

# 유기 전기발광 재료 및 소자

김 영 규(고등기술연구원 네스센터/ (株)네스디스플레이)

## I. 서 론

인류는 전기의 발명 이후 전기를 이용한 여러 가지 장치(Device)를 개발하였으며, 약 1900년대 초부터는 유기재료의 특수한 기능을 이용하여 다양한 전자소자(Electronic Device)를 연구하기 시작하였으며, 그 중에서 가장 획기적인 진보가 액정표시장치(Liquid Crystal Display-LCD)의 상용화이다. 그러나 LCD는 지속적인 진보에도 불구하고 근본적인 몇 가지 단점들 때문에 차세대 표시장치로서의 대안이 되기 어렵다는 논쟁에 휘말리게 되었다. 이와 같은 이유로 전계발광표시소자(Field Emission Display-FED), 무기전기발광표시소자(Inorganic Electroluminescent Display-IELD), 유기전기발광표시소자(Organic Electroluminescent Display-OELD) 등이 연구개발 되었으나 그 중에서 약 15V 이하의 저전압에서 구동할 수 있는 유기전기발광표시소자가 가장 유력한 후보로 선택되어 일본, 한국, 대만 등에서 대량 생산 설비를 만들고 있다.

본 글에서는 유기전기발광표시소자를 구성하는 주요한 재료를 중심으로 연구개발과정 및 응용대해서 논하며 부수적으로 표시소자에 대하여 간단히 언급하고자 한다.

## II. 연구 개발 역사

1963년 Pope와 공동 연구자들은 수십 마이크로미터 이상의 두께를 가진 안쓰라센(Anthra-

cene) 단결정을 이용하여 발광소자를 제작하였는데 이것이 고체상태의 유기재료를 이용한 최초의 유기전기발광소자였으며, 이어서 1965년에 Helfrich와 Schneider 연구진과 Mehl과 Bucher 연구진이 각각 발표하였다<sup>[1-4]</sup>. 그러나, 이들의 연구에서 제작된 소자는 전하 주입을 위해 액체 전해질 전극이 사용되었지만 50V~2000V 정도의 높은 전압을 인가하여야만 발광이 되었으며 수명 또한 수분 이하로 짧아서 실용화와는 상당한 거리가 있었다.

1969년 Dresner는 전하 주입을 용이하게 하기 위해서 고체 전해질을 처음 도입하여 전체가 고체로 이루어진 소자가 탄생되었다<sup>[5]</sup>. 1973년 Vityuk와 Mikho는 기존의 단결정 뿐만 아니라 진공 증착된 박막을 이용하여 소자를 제작하여 대면적 디스플레이에 대한 가능성을 보였다<sup>[6]</sup>. 그러나 여전히 효율 및 휘도 등의 주요 특성은 실용화 기준에 못 미친 상태였으며 이를 극복하기 위해서 유기물에 의한 전하 주입 및 수송에 대한 지속적인 연구가 진행되었다<sup>[7-14]</sup>.

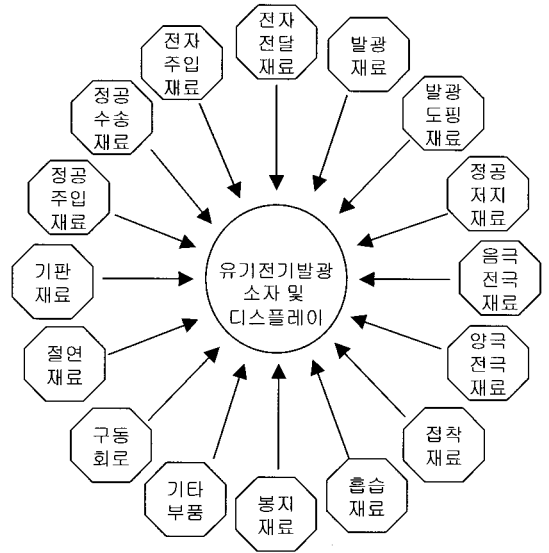
1980년대에 접어들면서 유기전기발광소자의 성능에 획기적인 진보가 있었다. 1980년 초에 Eastman Kodak의 Tang 연구진은 수년 동안 진행해오던 유기물질의 전하 생성, 수송, 그리고 태양전지 연구를 접목하여 유기전기발광소자에 유기 단분자 정공주입층(Hole Injection Layer)을 도입하여 구동전압을 20V 이하로 낮추었으며<sup>[15]</sup>, 이어서 1980년 후반에 구동전압 및 휘도 등의 특성이 실용화 수준에 이르는 결과를 발표하였다<sup>[16-16]</sup>. 이때 양자효율은 1%(photon/

electron), 휘도는  $1,000 \text{ cd/m}^2$ , 그리고 구동전압은 10 V 내외로 기존의 성능에 비해서 충격적인 결과였다.

1990년 영국의 Cambridge 대학의 Burroughes 등은 기존의 고분자전계효과트랜지스터 (Polymer Field Effect Transistor)를 연구하던 중에 우연히 공액 고분자인 Poly(p-phenylenevinylene) (PPV)에 전기장을 인가할 때 녹색 빛이 나오는 것을 발견하였다<sup>[20]</sup>. 그러나, PPV는 용해성 선구체 고분자 박막을 열 제거 반응 (Thermal Elimination Reaction)을 통해 불용성 고분자로 변환되므로 선구체 고분자가 불안정한 근본적인 단점 때문에 상용화에 문제가 있었다. 다음해인 1991년 Braun과 Heeger는 이러한 단점을 해결하기 위해서 PPV 결가지에 용해성 유기사슬을 붙여서 전체 고분자가 용해될 수 있게 하여 간단히 한번의 스핀 코팅으로 고분자 유기전기발광소자를 제작하여 그 결과를 발표하였다<sup>[21]</sup>. 이를 계기로 유기 단분자 뿐만 아니라 고분자를 이용한 유기전기발광소자에 대한 연구가 급속히 확산되기 시작하였다<sup>[22-29]</sup>.

드디어 1996년에 일본의 동북 파이오니어전자에서 유기 단분자를 진공증착하여 녹색 유기전기발광 디스플레이를 최초로 상품화 하였으며, 이어서 1998년에 다중색 유기전기발광 디스플레이를 상품화 하였다<sup>[30-31]</sup>. 이와 더불어 그 동안 연구된 결과를 바탕으로 유기전기발광 재료 및 디스플레이에 관련된 많은 벤처 기업들이 설립되었다<sup>[32-38]</sup>.

유기전기발광소자는 넓은 관점에서는 모두 동일하지만 사용되는 유기재료의 종류에 따라서 유기 단분자를 사용하는 유기전기발광소자, 고분자를 사용하는 고분자전기발광소자, 그리고 고분자/단분자를 동시에 사용하는 혼성유기전기발광소자로 구분할 수 있다. 또한 기능에 따라서 투명한 유기전기발광소자, 적층형 유기전기발광소자, 유연한 유기전기발광소자, 미세공동형 유기전기발광소자, 그리고 역구조 유기전기발광소자 등의 다양한 형태가 가능하다. <그림 1>에 유기전기발광표시소자를 구현하기 위해서 필요한 전체 재료

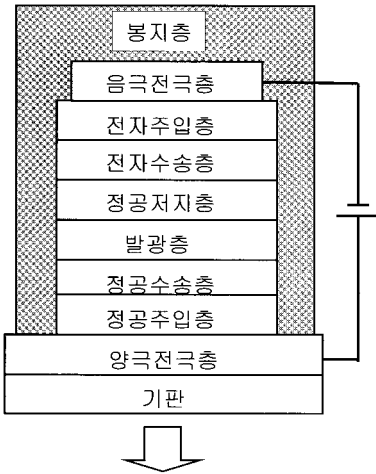


<그림 1> 유기전기발광소자 및 디스플레이에 필요한 재료 관계도

를 나열하였다.

