

유기 EL 디스플레이 및 유기 레이저 (Organic electroluminescent display and organic LASER)



설 창
(인하대 섬유공학과 부교수, 교수)



ZHENG hai-lan
(인하대 섬유공학과 박사과정)



김 용 태
(인하대 섬유공학과 석사과정)

1. 서론

지금 우리나라에서 많이 사용되는 표시소자는 TV, computer monitor, cell-phone 표시창 등이 있다. TV나 computer monitor는 CRT(cathode ray tube)가 점점 TFT-LCD(Thin Film Transistor- Liquid Crystal Display)로 바뀌고 있으며 새로운 표시소자로 PDP(plasma display panel)가 대두되고 있다. PDP보다는 사업화가 약간 뒤처지는 했지만 유기 EL 소자(Organic Electroluminescent Devices, OLED)로 된 제품을 삼성SDI가 2001년 8월 대구에서 열린 'SID(Society for Information Display)2001'에서 8.4인치(1백71mmx1백28mm) 유기EL 시제품을 선보였다. 2002년에는 유기 EL Display를 생산할 준비를 진행중이다. 국내에서도 본격적인 OLED 산업시대가 시작되었다.

Optics Report에서는 현재 (2001.5월 자료) 세계적으로 400억 달러 시장을 LCD(주로 laptop)와 CRT(주로 television)가 나누어 점령하고 있으며 이러한 판도는 짧은 PDP와 같은 field emissive display 시장을 거쳐 바로 유기발광 Display(Organic Light-Emitting Diode, OLED)로 나아갈 것이라 전망하고 있다.[1]

Bell Labs의 Schön에 의하여 2000년 전하주입형 유기 LASER가 개발되었다.[2] 유기분자전자소자 영역의 혁신적인 발명이다.

2. 유기EL display의 영어(약어) 표현.

유기발광소자를 영어로 표현하는 방법은 다양하다. 저자는 현재 많이 사용되고 있는 표현들을 www.yahoo.com에 넣고 검색하여 그 검색된 web site의 개수를 조사하여 다음 table에 실었다.

표 1. # of web sites searched with given strings on the Yahoo search engine.

Strings searched	# of sites	Strings searched	# of sites
Organic ELD	2070	OELD	502
Organic EL	107000	OLED	33700
Organic LED	174000	electroluminescence	540
Organic electroluminescence	2990	Organic electroluminescence display	708
PLED	38300	Polymer LED	38000
PELD	575		

이 결과를 보면 Organic LED가 압도적으로 많이 사용되고 있으며 그 다음으로 Organic EL이 많이 사용되고 있다. 그러나 OLED를 개발한 Ching Tang은 Organic Electroluminescent Device란 용어를 논문 제목으로 사용하였다. 지금 많이 사용되고 있는 무기결정으로 만들어진 Light-Emitting Diode와 구분하기 위하여 유기물로 되어있는 전기발광현상은 유기EL로 사용하는 것이 좋다고 보인다.

3. 유기 및 고분자 발광소자 review 문헌 및 web sites

OELD 및 고분자발광소자(Polymer electroluminescent device, PELD)에 관한 review 문헌은 제법 많고 그것을 여기에 간추려본다. 고분자는 주로 유기물(C 화합물)로 이루어져 있으므로 고분자 발광소자는 유기발광소자의 범주에 속한다. 그러나 고분자는 저분자 유기물과는 달리 박막을 형성시키는 것이 쉽고 또 고분자의 구조 및 물성이 저분자 유기물의 구조와 물성과는 차이가 많이 나므로 구분하는 것이 편리한 측면도 있다.

국내에서 발간된 review 문헌도 제법 많다.[3-14]

세계적인 유명 저널에 소개된 유기 EL 관련 review paper도 많이 찾을 수 있다. [15-20]

internet으로 검색하면 많은 유기EL display관련 국내 website를 찾을 수 있다.[21]

물론 국외 website도 많다. 외국의 경우에는 OLED관련 회사의 website[22]가 많으며, 대학 연구실이나 연구소 등에서 제공하는 website[23] 중에 불만한 것이 많다.

4. 유기발광소자의 개발역사.

1979년 Kodak 연구소의 홍콩 출신 화학자 Ching Tang이 유기물 태양전지를 연구하던 중에 어떤 태양전지에서 파란빛을 나는 것을 발견하였다. 이 EL 현상을 깊이 연구하여 효율 좋고 상용화가 가능한 정도의 OELD를 발명하고 이것을 논문으로 발표한 것이 1987년이다.[24]

1988년 Cambridge 대학교 Cavendish 연구소의 박사과정 학생이던 제레미 버루즈가 PPV라는 고분자에 대하여 광전도도를 조사하던 중 우연히 직류 전원이 부가된 광전도 실험용 소자에서 발광현상을 보게 되었다.[25] 이후 그의 스승인 Friend와 함께 Cambridge Display Technology를 설립하여 오늘에 이르고 있다.

