

특히 Plastic Logic사[7]는 고분자를 이용하여 전극, 절연체, 유기반도체 층을 IJP 방법으로 유기반도체 스위칭소자를 구현하였으며 미국의 Superior Micro Powders, Spectra, Optomec 와 함께 8.8×11" 급 AM Flexible Electronic Paper Display를 목표로하여 연구진행 중에 있다. OTFT에서 IJP 방법은 용액공정의 연속성 및 정밀도가 개발된다면, 효율적인 재료이용, 다양한 소재의 이용 가능성이 예상되므로 향후 기술의 파급효과가 클 것으로 기대된다.

OTFT의 활성층으로는 p⁻형 물질로 펜타센

(pentacene) 등 다양한 유기 저분자 재료, thiophene 계열 oligomer 또는 polymer 등이 사용되고 있으며, n⁻형의 경우는 F₁₆Cu-PC, TCNQ, perylene, C₆₀ 등이 보고되고 있다. 게이트 절연체로는 일반적으로 유전상수가 크고 절연강도가 높은 무기물을 사용하고 있으나, 최근 유기물인 polyimide, photoresist, poly(4-vinylphenol)(PVP) 등을 사용하는 연구도 진행되고 있다. 전극 재료로서 Al 등 금속을 일반적으로 사용하고 있으나 온도에 약한 유기물에 금속을 증착할 때 발생할 수 있는 문제점을 극복하기 위하여 전도성 고분자인 polyaniline, PEDOT 등을 사용하는 연구가 시도되고 있다[9]. 현재까지 문헌에 발표된 최대 전하 이동도(μ_{FEET})는 p-type의 경우 이미 a-Si 수준을 넘는 약 5cm²/Vs까지, n-type의 경우 0.1cm²/Vs에 도달했다. 스위칭 소자로서 점멸비(I_{ON}/I_{OFF} 전류비)는 10⁶ 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 목표로하여 연구진행 중에 있다.

6. 대량생산기술

저가격, 대면적을 목표로 하는 차세대 Flexible Display는 현재의 다른 FPD의 기술과 비교하여 기판

표 4. Flexible Display 구현을 위한 스위칭 소자의 특성[8].

	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	Under Development	Good	Excellent
Compatibility	Under Development	Good	Excellent

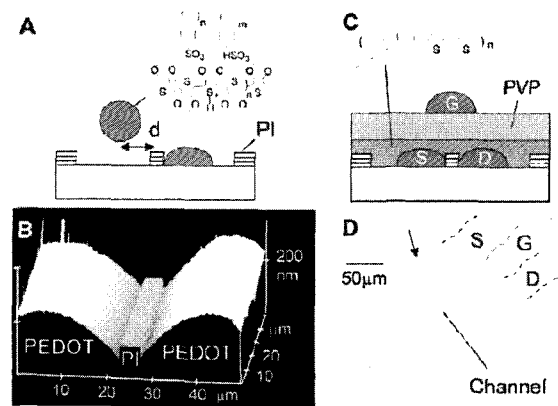


그림 8. IJP 방법을 이용한 OTFT 구조[10].

기술의 부족(재료, 소자 및 공정 등의 분야)으로 인하여 단계적인 기술이 진행되고 있으며 대량생산 측면에서는 아직 개념을 정립하는 수준이다. 따라서 아직 시장성을 예측하기는 어려우나 생산성 및 가격면에서 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 Class 의 수준에 따른 Approximate Cleanroom Space/Cost. 등이 검토되어야 하며 대량 생산 개념도는 그림 9와 같다.

7. 결론

이 글에서는 언제 어디서나 편리하게 사용할 수 있고, 현장감 있게 생생한 화면을 볼 수 있게 해주는 차세대 디스플레이 기술인 유기 EL 디스플레이 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 반도체와 더불어 국가차원의 주력 수출 산업인 디스플레이 분야는 기존 시장의 지속적인 성장뿐만 아니라 신규시장이 개척되는 미래 유망 산업이 될 것으로 예상되므로, 첨단기술과의 융합을 통한 신기술 개발과 신시장 개척을 가져다 줄 것으로 기대한다.

참고 문헌

- [1] <http://www.flexics.com>
- [2] <http://www.schott.de/>
- [3] <http://www.vitexsys.com>
- [4] <http://www.seikoepson.com>
- [5] <http://www.samsung.com>
- [6] <http://www.universaldisplay.com/concepts.php>
- [7] <http://plasticlogic.com>
- [8] M. Hack, IMID 2003, (2003).
- [9] C. D. Dimitrakopoulos, D. J. Mascaro, IBM J. Res. & Dev., 45, 11 (2001)
- [10] H. Sirringhaus, T. Kawase, R. H. Friend, T. Shimoda, M. Inbasekaran, W. Wu, and E. P. Woo, Science, 290, 2123(2000)
- [11] <http://dupontdisplay.com>.

· 저 · 자 · 약 · 력 ·

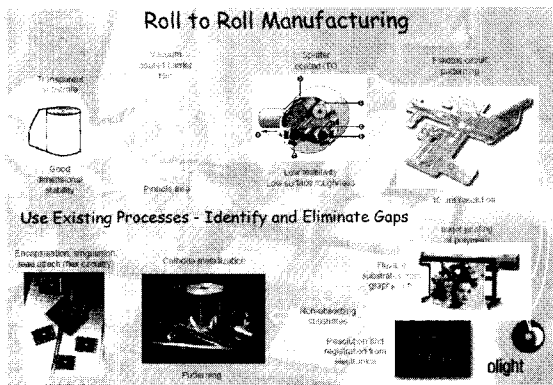


그림 9. Dupont 사의 RTR 개념에 따른 Flexible Display의 대량생산 흐름도[11].

성명 : 도 이 미

◆ 학 력

- 1982년 한남대 화학과 이학사
- 1984년 한남대 대학원 화학과 이학석사
- 1990년 한남대 대학원 화학과 이학박사
- 1995년 동경공업대학 생체분자공학과 공학박사

◆ 경 력

- 1992년 - 1993년 동경공업대학 초빙연구원
- 1996년 - 현재 한국전자통신연구원 반도체원천기술연구소 선임연구원