### III. 유기 단분자를 이용한 유기전기발광소자

유기전기발광소자 중에서 유기 단분자를 이용한 소자가 가장 먼저 연구되었으며 현재 상용화된 유일한 구조이다. 따라서 유기 단분자를 이용한 전기발광소자를 일반적으로 유기전기발광소자라 칭하며 <그림 2>에 일반적 구조를 나타내었다. 단일층 또는 이중층 구조만으로도 빛을 생성시킬 수는 있으나 발광효율, 밝기 그리고 안정성 때문에 다층구조가 가장 바람직하다. 유기 단분자의 특성상 각 층은 고진공 ( $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{ Torr}$ ) 상태에서 저항 가열식 열증착 (Thermal Evaporation)을 통하여 형성되며 가능하면 한 층을 증착한 후 진공을 해제하지 않은 상태에서 다음 층을 증착 하여야만 재현성 있는 결과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 안정한 소자를 얻게 된다. 그러나 고진공 상태에서 여러가지 유기물을 동일한 진공챔버 (Vacuum Chamber)에서 사용할 경우 상호 오염 (Cross Contamination)되는 현상에 의하여 사용 빈도수가 증가할수록 소자특성이 변하는 경우가 일반적이다. 따라서 한 개의 진

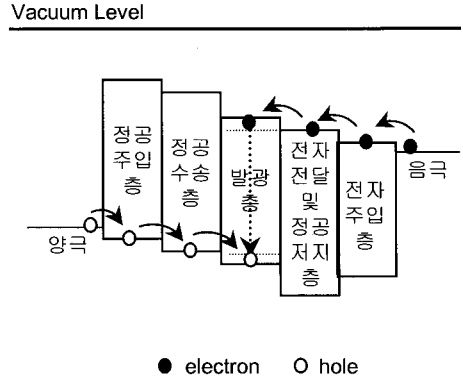


〈그림 2〉 유기전기발광소자의 일반적인 구조

공 챔버로 한 종류의 유기물을 사용하는 것이 바람직하며 각 챔버 사이에 버퍼 챔버(Buffer Chamber)를 장착하여 공기 중에 노출 시키지 않고 진공상태 그대로 이송시키는 것이 가장 이상적이다.

이렇게 구성된 소자의 양극과 음극에 전원을 연결하여 직류전압을 인가하면 사용한 유기 단분자 박막의 종류 및 두께에 따라서 조금씩 차이는 있지만 약 1V에서 7V 사이의 전압에서 소자가 빛을 내기 시작하며 소자가 파괴되는 전압은 약 30 V 내외이다.

현재까지 가장 많이 알려져 있는 무기물 다이오드는 일반적으로 도핑된 p형 반도체와 n형 반도체의 p-n 접합에 의해서 발광 되며 발광 영역은 p-n 접합 부분에 한정되나<sup>[39]</sup>, 유기전기발광소자는 재결합형 무기전기발광소자<sup>[40]</sup>와 유사하게 양극에서 주입된 정공(hole)과 음극에서 주입된 전자(electron)가 유기 반도체 박막 내부에서 여기자(exciton)를 형성한 후 바닥상태(ground state)로 떨어지면서 빛을 방출하게 된다<sup>[41]</sup>. 〈그림 3〉에 다중층 유기전기발광소자의 에너지 띠 구조(Energy Band Structure)를 나타내었다. 양극에서 정공주입층(Hole Injection Layer-HIL)의 가전대(Valence Band 또는 HOMO)로 주입된 정공은 유기물 사이를 Hopping에 의해서 이동하여 정공수송층(Hole Trans-

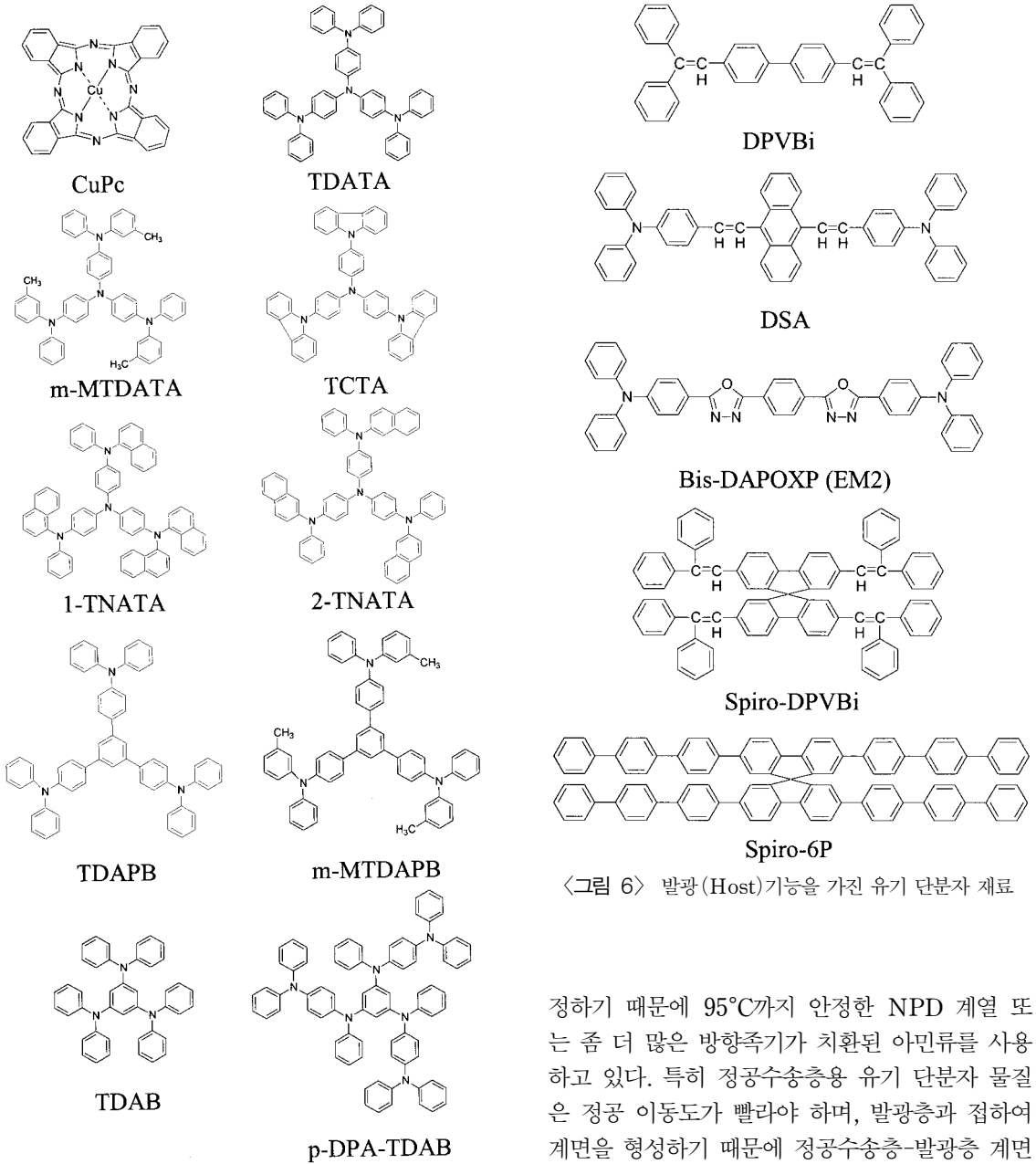


〈그림 3〉 다중층 유기전기발광소자의 에너지 띠 구조 및 발광 과정

port Layer-HTL)을 통과한 후 발광층(Emission Layer-EML)으로 진행하고, 동시에 음극에서 전자주입층(Electron Injection Layer-EIL)으로 전자가 주입된 후 전자전달층(Electron Transport Layer-ETL)을 통과하여 발광층의 전도대(Conduction Band 또는 LUMO)로 전자가 이동하여 발광층에서 정공과 만나게 된다. 이렇게 만나는 것을 재결합(Recombination)이라고 하며 재결합된 전자-정공 쌍은 정전기적 인력에 의하여 재배열되어 여기자가 된다. 이 여기자는 유기 박막의 특성 및 인가된 전기장의 세기에 따라서 약간씩 차이는 있으나 대부분의 경우 약 수십 나노미터(nanometer) 정도 확산(Exciton Diffusion)하기 전 또는 후에 빛과 열에너지를 방출하면서 바닥상태로 전이하게 된다.