한편 세계적으로 전도성 고분자를 처음 발전시킨 UCLA, Santa Barbara의 Alan J. Heeger 교수는 전도성 고분자의 발전방향으로 OELD, PELD를 연구하기 시작하였으며 연구 성과가 조금씩 나오자 Uniax라는 회사를 설립하고 이것을

cell phone panel 등에 이용할 수 있으리라는 확신 속에 투자를 유치하고 OELD 기술을 비약적으로 발전시켜 상용화를 시키는데 성공하였다. 이후 이 기술은 DuPont Displays(22a)로 넘겨져 활용되고 있다.

Heeger 교수는 전도성 고분자의 발전에 기여한 공로로 2000년 Nobel 화학상을 U.Penn의 A.G.MacDiarmid 교수, 일본의 H.Shirakawa 교수와 공동 수상하였다.

세계 최초로 유기EL을 상용화한 것은 1996년 일본의 동북 pioneer전자에서 유기물을 진공증착하여 monochrome 유기 전기발광 디스플레이를 자동차 FM 수신용 panel display로 시판한 것이다.[26]

시장조사 기관인 스탠포드 리소스 회사[27]의 추정에 따르면, 90여개 업체가 OLED 시장을 겨냥하고 있다. 그 가운데 37개 회사를 거명하고 있는데 우리나라에서는 NESS Display Co. Ltd, Samsung NEC Mobile Display, LG Electronics의 3 회사가 들어있다.

5. OELD용 재료, 현상, 구동

5.1 OELD용 재료

OELD재료에 관해서는 Dentan et al.논문[18]에 잘 나와 있다. 여기서는 그 논문을 참고하고 새롭게 필요한 부분을 넣었다.

5.1.1 양극(anode)

전기발광소자는 빛을 발하는 소자이므로 2개의 전극중 적어도 하나는 빛을 밖으로 전달할 수 있어야 한다. 양극물질로는 주로 indium-tin-oxide(ITO)를 사용하는데 이것은 10 mol%의 tin oxide가 indium oxide에 포함되어 있는 것으로 투명도가 높고 (85% @550nm), 전도도가 높으며 (10¹⁰/□) work function이 4.7eV로 높아 hole 주입이 좋다. 대부분 양극물질로는 ITO를 사용한다. Flexible OELD 를 위하여 ITO 대체용 고분자는 일찍부터 개발되었고 그것은 Heeger 그룹이 제시한 polyaniline이다.[28]

5.1.2. hole injecting layer(HIL)

HIL로는 Cu Phthalocyanine이 많이 사용되었으나 청색 및 적색에서 흡수가 있는 문제가 있었고 이 점을 개선하여 최근에는 청색 흡수가 없는 starburst 형의 amine이 많이 사용되고 있다. [11]

Polyaniline을 Camphorsulfonic acid(CSA)로 doping 한 것을 ITO위에 도포한 것도 HIL로 사용한 연구도 있다. ITO 전극 위에 buffer layer로서 상용화 수준에 있는 것이 PEDOT/PSS이다. (이것은 Hoechst에서 팔고 있음). 이것은

전도성 고분자인 PEDOT에 전도성을 증진시킬 목적으로 고분자 dopant인 PSS를 혼합한 것이다.

최근에 발견된 것으로는 방향족 diamine을 포함하는 고분자(예 polyvinyltriphenylamine(PVTPA))에다 강한 acceptor인 TBPAH 또는 DDQ를 혼합한 것도 효과가 있다고 한다.[29]

5.1.3 hole transporting materials(HTM)

대부분의 유기, 고분자 물질은 hole의 이동도가 전자의 이동도 보다 크다. 일반적으로 가장 많이 사용되는 유기물로는 TPD가 있다. 이것은 Tang 이 HTM으로 초창기에 사용하였던 물질이다. 그 뒤 NPB, CBP가 사용되었다. Sony에서는 NPB를 사용하는데 이것은 열적인 안정성이 NPD보다 좋으며 단층으로 소자를 만들면 청색이 나는 물질이다.

5.1.4 발광 물질

최초의 발광층 물질은 Alq3이었다. 이 물질은 가운데 Al이 있고 그 주위로 3개의 quinoline이 6개의 ligand로 형성된 착물이다. 이것은 합성하기도 쉽고 시약상을 통하여 쉽게 구입할 수 있다.

고분자 발광물질로 사용된 것은 PPV이었다. 그러나 이 고분자는 precursor형태로 substrate에 도포한 다음 elimination 단계를 거쳐 PPV로 만들면 불용 불용이라 안정하지만 elimination단계에서 복잡한 chemistry를 가지는 것으로 보인다.[30] 이 후 물에 녹으면서 발광효율이 큰 MEH-PPV가 개발되었고 대부분이 이 물질을 가지고 고분자 LED를 연구하였다.

재료를 잘 만드는 회사를 보면, 저분자량 유기물 발광물질을 만드는 것은 Eastman Kodak이고 고분자발광물질은 CDT이고, 희토류를 포함하는 유기물(organolanthanides)을 잘 만드는 회사는 Osys Ltd.(Oxford, England)[22i]로 볼 수 있다.