### 1. 정공주입층용 유기 단분자 재료

〈그림 4〉에 정공주입층으로 흔히 사용되는 유기 단분자들의 구조를 나타내었다. 정공주입층으로는 CuPc가 가장 안정하기 때문에 널리 사용되나 청색 및 적색 영역에서의 흡수가 있기 때문에 풀칼라(Full Color) 디스플레이 제작의 경우 문제점이 되고 있다. 따라서 청색 영역에서의 흡수가 없는 Starburst형의 아민류가 최근 많이 사용되고 있다. 그 중에서 TCTA, p-DPA-TDAB, m-MTDAPB, 1-TNATA, 2-TNATA 등은 유리전이온도가 약 100°C 이상으로서 안정한 물



〈그림 4〉 정공주입기능을 가진 유기 단분자 재료

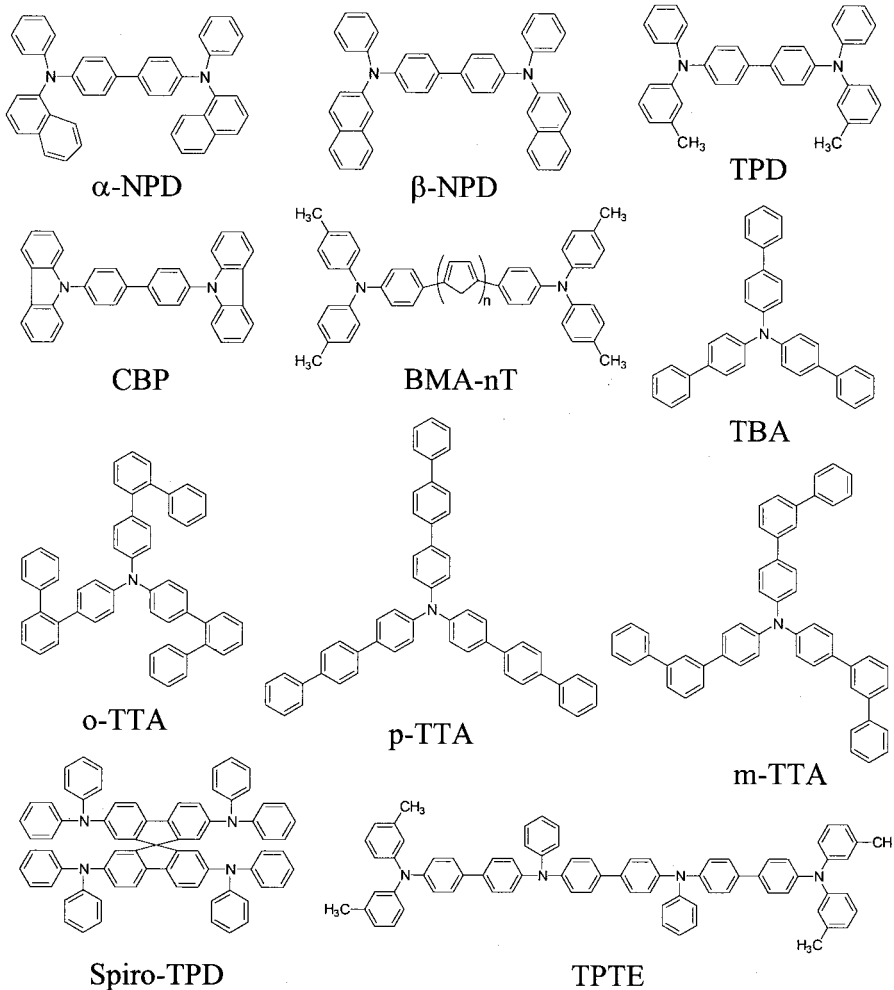
〈그림 6〉 발광(Host)기능을 가진 유기 단분자 재료

질로 평가된다.

2. 정공수송층용 유기 단분자 재료

초기의 정공수송층용 유기 단분자 물질로는 TPD가 흔히 사용되었으나 60°C 이상에서 불안

정하기 때문에 95°C까지 안정한 NPD 계열 또는 좀 더 많은 방향족기가 치환된 아민류를 사용하고 있다. 특히 정공수송층용 유기 단분자 물질은 정공 이동도가 빨라야 하며, 발광층과 접하여 계면을 형성하기 때문에 정공수송층-발광층 계면 여기자의 발생을 억제하기 위해서 이온화 포텐셜이 정공주입층과 발광층 사이의 적절한 값을 가지는 것이 매우 중요하다. 또 하나의 기능은 발광층에서 이동되어 오는 전자를 적절히 제어하는 능력이 필요하다. 따라서 전자친화도가 작은 것일수록 특성이 좋다. 〈그림 5〉에 대표적인 정공수송층용 유기 단분자의 구조를 나타내었다.



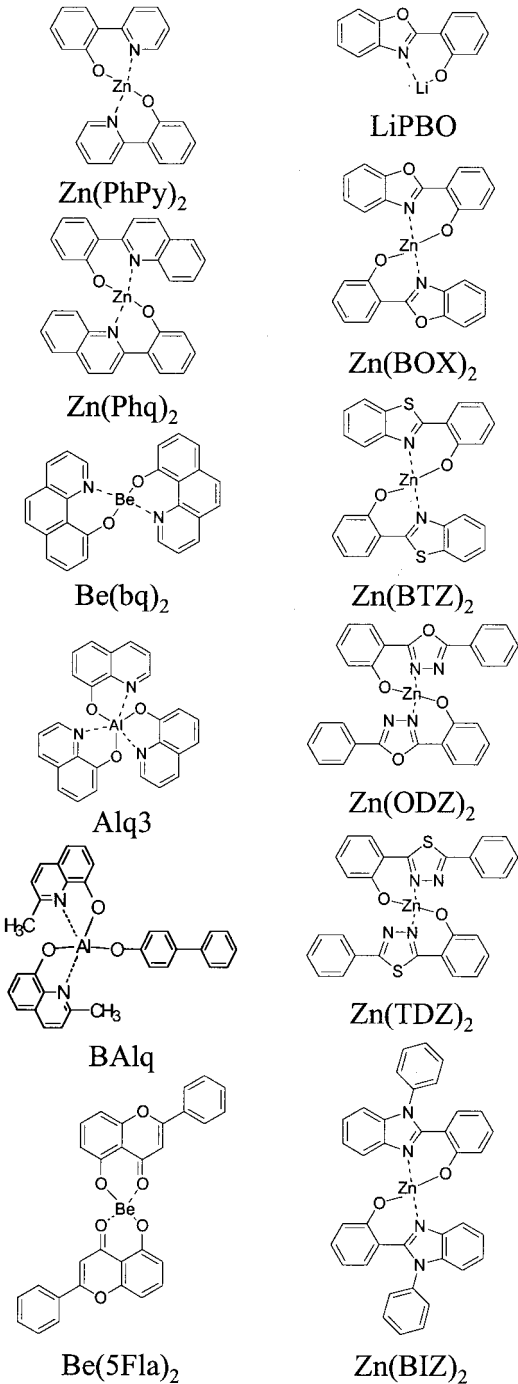
〈그림 5〉 정공수송기능을 가진 유기 단분자 재료

### 3. 발광층용 유기 단분자 재료

발광층용 유기 단분자는 기능적인 측면에서 크게 Host용 물질과 Guest용 물질로 나누어 진다. 일반적으로 Host용 또는 Guest용 물질 만으로 빛을 낼 수 있으나 효율 및 휘도가 매우 낮고 각각 분자들 끼리 Self-Packing 현상 때문에 각 분자의 고유한 특성이 아닌 Excimer 특성이 함께 나타나기 때문에 바람직 하지 않다. 따라서 가장 이상적인 구조는 Host에 Guest를 Doping하여 발광층을 만드는 것이다. 또한 종류에 따라서 유기계 Host 물질(〈그림 6〉), 유기금속계 Host 물질(〈그림 7〉), 유기계 Guest 물질

(〈그림 8〉), 유기금속계 Guest 물질(〈그림 9〉)로 구분될 수 있다.

녹색 발광층으로는 Alq<sub>3</sub>가 독보적으로 사용되고 있으며 역시 효율을 높이기 위해서 Quinacridone류와 같은 양자효율이 높은 물질을 도핑하여 사용한다. Quinacridone류 중에서 Qd-1은 색상 및 수명이 좋지 않아서 Qd-2 또는 Qd-3가 바람직하다. 〈그림 9〉에 나타낸 것처럼 최근 Ir(Ppy)<sub>3</sub>와 같은 유기인광 물질을 이용하여 고효율소자에 대한 결과가 발표 됨으로 현재까지 Singlet-Singlet 전이에 의한 한계효율을 Triplet-Singlet 전이로 극복하였다.<sup>[65,66,72]</sup> 그러나



〈그림 7〉 발광(Host)기능을 가진 유기금속 착체 재료

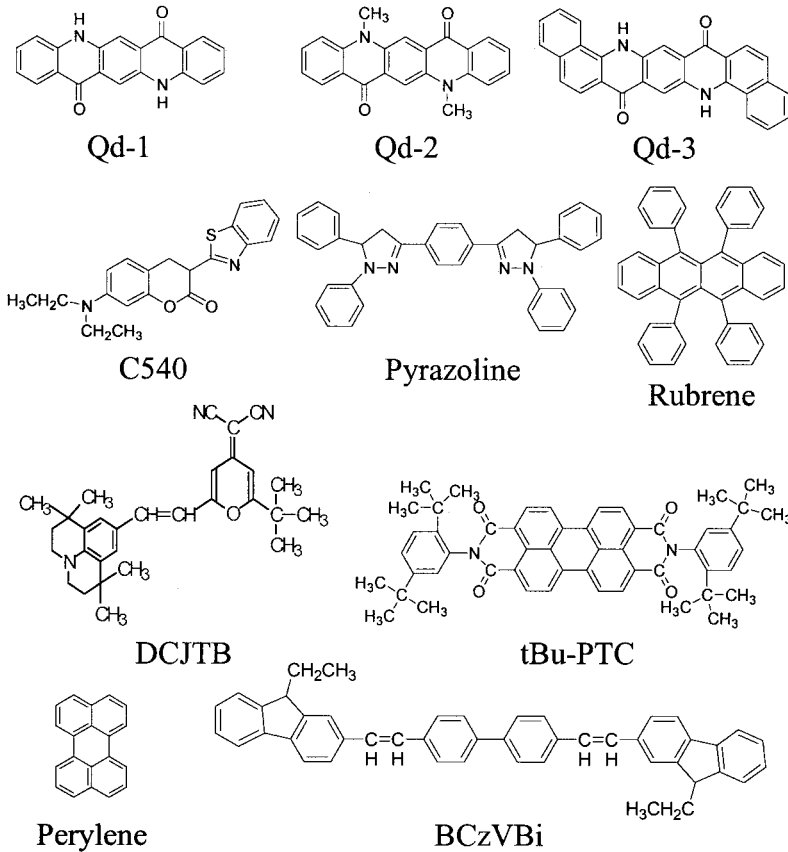
고휘도에서의 고효율 및 안정성 유지가 여전히 문제점으로 남아있다.

청색 발광층으로는 〈그림 6〉과 〈그림 7〉에 나타난 것처럼 여러 종류의 화합물이 제안되었으나 초기 상태의 발광 안정성이 낮아서 현재는 BA1q, DPVBi계열, Spiro-DPVBi, 그리고 LiPBO 등이 집중적으로 연구되고 있다. 그러나 LiPBO를 제외한 대부분의 화합물들은 순수한 청색이 아닌 하늘색(Light Blue)이기 때문에 여전히 풀칼라화 디스플레이에 부적합하다<sup>[42,43]</sup>. 녹색의 경우와 마찬가지로 청색 발광의 효율을 높이기 위해서 Perylene 및 BCzVBi(DSA 아민류) 등을 소량 도핑(Doping)하여 사용한다.

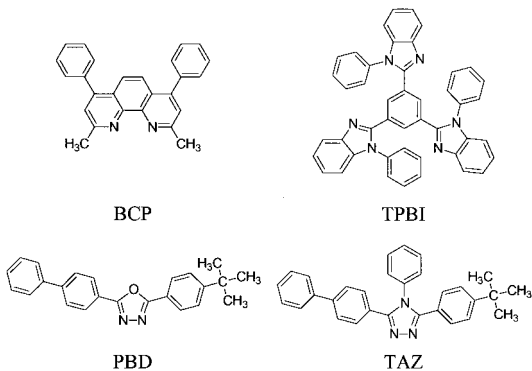
적색 발광층의 경우 밴드갭(Band Gap)이 작은 적색 발광의 특성상 다량의 녹색 발광 물질에 적색 발광 물질을 소량 도핑하여 사용한다. DCJTb와 같은 DCM류의 물질이 적색 발광 물질 중에서 가장 높은 휘도를 나타내고 색순도 또한 NTSC기준에 근접하기 때문에 많이 사용되고 있으나 여전히 분자 구조상의 문제점 때문에 장수명화에 걸림돌이 되고 있다. 이러한 점을 극복하기 위해서 최근에는 보조용 Guest 물질로 Rubrene과 NPD를 DCJTb와 동시 증착하여 효율 및 수명을 높이는 연구가 보고되었다<sup>[73]</sup>. 녹색의 경우와 마찬가지로 적색의 경우도 PtOEP와 같이 중금속이 포함된 유기금속착체를 사용하여 고효율을 나타내는 유기인광 소자가 보고되었으나, 여전히 고휘도에서의 이러한 특성을 유지하는 것이 어렵다. Eu착체의 경우 스펙트럼의 폭이 매우 좁아서 우수한 색상을 가지나 역시 고휘도를 내기 어렵고 안정성이 낮은 단점이 있다.

#### 4. 정공저지층용 유기 단분자 재료

〈그림 10〉에 정공저지층용 유기 단분자를 나타내었다. 정공저지층용 분자는 발광층에서 넘어오는 정공이 전자전달층으로 가지 못하게 제어하는 기능을 가져야 하므로 이온화 포텐셜이 발광층보다 최소한 0.5eV 정도 큰 것이 바람직 하다. 또한 전자전달층으로부터 전자를 받아서 발광층에 전달해야 하므로 전자친화도 역시 발광층과 전자전달층의 중간 값을 가지는 것이 좋다. 그러나 기능적으로 이러한 조건을 만족하지만 안정성



<그림 8> 발광 (Guest)기능을 가진 유기 단분자 재료

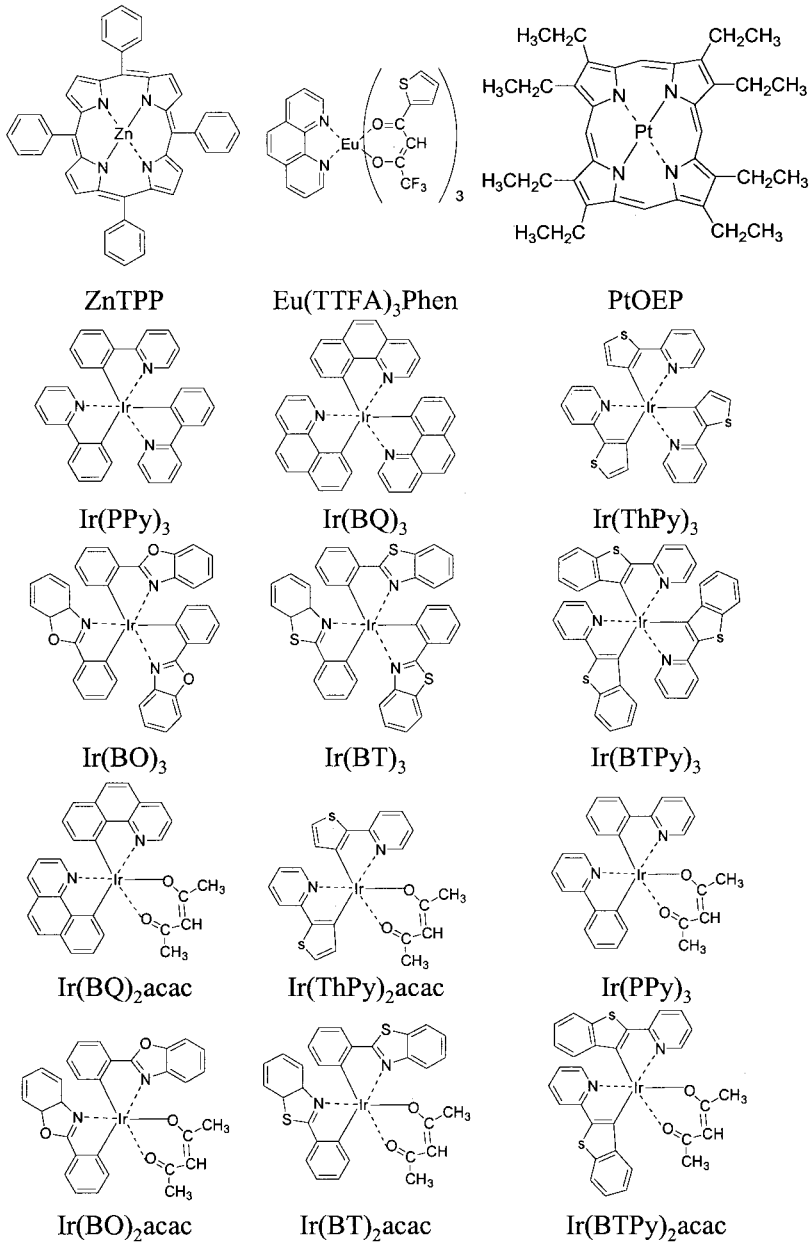


<그림 10> 정공저지기능을 가진 유기 단분자 재료

이 낮아서 현재 우수한 안정성을 가지는 새로운 물질의 개발이 필요하다.[74].