일중항 발광에서는 그 발광 천이 확률이 최대값의 25%만 이용이 가능하나 삼중항 발광을 이용하면 전체의 75%까지 이용할 수 있다. 여기에 착안하여 효율을 높이는 한 방법으로 3중항의 인광을 이용하고자 하는 연구가 시작되었다. 이 인광을 이용하기 위해서는 스핀-궤도의 상호작용이 커야 일중항 엑시톤이 삼중항 엑시톤으로 천이할 수가 있다. 이러한 연유로 스핀-궤도 상호작용이 클 수 밖에 없는 무거운 원자(원자번호가 큰)를 발광물질에 포함하는 유기물을 찾게 되었다. 이러한 전자가 많은 무거운 원자는 주로 희토류원소로 우리나라에서는 물질을 구하기가 어려워 초기 연구의 대상이 아니었다. 일본의 츠츠이 그룹에 있는 양문제가 희토류원소를 갖는 유기물을 검색하고 실험을 하는 동안에 화학과 물리 양쪽의 back-

ground를 가지고 있는 Princeton 대학의 Forrest group에서 먼저 효율 좋은 희토류 원소 발광소자를 발표하였다. [32]

5.1.4.1 Red

Kodak에서는 Alq3에 DCM을 dopant로 사용하여 빨간색을 구현하였다.

CDT에서는 poly(cyano terephthalylidene)(CN-PPV) 고분자로 빨간색 물질을 제안하였다.

Forrest group에서는 Alq3에 인광성 물질인 PtOEP를 doping하여 높은 양자효율을 갖는 빨간색 전기인광소자를 개발하였다.[31]

UDT에서는 Forrest group과 함께 고효율의 빨간색 인광물질로 Ir(ppy)3 착물을 만들고 특허를 신청해 놓고 있다.[22e]

5.1.4.2 Green

Green물질로는 Alq3가 초창기부터 사용되고 있으며 현재도 여전히 많이 이용되고 있다. 고분자 발광물질로는 CDT의 초창기 물질인 PPV를 약간 바꾼 MEH-PPV가 많이 이용되고 있다.

5.1.4.3 Blue

본 연구실에서는 poly(para-phenylene)(PPP)이 청색물질로 적합하다는 생각에서 연구를 계속해 왔다. 세계적인 효율은 얻지 못하였으나 일중항 만을 이용하는 발광소자로 보면 제법 효율이 높은 발광소자를 만들 수 있었다.(단층소자 외부 양자효율 0.02%)[32]

Idemitsu Kosan에서는 일찍부터 DPVBi 계열의 고분자를 사용하여 왔다.

청색을 내는 polyfluorene계 고분자는 처음에 CDT에서 개발하였으나 이제는 특허권을 Dow에서 양도받은 후 개발을 계속하고 있다. Dow에서는 blue PELD용 물질로 분자량이 크고 순도가 좋은 polyfluorene을 사용한다.

아직도 blue는 후보는 많으나 효율이 높고 안정한 대표 물질은 결정되지 못한 상태이다.

5.1.5 electron transporting materials(ETM)

ETM으로는 금속-킬레이트(metal chelates)(예를 들면 Alq3, BeBq2 등), 1,3,4-oxadiazole(예 PBD), 1,2,4-triazoles(예 TAZ) 등이 사용된다. 때에 따라서는 이러한 물질이 dopant와 함께 사용하면 발광층 matrix물질로 사용되기도 한다.

5.1.6 전자 주입층 물질

이 부분에 대하여 연구한 것은 많지 않으나 cathode와 발광층 사이에 LiF층을 0.5nm정도 깔면 barrier 가 낮아져 elec-

tron 주입이 쉽게 일어난다.[34] Phthalocyanine 의 H를 F 로 모두 치환한 물질은 전자주입이 좋다는 보고도 있다.

5.1.7 음극(cathode)

Cathode물질로는 work function이 낮은 Al(WF:4.3eV) 가 많이 사용되고 있다. 이것은 Al이 상당히 안정하기 때문이다. Mg:Ag (1:9)로 공증착하여 만든 cathode도 안정하고 효율이 높다. 연구초창기에는 Ca를 쓰기도 하였으나 너무 쉽게 산화하여 효율을 올리고자 하는 경우를 제외하고는 거의 사용되지 않는다.

저자들은 single-walled carbon nanotubes를 음극으로 사용한 경우 turn-on voltage만 낮아지고 양자효율은 크게 변하지 않는다는 것을 관찰하였다. [35]

5.2 소자의 열화 및 봉지

유기발광물질인 유기반도체는 부가하는 전류에 따라 Joule 열이 발생하고 이것으로 인하여 저분자인 경우에는 결정화와 산화가 일어나거나, 공기 중에서 작동시키는 경우에는 흡착된 물이 전기 분해를 하여 산소와 수소가 발생한다고 한다. 고분자의 경우에는 역시 산화를 일으켜 화학적 구조가 변하게 된다. 이러한 degradation을 막기 위하여 보통 유기 LED는, 금속 can 이나 유리 사이에 끼우고 진공으로 뽑아 산소 및 습기의 접촉을 막는 방법으로 sealing을 하여 사용하도록 되어있다. 아직도 습기 제거제(BaO, CaO)를 소자 속에 넣어 수명을 늘이는 방법이 사용되고 있다. 이와 병행하여 방열을 쉽게 하여 degradation을 줄이는 방법이 효과를 더해줄 것으로 보인다. 이러한 예로는 PmPV에 carbon nanotube 5%정도 넣은 PLED에서는 혼합해 넣은 경우 열전달이 잘되고 그 결과 degradation이 늦어져 수명이 5 배 향상되었다는 보고도 있다.[36]

5.3. color화 방법.