5. 전자전달 및 전자주입층용 유기 단분자 재료  
전자전달층용 유기 단분자 물질로는 여러가지가 사용될 수 있다. <그림 7>에 나타나 있는 유기금속착체들이 상대적으로 전자 이동도가 우수하기 때문에 좋은 후보들이다. 그 중에서 안정성이 우수하고 전자 친화도가 큰 Alq3가 가장 좋은 것으로 보고되었으나 청색 발광 소자에 사용할 경우 Exciton Diffusion에 의한 발광 때문에 색순도가 떨어지는 단점이 있다.

전자주입층용 유기 단분자 물질은 특별히 없으나 주로 전자전달층용 단분자 물질과 음극용 금속을 혼합하여 사용하는 방법과 LiF 등과 같은 무기물이 사용된다.



〈그림 9〉 발광(Guest)기능을 가진 유기금속 착체 재료

## 6. 전극 재료

양극전극은 일반적으로 ITO(Indium Tin Oxide), IZO(Indium Zinc Oxide) 등의 금속 산화복합박막을 사용하는데 그 이유는 일함수(Work Function)가 커서 정공주입을 용이하

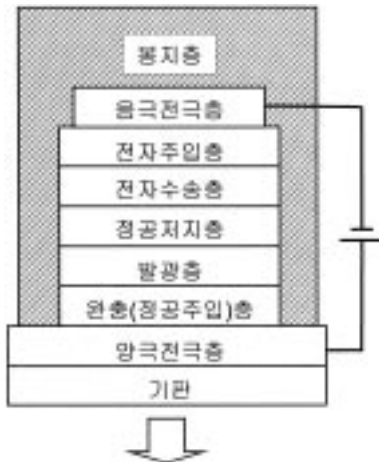
게 하며 무엇보다도 가시광선범위에서 투명하기 때문이다. 그 중에서 ITO를 주로 사용하며 일정한 모양으로 식각(Etching)한 후 습식 세척(Wet Cleaning)과 건식 세척인 UV-Ozone 또는 산소 플라즈마를 처리하여 사용한다.



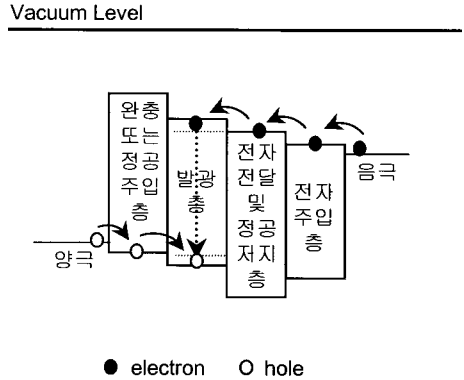
음극전극은 일 함수(Work Function)가 낮은 세슘(Cs), 리튬(Li), 그리고 칼슘(Ca) 등과 같은 금속과 일 함수는 높지만 안정하고 증착이 용이한 알루미늄(Al), 구리(Cu), 은(Ag) 등과 같은 금속의 합금을 주로 사용한다. 그러나 이러한 합금의 경우 정확한 조성 제어가 어렵기 때문에 재현성에 문제가 있다. 따라서 상업적으로 바람직한 것은 LiF 등과 같은 무기전자주입층을 약 1nm 정도로 매우 얇게 증착한 후에 알루미늄과 같이 안정한 금속을 증착하는 방식이 효과적이다.

#### IV. 고분자를 이용한 전기발광소자

고분자전기발광소자의 최적 구조는 <그림 11>에 나타낸 것과 같다. 초기에는 주로 발광층만을 투명전극이 코팅된 기판 위에 스펀코팅(Spin Coating) 등과 같은 습식법으로 코팅하여 소자를 제작하였으나 커짐전압, 휘도, 그리고 효율을 최적화시키기 위해서 3층 이상의 구조로 개선하였다. 완충층(Buffer Layer-BL)은 양극전극의 불균일한 표면을 평탄하게 만들어 발광층과의 접촉력을 개선할 뿐만 아니라 단분자 유기전기발광소자의 정공주입층(HIL)과 동일한 역할을 한다. <그림 12>에 에너지 띠 구조를 나타내었다. 발광 과정은 단분자 유기전기발광소자와 거의 유사하다.



<그림 11> 고분자전기발광소자의 일반적인 구조



<그림 12> 다층 고분자전기발광소자의 에너지 띠 구조 및 발광 과정

일반적으로 고분자는 반복 단위(Repeating Unit)인 단분자가 공유결합(Covalent Bond)에 의해서 수십에서 수백 개가 서로 연결되어 있기 때문에 단분자에 비해서 박막 형성이 용이하며 내충격성이 큰 장점이 있기 때문에 유기전기발광소자와 같이 초박막을 이용하는 전자 및 광학 소자에 가장 적합한 재료 중의 하나이다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 여전히 해결해야 할 문제점들이 남아있다. 특히 완충층을 습식으로 코팅한 후에 다시 발광층을 만들기 위해서 발광 고분자를 담은 용액을 완충층 위에 코팅할 때 용매에 의해서 완충층이 녹거나 미세하게 부푸는 경우가 발생하게 된다. 이러한 현상을 방지하기 위해서 완충층을 녹이지 않는 용매를 선별해야만 한다. 그러나 완충층의 구성 성분이 가교결합 등에 의한 불용성이 아닌 경우 대부분 상처를 입게 되므로 기본적인 소자는 제작할 수는 있으나 상용화 할 수 있는 정도의 안정성은 부족하다. 따라서 완충층의 선택이 고분자 유기전기발광소자의 상품화에 매우 중요한 역할을 하게 될 것이다. 또 다른 문제는 역시 습식 코팅 후 남아 있는 미량의 용매 분자이다. 일반적으로 고분자 용액을 사용하여 박막을 제조할 경우 고분자의 종류 및 분자량에 따라서 다르지만 높은 온도 및 진공을 사용하여 건조하여도 사슬에 끼어 있는 일정량의 용매 분자는 제거하기 힘들다. 다행히 이러한 조건에서도 제거가 되지 않기 때문에 소자를 제작

한 후 구동하여도 남아 있는 소량의 용매 분자가 큰 영향을 주지 않을 수도 있지만 용매 분자와 고분자 사슬은 단지 약한 분자간력에 의하여 물리적으로 결합하고 있기 때문에 오랜 시간에 따른 완화 거동이 발생할 경우 소자의 장수명 (Long Term Lifetime)에 치명적인 영향을 주게 된다.

### 1. 완충층용 고분자 재료

〈그림 13〉에 대표적인 고분자를 나타내었다. 완충층으로 사용되는 재료의 대표적인 예로는 전도성 고분자의 한 종류인 PEDOT과 전도성을 증가시키기 위한 도핑제(Dopant)로 사용되는 고분자인 PSS를 혼합한 블렌드(Blend) 박막이다. 그러나 일반적인 전도성 고분자의 경우처럼 PEDOT은 매우 용해성이 떨어지며 PSS와 혼합한 후 용액상으로 보관할 경우 시간이 지남에 따라서 서서히 상분리 현상이 생기기 때문에 혼합

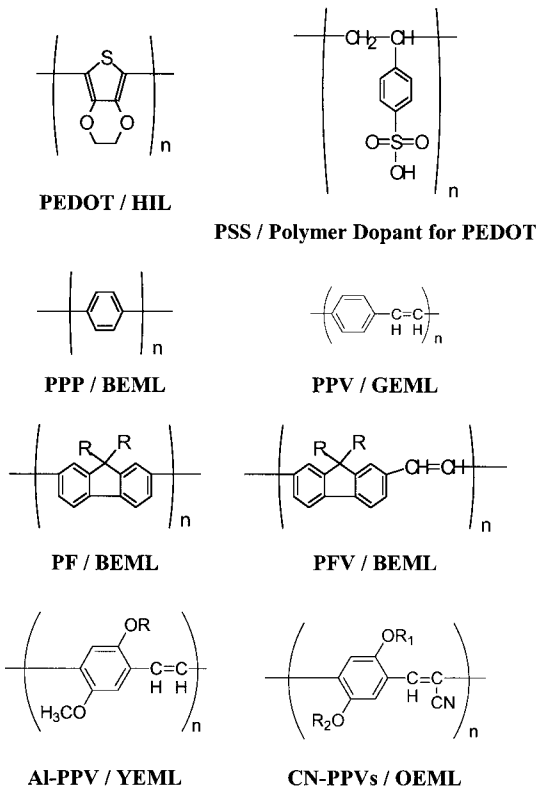
용액 제조후 즉시 사용해야만 한다. 이러한 특성은 대량 생산시 신중히 고려해야 할 점이다. 따라서 용액 상태에서 안정한 완충층용 고분자 조성물의 개발이 필요하다.

### 2. 발광층용 고분자 재료

청색 발광 고분자로는 PPP, PF, PFV, 그리고 Spiro-PF 등이 있으나 소자의 최적 조건이 완성된 단계는 아니며 지속적으로 연구되고 있는 중이다.<sup>[75]</sup> 특히 청색은 녹색 및 적색과는 달리 넓은 밴드 갭이 유지되어야 하므로 단분자 뿐만 아니라 고분자의 경우에도 매우 어렵다. 특히 고분자의 경우 용해성을 높이기 위해서 측쇄인 유연한 알킬기가 강직한 주쇄에 붙어 있다. 따라서 소자를 제작한 후 계속 구동을 시키면 유연한 알킬기가 진동 등과 같은 완화 거동을 일으키게 되고 그 결과 가장 안정한 형태인 주쇄는 주쇄 끼리 측쇄는 측쇄끼리 재배치 되게 된다. 따라서 시간이 지남에 따라서 색깔이 청색에서 장파장 쪽으로 이동하게 되며 효율 등과 같은 모든 특성이 나빠지게 된다. 따라서 이러한 본질적인 문제를 해결하는 연구가 필요하다.

녹색 발광 고분자로는 가장 먼저 개발된 PPV가 대표적인 예이다. 그러나 PPV는 수용성 전구체를 이용하여 박막을 제조한 후에 열처리 반응으로 PPV를 만드는 방법을 사용하는데, 이 수용성 전구체는 저온에서 보관하여도 서서히 반응이 진행되어 안정성이 없으며 열처리 반응의 조건에 따라서 특성이 크게 바뀌므로 현재는 부적합한 것으로 결론이 내려졌다. 그러므로 이러한 단점을 가진 불용성인 PPV의 용해성을 높이기 위해서 지방족 측쇄기(Aliphatic Side Group)를 도입한 여러 가지 유도체가 합성되었다.

적색 발광 고분자의 개발은 삼색 중에서 가장 미진한 단계이며 대부분의 시도가 황색 또는 오렌지색에 머무르는 결과를 얻었다. 그러나 최근에는 단분자 유기전기발광소자의 적색 발광과 유사한 개념으로 청색 또는 녹색 발광 고분자에 적색 발광 단분자를 소량 혼합하여 밴드 갭이 큰 매질 고분자에서 밴드 갭이 작은 소량의 적색 발



〈그림 13〉 고분자전기발광소자용 기능성 고분자 재료

광 단분자로의 에너지 전달(Energy Transfer)에 의해서 적색 발광을 얻는 시도가 있었다<sup>[44]</sup>.

### 3. 정공저지용/전자전달용/전자주입용 고분자 재료

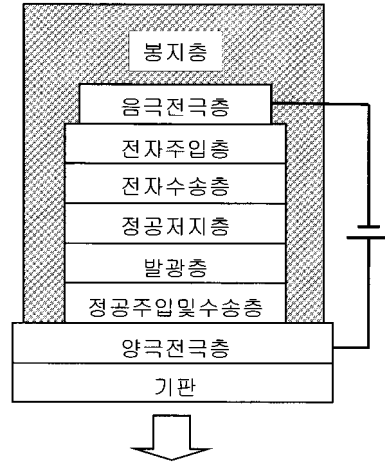
현재까지 정공저지용, 전자전달용, 전자주입용 고분자가 뚜렷이 구분되어 사용되지 않고 있다. 가장 큰 이유는 용매에 의한 층 파괴 현상 때문에 구현하기가 매우 어렵다는 것이다. 그러나, 이 세가지 기능을 동시에 만족하는 옥사다이올을 포함하는 고분자 등은 좋은 후보이다. 하지만 발광층용 고분자가 가용성이라는 것이 가장 큰 장점이자 단점이다. 따라서 가용성용 발광층용 고분자 위에 다시 용액공공을 하는 방식은 반드시 피해야 할 것으로 판단된다.

### 4. 전극 재료

사용하는 양극 및 음극 전극은 단분자 유기전기발광소자의 경우와 동일하다. 그러나 주로 사용하는 양극인 ITO 위에 완충층을 형성하기 위해서 혼합용액을 사용하기 때문에 사용되는 용매에 의해서 ITO 전극의 표면 전자 구조(Surface Electronic Structure)가 조금씩 변할 수 있다. 또한 발광층이 가용성이라는 단점 때문에 주로 완충층과 발광층까지만 코팅하고 발광층의 LUMO로 전자를 원활히 주입하기 위해서 Ca과 같은 순수한 알칼리 금속을 사용한다. 그러나 순수한 알칼리 금속은 반응성이 강하고 박막 자체가 안정하지 못하기 때문에 어려움이 있다.

## V. 혼성유기전기발광소자

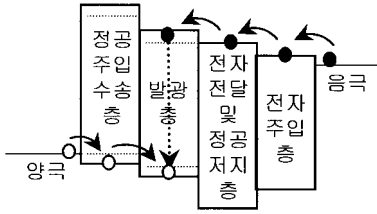
재료의 구성에 의한 마지막 구조가 혼성 유기전기발광소자이며 <그림 14>에 나타내었다. 혼성 유기전기발광소자는 단분자 만을 이용한 유기전기발광소자와 고분자를 이용한 고분자전기발광소자의 단점을 없애고 장점만을 결합시킨 진보된 소자이다. 즉, 단분자 유기전기발광소자의 경우 양극전극과 직접 접하는 정공주입층을 구성하는 단분자 대부분은 청색 영역에서의 흡수 문제, 열



<그림 14> 혼성유기전기발광소자의 일반적인 구조

적 안정성, 그리고 내충격성이 동시에 만족되지 못하기 때문에 풀칼라 디스플레이 제작에 문제점이 되며, 고분자 유기전기발광소자의 경우 완충층위에 발광층을 형성할 때 용해 및 팽윤(Swelling)에 의한 층 구조의 파괴 현상이 생긴다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서 정공주입 또는 수송분자가 주쇄 및 측쇄에 도입된 고분자 박막 또는 내열성이 우수한 절연 고분자에 분자수준으로 분산된 복합 박막(Molecularly Doped Composite Film)을 정공주입 및 수송층(HITL)으로 사용하는 것이다. 이렇게 구성된 정공주입 및 수송층 위에 단분자 유기전기발광소자에서 사용한 것과 동일한 발광 및 전자전달 단분자를 진공 증착하여 발광층 및 전자전달층을 형성한다. 그러므로 양극 전극과 접하여 표면의 거칠기(Roughness)를 결정하여 소자의 안정성에 가장 중요한 역할을 하는 정공주입 및 수송층이 안정한 고분자로 형성되기 때문에 연속하여 형성되는 단분자 박막들은 표면 유도 안정화(Surface Induced Stabilization) 현상에 의하여 더욱 안정하게 된다. 그러나 정공주입 및 수송층을 형성할 때 고분자 용액을 이용하면 고분자 유기전기발광소자의 문제점 중의 하나인 잔여 용매 분자에 의한 수명 저하 문제는 여전히 남아있게 된다. 따라서 고분자 정공주입 및 수송층을 형성할 때 진공증착중합(Vapor Deposition Polymerization-VDP)

Vacuum Level



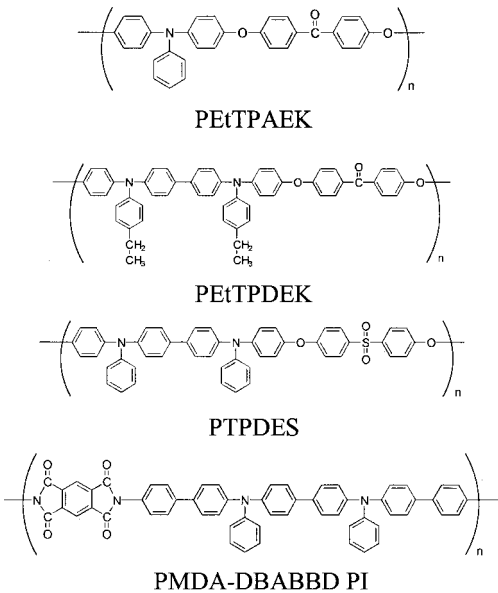
● electron ○ hole

〈그림 15〉 혼성유기전기발광소자의 에너지 띠 구조 및 발광 과정

과 같은 반응성 증착법을 사용하는 것이 소자의 장수명화를 위해서 무엇보다 중요하다<sup>[45,46]</sup>. 또한 〈그림 15〉에 나타낸 것처럼 원활한 정공주입 및 정공전달 기능을 하기 위해서는 혼합진공증착중합(Mixed Vapor Deposition Polymerization-MVDP) 등과 같은 기법이 필요하다.