제일 손쉬운 방법은 color monitor에서처럼 색 filter를 사용하는 방법이 제일 손쉽다. 즉 발광물질을 색 filter 에 대응하는 곳에 mask로 도포하여 각 화소가 RGB를 각각 발광하도록 하는 방법이다. 순수한 RGB를 발광하는 물질을 합성하여 이 세가지 RGB물질을 사이 사이에 위치하게 하여 색을 혼합할 수 있는 방법이다. 순수한 RGB물질은 효율이 좋은 유기 화합물을 화학적으로 조금 바꾸어 순수한 색이 나오도록 color tuning 또는 tailoring하면 된다.

2번째 방법은 기존의 청색 물질을 주 발광층으로 하고 이 기본 색을 에너지가 낮은 초록,빨강으로 바꾸는 방법인데 여기에는 color를 바꾸어 주는 color conversion film (CCM)층이 있어야 한다. 이 방법의 변형으로 흰색을 발하는 유기EL

층을 만든 다음 RGB 무기 필터 층을 거쳐, RGB 빛을 내는 방법도 연구 중이다. 이 방법은 기존 color CRT의 color filter기술을 이용할 수 있으므로 좋은 점이 있다.

세번째 방법은, RGB 세가지 색을 내는 층을 투명도전전극으로 적층하여 3층으로 쌓고 여기서 필요한 부분에 전류를 인가하여 색을 내는 방법이다. 이 방법은 pixel 하나가 다양한 색을 낼 수 있어 좋기는 하나 3층을 쌓아야 하는 복잡한 것이 문제이다.

세계적으로 먼저 출시된 것은 화면의 특정 부분별로 색이 다른 ELD를 붙여 놓은 개념의 에어리얼(Areal) 컬러 유기EL 이었고 (이것은 화면의 특정한 부위만을 빨간색, 어떤 부위는 청색 등으로 on-off만 가능한 것) 지금 시점에서 선전하고 있는 것은 풀 컬러 유기EL 제품이다.

5.4 구동회로

OLED에서는 화소 하나 하나를 구동하는 방식인 active matrix형 구동방식이 주류를 이루고 있다. 구동회로에는 source, power, gate line이 있으며 storage capacitance에 전하를 공급하는 switching TFT, 발광부에 전류를 공급하기 위한 drive TFT, switching TFT가 turn-off 되더라도 storage capacitance에 저장된 전하의 전압에 의해 작동되는 drive TFT로 이루어져 있다. 이처럼 화소 하나 당 Thin Film 형태의 Field Effect Transistor가 2개, capacitor가 1개 필요하고 이러한 구성 소자 모두를 유기물로 제작하면 공정상 제작이 간편해 진다. 연구가 진행되어 구동 회로용 Organic FET와 발광소자 부분을 일체화 한 소자를 제작할 수 있게 되었고 그 기술을 적용하는 단계에 와 있다.[37,38]

6. OLED와 LCD와 비교

그림 1의 왼쪽에 나타난 것이 LCD, 오른쪽 Kodak-Sanyo 에서 개발한 14cm 항공기 승객용 개인 OLED이다. 모두 active matrix 형의 구동이기 때문에 pixel 하나에 TFT 등의 구동소자도 1개 이상 배치되어있는 공통점이 있다. OLED가 LCD 보다 간단하다는 것을 한 눈에 볼 수 있다.

7. OLED의 양자효율

OLED는 단층으로 제작하면 제일 간단하다. 단층으로 제작된 OLED에서 중 최고의 외부양자효율은 2.0%에 달한다. 일반적인 전도성 oligomer를 이용한 예로 ITO/P10/Al소자의 양자효율이 0.02% 정도이므로 이것은 100배나 양자효율이 높은 것이다. Alq3와 rubrene을 polystyrene에 20 : 1.5 : 100의 무게 비율로 섞어서 200 μm 구멍크기를 갖는 filter를