1. 주쇄형 정공주입 및 수송층용 고분자 재료

〈그림 16〉에 주쇄형(Main Chain Type) 정

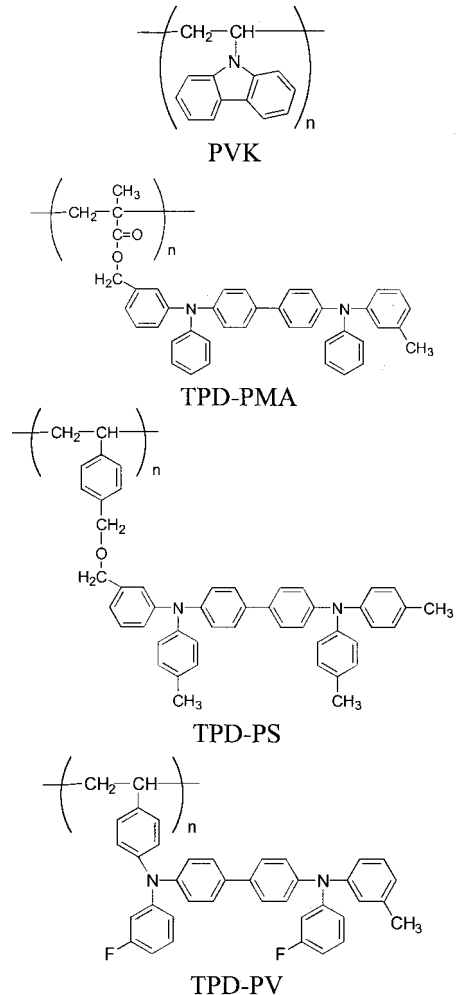


〈그림 16〉 혼성유기전기발광소자의 HITL에 사용되는 주쇄형 고분자 기능 재료

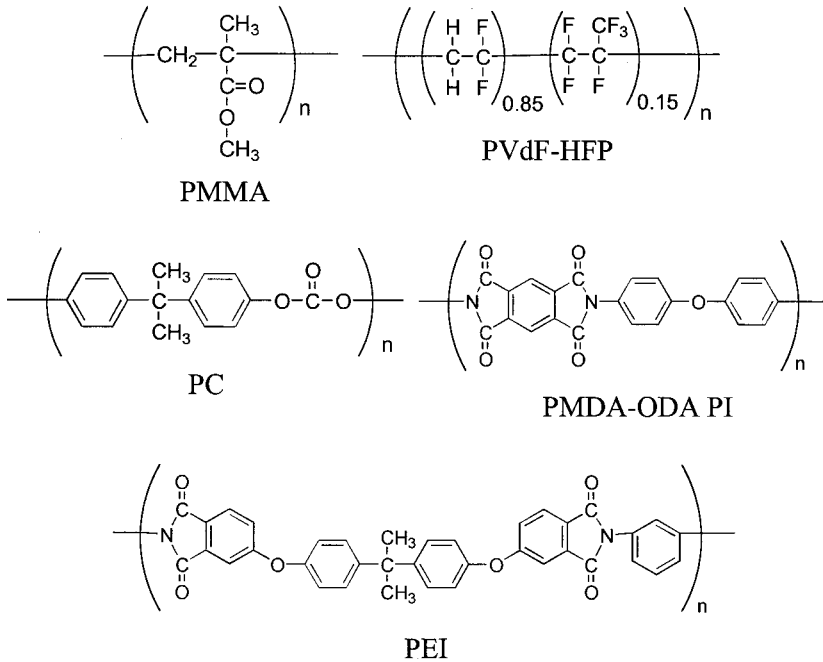
공주입 및 수송층 고분자 재료를 나타내었다. PMDA-DBABBD PI는 습식 및 건식 공정으로 박막형성이 되나 나머지 고분자들은 대부분 습식 공정만으로 박막형성이 가능하다<sup>[45,47]</sup>. 특히 주쇄에 정공주입 및 수송 물질이 포함되어 있기 때문에 고분자 전체가 정공주입 및 수송 역할을 하므로 안정성이 우수하다.

2. 측쇄형 정공주입 및 수송층용 고분자 재료

〈그림 17〉에 대표적인 측쇄형(Side Chain Type) 정공주입 및 수송층 고분자 재료를 나타



〈그림 17〉 혼성형 유기전기발광소자의 HITL에 사용되는 측쇄형 고분자 기능 재료



〈그림 18〉 혼성형 유기전기발광소자의 HITL에 사용되는 분산형 매질 고분자 기능 재료

내었다<sup>[48-50]</sup>. PVK의 경우 진공증착중합이 일부 시도되었으나 그 결과는 좋지 않았으며 그 외의 모든 측쇄형 고분자는 습식 공정으로 박막이 형성된다. 측쇄형 고분자의 경우 정공주입 및 수송 기능을 하는 부분은 측쇄에 한정되므로 주쇄는 일반적으로 전기적으로 절연기능을 한다. 또한 주쇄를 이루는 고분자의 종류에 따라서 전체의 안정성이 좌우되는 특징이 있다.

### 3. 분산형 정공주입 및 수송층용 고분자 재료

마지막의 경우가 분산형 (Dispersion Type 또는 Molecularly Doped) 정공주입 및 수송 복합 박막이다. 즉, 정공주입 및 수송 역할을 하는 단분자 또는 고분자를 전기적인 활성이 없는 절연성 고분자(〈그림 18〉)에 분산 또는 혼합하는 것이다<sup>[42,51-55]</sup>. 매우 경제적인 접근이긴 하나 유기전기발광소자 제작시 수백 Angstrom의 초박막을 다루기 때문에 Nanometer 수준의 상분리(Phase Separation)가 일어날 경우 소자의 파괴 및 수명 단축을 초래하므로 매우 까다로운

공정이 필요하다.

### 4. 유기-무기 혼성형 정공주입 및 수송층용 고분자 재료

이러한 고분자-단분자 혼성형과 전혀 다르게 유기물-무기물 혼성형 발광소자에 대한 연구도 진행되고 있다<sup>[56-58]</sup>. 절연성이며 안전한 무기물을 Host로 사용하고 전기적 활성이 있는 유기물을 Guest로 사용하는 형태 및 Sol-Gel 반응을 일으킬 수 있는 부분을 유기물에 도입하여 반응을 유도하는 형태 등이 있다.

## VI. 기능에 따른 소자 구조

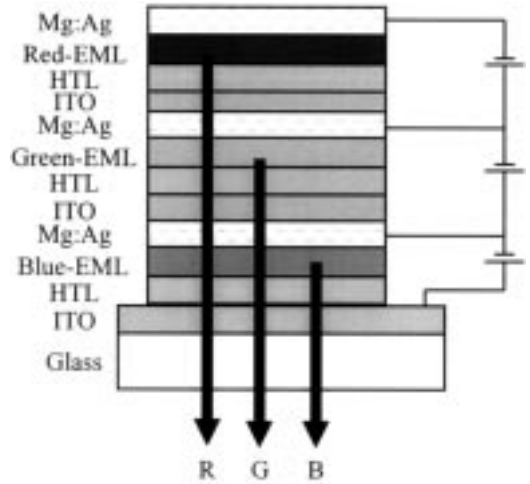
사용하는 재료에 따른 구조 외에 기능에 따른 소자로는 투명한 유기전기발광소자(Transparent OELD-TOELD)<sup>[59-62]</sup>, 유연한 유기전기발광소자(Flexible OELD-FOELD), 적층형 유기전기발광소자(Stacked OELD-SOELD)<sup>[59-61]</sup>, 미세공동형 유기전기발광소자(Microcavity



TOELD

FOELD

〈그림 19〉 투명한 유기전기발광소자 및 유연한 유기전기 발광소자(왼쪽 위: OFF 상태의 TOELD, 왼쪽 아래: ON 상태의 TOELD, 오른쪽 위: UNIAX의 FOELD, 오른쪽 아래: IAE의 FOELD)

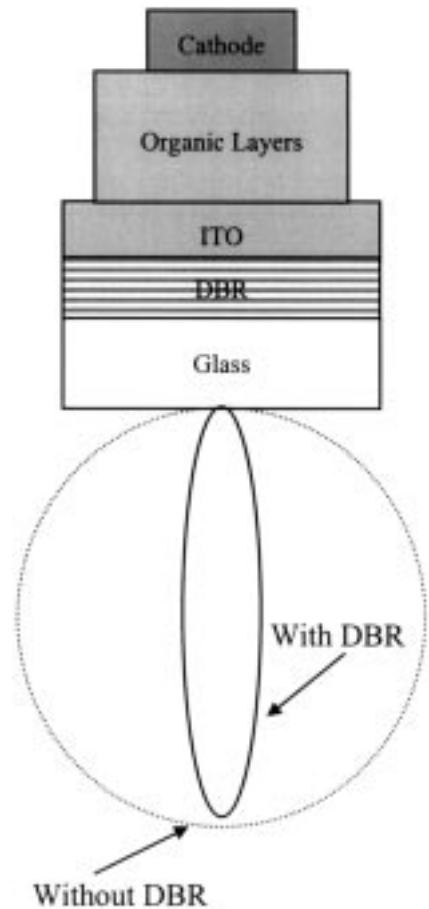


〈그림 20〉 적층형 유기전기발광소자

OELD-MOELD)<sup>[41]</sup>, 그리고 역구조 유기전기 발광소자(Inverted OELD-IOELD)<sup>[28]</sup> 등이 있다.