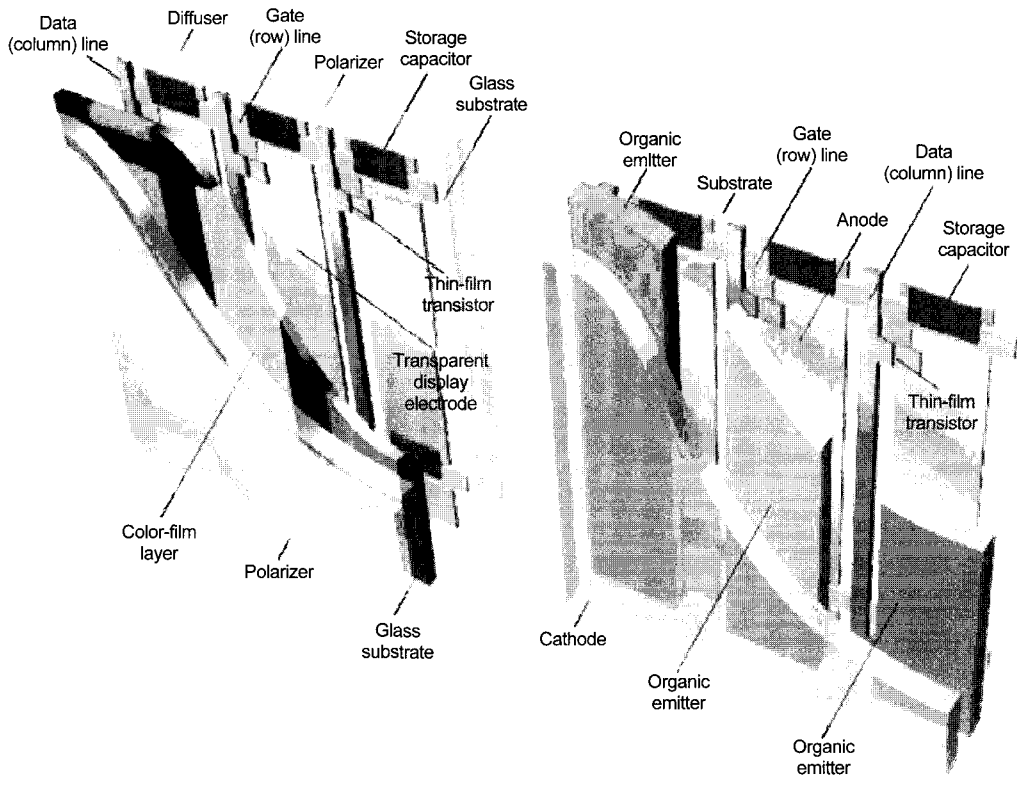


그림 1. TFT-LCD(왼쪽)과 Kodak-Sanyo 14cm OLED(오른쪽)의 열개 비교.

통과시켜 깨끗하게 만든 다음 ITO기판 위에 spin-coating하여 100nm되는 필름을 얻고 그 위에 Al(100nm)/TiW(15nm)/Au(100nm) 전극을 차례로 형성시켜서 제작한 것이다.[39]

영국 CDT에서는 polyfluorene 계 고분자를 이용하여 2.6V에서 휘도 100cd/m², 발광효율 22lm/W인 녹색 ELD를 제작하였다. 이것은 무기반도체 LED의 최대효율인 20 lm/W를 능가한다.[40]

일본 큐슈대학의 츠츠이 교수 그룹[41]은 /(6.5wt% Ir(ppy)₃:CBP)/를 발광층으로 사용하여 ITO/a-NPD/ (6.5 wt%Ir(ppy)₃:CBP)/ BCP/ Alq₃/ Li₂O/Al (110nm/35nm/10nm/10nm/40nm/0.5nm/100nm) 층의 소자를 만들고 외부양자효율 13.7%@105cd/m²=power efficiency 38.3 lm/W의 OLED를 제작하였다고 보고하고 있다.

그러나 이 소자는 Princeton 대학의 Forrest group에서 nature에 게재한 논문의 소자(양자효율 8%)[42]를 그대로

따라 만든 것으로 물질의 purity를 향상시키고, 최적 두께를 잘 설계하여 만든 것으로 본래 것보다 2배정도 효율이 증가한 것이다.

2000년 Forrest group에서는 ITO/HMTPD(50nm)/(7%-Ir(ppy)₃:BCP)(30nm)/ Alq(40nm)/ Mg:Ag(150nm)/Ag(20nm) 소자에서 외부양자효율 15.4%, 전력효율 40 lm/W를 얻었다. 이것이 OLED 세계최고 기록이다.[42,43] Ir(ppy)₃는 희토류 Ir를 중간에 갖는 유기물로 그 자체로는 녹색을 발하는 착물이다. 보통 삼중항 exciton의 수명은 일중항에 비하여 긴 것이 흠이나 Ir(ppy)₃는 상대적으로 짧은 수명(~500ns)을 가지므로 인광발광소자로서 이용하기가 용이하다.

8. Organic EL 최근 개발 현황.

최근의 개발현황 및 새 제품은 universal display corpora-

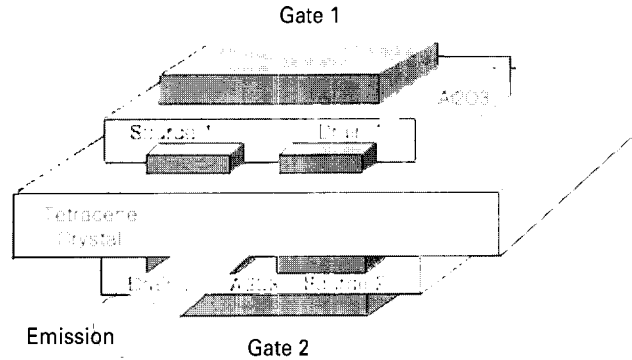


그림 2. tetracene single crystal을 이용한 유기 LASER의 구조(2)

tion[22e]에서 가장 잘 볼 수 있다.

UDC에서는 Transparent OLED를 만들고 그 위에 화면을 형성하면 화면이 보이고 화면을 끄면 투명하게 뒤틀면 보이는 새로운 OLED도 만들고 있다.

새로운 형태로 Flexible OLED를 출시하고 있다. 이것은 완전히 족자형으로 감아 운반할 수 있고 이것을 펼치면 우리가 보고자 하는 화면형태로 볼 수 있는 최고의 기술을 구사하고 있다.

미국의 eMagine회사는 IBM과 공동으로 wearable computer용 OLED 디스플레이 시제품을 만들었다. 손목 시계처럼 착용할 수 있는 이 컴퓨터는 직경이 2.5센티미터 밖에 안 되는 소형 OLED를 사용한다. 또 비디오 및 인터넷 이미지를 디스플레이 할 수 있는 OLED는 화면 크기가 1인치 보다 작다. Head-set에 장착하여 외눈박이 안경처럼 눈에서 3 cm 정도 띄어 놓고 렌즈를 통해 본다면 넓은 화면 형태로 볼 수 있다. [44]

Tokyo-Toshiba Corporation에서는 고성능 full color OLED를 2002년 4월에 출시할 준비 중이다. 이것은 polysilicon thin film transistor (TFT) array에 고분자발광물질을 도포하여 가능하게 된 기술이다.

SONY에서는 2001년 2월, 13인치 OLED를 개발하여 대형 OLED 시대를 예고하고 나섰다. 소니는 2003년 경에 20-30인치의 OLED 텔레비전 화면을 판매하기 시작할 예정이라고 한다. 대만의 Ritek 디스플레이 테크놀로지는 100인치 OLED까지 개발할 수 있을 것으로 예측하고 있다.[45]

삼성SDI는 세계 최대 크기인 15.1인치 풀 컬러 능동형

(AM) OLED를 개발했다고 2001년 10월25일 발표했다.[46]

9. 유기 LASER

Bell lab, Lucent Technology의 Schön은 1998년 tetracene single crystal 양면에 FET전극을 형성시키고, gate전위를 조절하여 결정의 중심에서 hole과 electron이 강제로 충돌하게 하여 강한 발광을 유도하고 그 결정의 앞뒤 벽면이 거울역할을 하도록 만든 세계 최초 전하 주입형 유기LASER를 개발하였다.[2] 이 유기LASER는 yellowish-green light pulse를 방출한다. 유기LASER를 만드는데 제일 중요한 문제는 결함이 없고 순도가 높은 tetracene 결정을 성장시키는 일이다. 아직도 유기LASER는 그 현상자체를 완전히 이해하고 있지 못한 상태지만 유기단결정을 제작하고 FET형 전극을 만들어 전류를 부가하면 LASER현상을 관측할 수 있기에 유기LASER 제작 실험을 경쟁적으로 행하고 있다.

10. 결론 및 OLED 연구 발전 방향

OLED가 발전함에 따라 우리 생활에 많은 변화가 있을 것이다. 백열전구나 형광등 같은 3차원 광원의 시대는 가고 이제는 붙이는 광원시대가 올 것이다. 자동차의 headlight를 2차원 OLED로 만들면 차 design이 어떻게 되어야 할까? 이제는 의복의 가슴부분에 OLED를 만들어 원하는 design의 화면을 만들고 켜둘 수 있는 새로운 발광 fashion시대가 올 것이

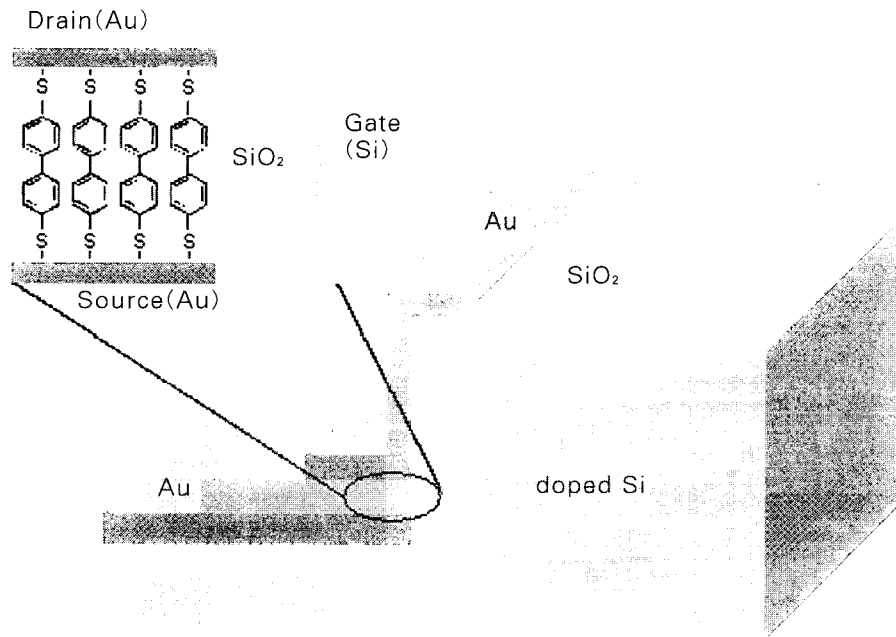


그림 3. 세계에서 제일 작은 molecular transistor의 구조. [48]

다.

OELD를 거꾸로 사용하면 태양전지가 된다. 따라서 효율 높은 유기 태양전지시대가 오고 태양전지 자동차 시대도 올 것이다.

Schön은 anthracene single crystal을 이용하여 FET를 제작하고 전하를 주입하여 4K에서 초전도성을 갖는다는 것을 보고하고 있다.[47] Schön은 thiol을 갖는 유기물을 이용하여 세계에서 제일 작은 분자 scale의 transistor를 만들었다.[48]

Review를 쓰는 도중에도 새로운 유기물을 이용한 발명품이 계속 만들어지고 있다. 이제는 carbon 화합물(유기물)이 광, 전자 소자의 중심역할을 하는 분자전자소자(Molecular Electronic Devices)의 시대로 돌입하고 있다는 생각이 든다.

참고 문헌

[1] Bob Johnston, "A bright future for displays",

{http://www.techreview.com/magazine/apr01/m-ag_toc.asp}

- [2] J. H. Schön, Ch. Kloc, A. Dodabatapur, B. Batlogg, Science, Vol. 289, p. 599(2000)
- [3] 심홍구, 화학세계, Vol. 37, No. 7, p. 20, 1997.
- [4] 김환규, 정태형, 화학세계, Vol. 37, No. 8, p. 33, 1997.
- [5] 설 창, 송원준, 황보창권, 섬유기술과 산업, Vol. 2, No. 3, p. 355, 1998.
- [6] S. R. Forrest, 電子디스플레이, Vol. 2, p. 2, 2000.
- [7] Dong Yeong Kim, Hyeon Nam Cho, Chung Yup Kim, Prog. Polym. Sci., Vol. 25, p. 1089, 2000.
- [8] 이창희, Semiconductor monthly, Vol. 9, p. 103, 2001.
- [9] 김영관, 한국정보디스플레이학회지, Vol. 2, No. 2, p. 6, 2001.
- [10] 이창희, 한국정보디스플레이학회지, Vol. 2, No. 2, p. 14, 2001.

- [11] 김영규, 한국정보디스플레이학회지, Vol. 2, No. 2, p. 24, 2001.
- [12] 김우영, 한국정보디스플레이학회지, Vol. 2, No. 2, p. 46, 2001
- [13] 박준규, 배성준, 한국정보디스플레이학회지, Vol. 2, No. 2, p. 55, 2001.
- [14] 이정익, 김성현, 도이미, 이효영, 추혜용, 정태형, 한국정보디스플레이학회지, Vol. 2, No. 2, p. 61, 2001.
- [15] Ananth Dodabalapur, Solid State Comm., Vol. 102, No. 2, p. 259, 1997.
- [16] Yuji Hamada, IEEE Trans. Elec. Dev., Vol. 44, No. 4, p. 1208, 1997.
- [17] Jan Kalinowski, J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 32, p. R179, 1999.
- [18] V. Dentan, M. Vergnolle H. Facoetti, G. Veriot, Applied physics(Paris), Vol. 4, p. 425, 2000.
- [19] M. T. Bernius, M. Inbasekaran, J. O'Brien, and Weishi Wu, Adv. Mat., Vol. 12, No. 23, p. 1737, 2000.
- [20] W. Brutting, S. Berleb, and A. G. Muckl, Organic Electronics, Vol. 2, p. 1, 2001.
- [21] 예를 들면
 (a) <http://quanta.khu.ac.kr/seminar/99/jjang/mylim/>
 (b) http://www.com-world.co.kr/html/200107/pre_semi/out/oled_02.htm
- [22] 예를 들면
 (a) Dupont Displays [www.dupont.com/displays]
 (b) Philips Research [www.research.philips.com]
 (c) Dow Chemical [www.dow.com]
 (d) Cambridge Display Technology [www.cdtltd.co.uk]
 (e) Universal Display Corporation [www.universaldisplay.com]
 (f) Optoelectronic Components & Materials(OCM Group)
 (g) [www.ee.princeton.edu/~ocmweb]
 (h) Covion (Organic Semiconductors GmbH) [www.covion.com]
 (i) Sarnoff Corporation [www.sarnoff.com]
 (j) TDK-Products for Consumers [www.tdk.com]
 (k) Opsys Limited [www.opsys.com]
 (l) Lucent Technologies
 - Home Page [www.lucnet.com]
- [23] (a) Kodak Professional: KODAK OLED Display Technology - What is OLED [www.kodak.com/global/en/professional/products/specialProducts/OEL/oelIndex.shtml]
 (b) <http://www.iqe.ethz.ch/~atapponn/oled.html>
 (c) http://www.gii.co.jp/english/su5375_yy_oled_toc.html
 (d) <http://www.opticsreport.com/media/opticsreport1.pdf>
- [24] C. W. Tang and S. A. Van Slyke, Appl. Phys. Lett., Vol. 51, p. 913, 1987
- [25] J. H. Burroughs, D. D. C. Bradley, A. R. Brown, R. N. Marks, K. Mackay, R. H. Friend, P. L. Burn, and A. B. Holmes, Nature, Vol. 347, p. 539, 1990.
- [26] Pioneer Electronics Co.
 [<http://www.pioneerelectronics.com>]
- [27] J. A. Castellano, "Organic Light-Emitting Diode Display", Annual Display Industry Report 2nd Ed., Stanford Resources, Inc., p. 1, 2001.
- [28] Y. Yang, E. Westerweele, C. Zhang, P. Smith, and A. J. Heeger, J. Appl. Phys., Vol. 77, No. 2, p. 694, 1995.
- [29] Y. Sato, T. Ogata, S. Ichinosawa, M. Fugono, and H. Kanai, SPIE Proceedings 3197, p. 198, 1999.
- [30] Chang Seoul, Jae Ick Kang, Souk Il Mah, and Chang hee Lee, Syn. Met., Vol. 99, p. 35, 1999.
- [31] M. A. Baldo, D. F. O'Brien, Y. You, A. Shoustikov, S. Silbey, M. E. Thomson, and S. R. Forrest, Nature, Vol. 395, p. 151, 1998.
- [32] Chang Seoul, Won-Jun Song, Gi-Wook Kang, and Chang Hee Lee, Proceedings of the 1st International meeting on Information Display, Vol. 1, p. 633, 2001.
- [33] S. Y. Park, C. H. Lee, W. J. Song, C. Seoul, Current Applied Physics, Vol. 1, p. 116, 2001.
- [34] S. A. Curran, P. A. Ajayan, W. J. Blau, D. L. Carroll, J. N. Coleman, A. B. Dalton, A. P. Davey, A. Drury, B. McCarthy, S. Maier, and A. Strevens, Adv. Mater., Vol. 10, No. 14, p.

1091, 1998.

[35] Chang Seoul and Yong-Tae Kim, Korea-Japan Joint Forum 2001, Hoam Center, Seoul, Sept. 5-6, 2001.

[36] T. N. Jackson, 42nd Electronic Materials Conference Digest, 24, 2000

[37] C. K. Song, B. W. Koo, S. B. Lee, and D. H. Kim, Proceedings of the 1st International meeting on Information Display, Vol. 1, p. 334, 2001.

[38] Y. D. Jin, J. P. Yang, P. L. Heremans, M. Van der Auweraer, E. Rousseau, H. J. Geise, and G. Borghs, Chemical Physics Letters, Vol. 320, p. 387, 2000.

[39] R. H. Friend, R. W. Gymer, A. B. Homes, J. H. Burroughes, R. N. Marks, C. Taliani, D. D. C. Bradley, D. A. Dos Santos, J. L. Bredas, M. Logdlund, and W. R. Salaneck, Nature, Vol. 397, p. 121, 1999.

[40] T. Tsusui, M. J. Yang, M. Yahiro, K. Nakamura, T. Watanabe, T. Tsuji, Y. Fukuda, T. Wakimoto, and S. Miyaguchi, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 38, p. L1502, 1998

[41] M. A. Baldo, D. F. O'Brien, Y. You, A. Shoustikov, S. Sibley, M. E. Thomson, and S. R. Forrest, Nature, Vol. 395, p. 151, 1998

[42] M. A. Baldo, S. Lamansky, P. E. Burrows, M. E. Thompson, and S. R. Forrest, Appl. Phys. Lett., Vol. 75, p. 4, 1999.

[43] C. Adachi, Marc A. Baldo, S. R. Forrest, and M. E. Thompson, Appl. Phys. Lett., Vol. 77, p. 904, 2000.

[44] <http://www.research.ibm.com/journal/rd45-1.html>

[45] <http://korean.hani.co.kr/section-004100021/2001/10/004100021200110252159007.html>

[46] J. H. Schoen, Ch. Kloc, B. Batlogg, Nature, Vol. 406, p. 702, 2000.

[47] Lucent Technologies.
[<http://www.bell-labs.com/news/2001/november/8/1.html>]

저 자 약 력

성명 : 설 창

❖ 학 력

- 1976년 2월 서울대 섬유공학과 공학사
- 1978년 2월 서울대 대학원 섬유공학사 공학석사
- 1984년 8월 서울대 대학원 섬유공학과 공학박사

❖ 경 력

- 1983년 1월 - 1984년 3월
東京工業大學 有機材料工學科 文部
省獎學生
- 1985년 10월 - 1993년 2월
전북대 섬유공학과 조교수, 부교수
- 1989년 1월 - 1990년 2월
Univ. of Pittsburgh, Dept. of
Materials Sci & Eng.,
Research Associate
- 1993년 3월 - 현재
인하대 공과대학 섬유공학과
부교수, 교수

성명 : ZHENG hai-lan

❖ 학 력

- 1999년 7월 中國 中央民族大學 물리학과 이학
- 2001년 7월 인하대 섬유공학과 공학석사
- 현재 인하대 섬유공학과 박사과정 재학

❖ 연구분야

- 유기 단결정 컴퓨터 시뮬레이션
- Organic single crystal의 성장 및 유기 레이저 제작

성명 : 김 용 태

❖ 학 력

- 2001년 2월 인하대 섬유공학과 학사
- 2001년 2월 인하대 대학원 섬유공학과 석사과정 재학

❖ 연구분야

- 유기 고분자 LED 제작
- Carbon nanotube를 이용한 LED 소자 제작
- PMPS, Carbon nanotube를 이용한 electrospinning