TOELD는 반투명 금속음전극을 사용하는 방법(〈그림 19〉의 왼쪽)과 음전극의 폭을 줄이는 방법이 있으며 스마트 윈도우(Smart Window) 등과 같은 기능성 디스플레이로 응용이 기대된다. FOELD는 대부분의 경우 유연한 플라스틱 기판에 투명전극인 ITO가 코팅되어 있는 것을 사용한다. 〈그림 19〉의 오른쪽 위의 FOELD는 PET-ITO 기판위에 고분자 발광체인 MEH-PPV를 코팅하여 제작한 것이며, 왼쪽 아래의 것은 PET-ITO 기판위에 폴리이미드 정공수송층을 코팅하고 연속하여 단분자 발광체인 Alq<sub>3</sub>를 증착하여 제작한 것이다. SOELD는 〈그림 20〉에 나타난 것처럼 TOELD의 투명성을 이용하여 적색, 녹색, 청색 빛을 내는 소자를 적층하여 제작한 것이다. 그러나 TOELD와 SOELD의 경우 핵심인 반투명 음전극의 저항이 크고 안정성이 낮은 문제점을 가지고 있다.

MOELD는 기판의 구조에 광학적 미세공동(Optical Microcavity) 구조를 설계하여 삽입하고 그 위에 투명 양극전극을 코팅하여 양극 기판을 완성한 후 유기 박막 및 금속 음전극을 증착한 구조이다. 따라서 제작된 미세 공동은 Diffrac-



〈그림 21〉 Microcavity를 이용한 유기전기발광소자

tive Bragg Resonator (DBR)로 작용하여 해당되는 파장의 빛을 <그림 21>에 나타난 것처럼 마치 레이저(Laser)처럼 직선형 빛으로 유도시킨다. 따라서 미세 공동에서 공명하는 파장을 적색, 녹색, 청색에 맞게 설계하고 유기 박막층을 백색발광에 가깝게 설계하면 이론적으로 풀칼라 디스플레이를 만들 수 있으나 OELD의 주요 장점 중의 하나인 시야각이 매우 넓은 장점이 없게 된다.

IOELD는 기능적인 구분은 아니나 일반적인 OELD 제작 공정의 역공정을 하는 것으로서 다양한 소자 구조 설계 및 응용을 가능하게 해준다. 그러나 역공정에서 유기 박막을 코팅한 후 투명 양극 전극을 그 위에 Sputtering이 E-beam으로 증착할 때 발생하는 열과 물리적 에너지 때문에 유기 박막이 손상될 확률이 높은 단점이 있다. 따라서 열적으로 안정한 유기 단분자 또는 고분자가 개발되면 충분히 가능성 있는 공정이다.

## VII. 유기전기발광소자의 효율

유기전기발광소자의 효율은 흔히 내부양자효율(Internal Quantum Efficiency), 외부양자효율(External Quantum Efficiency), 전력효율(Power Efficiency), 그리고 발광효율(Luminous Efficiency)의 4가지로 표현된다.<sup>[63,64]</sup> 내부양자효율은 이론적으로 가능한 효율로서 주입된 전체 전하(정공 + 전자)수에 대한 방출되는 광자수의 비율로서 다음과 같이 표현된다.

$$\eta_{INT} = \gamma \times \eta_r \times \varphi_f$$

여기서  $\gamma$ 는 정공 및 전자의 균형 인자,  $\varphi_f$ 는 일중항 여기자 생성 효율, 그리고  $\eta_r$ 는 형광 효율이다. 그러나 실질적으로 전기발광 후 방출되는 빛은 유기 박막, 전극, 그리고 기관의 영향 때문에 이론적인 양보다 훨씬 줄어들게 된다. 그 중에서 가장 큰 영향을 미치는 부분은 기관에 의한 굴절 및 반사이다. 따라서 아래의 식과 같이 외부양자효율이 결정된다.

$$\eta_{EXT} \approx \frac{1}{2n^2} \times \eta_{INT}$$

여기서  $n$ 은 유리의 굴절율로서 일반적으로 1.5의 값을 가진다.

전력(에너지)효율은 주입된 전체 외부 전기에너지에 대하여 방출된 광자의 에너지의 비를 표현한 것으로서 다음과 같이 표현된다.

$$\eta_E \approx \frac{N_p}{N_e} \times \frac{\epsilon_p}{eV_{app}}$$

$N_p$ 와  $N_e$ 는 광자 및 전하의 수이고,  $\epsilon_p$ 는 방출되는 광자의 평균에너지이며  $V_{app}$ 는 인가 전압이다. 마지막으로 발광효율은 전력효율과 유사하나 방출되는 광자의 에너지 단위를 디스플레이의 밝기를 측정하는 통상 단위인 칸델라를 사용한 것으로 다음과 같이 표현된다.

$$\eta_L = \frac{\pi \times L}{J \times V}$$

여기서  $J$ 는 전류밀도이며 단위로  $A/m^2$ 를 사용하며,  $V$ 는 인가전압,  $L$ 은 휘도로서 단위는  $cd/m^2$ 이다.

일반적으로 일중항 여기자에 의한 발광을 이용하는 OELD의 경우 스핀 통계학상 내부양자효율이 25%를 넘을 수 없으며 외부양자효율은 5% 이하 이나 최근 인광물질을 사용하여 삼중항을 발광에 활용함으로써 외부양자효율이 10%를 넘어선 획기적인 결과를 얻었다.<sup>[65,66]</sup>

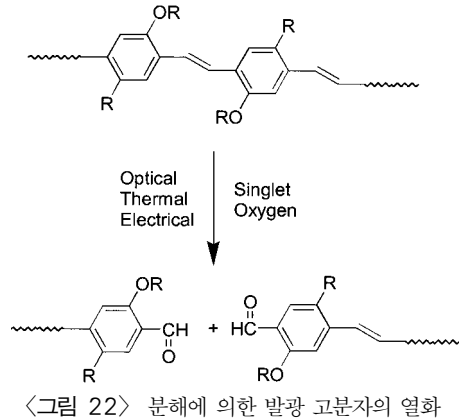
## VIII. 유기전기발광소자의 수명

유기전기발광소자의 수명은 무기물을 주로 다루는 물리학자들 및 전기전자공학자들에 의해서 유기물이라는 이유 하나 때문이라도 초기부터 논란의 대상이 되어왔다. 그러나 지금은 이미 일부가 상품화된 상태이며 지속적으로 장수명화 기술이 발전하고 있다. 아래에 유기전기발광소자의 수명에 영향을 미치는 내부 및 외부 원인, 그리고 해결방법을 간단히 요약하였다.

### 1. 열화의 내부 원인 및 해결 방법

가장 주요한 원인은 유기 물질의 전기화학적 불안정성에 의한 여기 상태에서의 반응 및 열화이다. 유기전기발광소자는 음극 및 양극에서 전자와 정공이 끊임없이 주입되어 박막상태의 유기물질을 1초에 약 10억번 이상 들뜨게 만든 후 빛을 생성시키는 원리로 동작된다. 따라서 여기 상태의 유기 분자가 불안정하여 다른 구조로 변성되거나 이웃하는 분자와 서로 반응을 일으켜 발광 기능이 없는 구조로 전환될 경우 이러한 부분이 발광억제부분(Luminescent Quenching Site)로 작용하여 소자의 수명은 급속히 저하된다. 따라서 이러한 반응은 박막을 구성하고 있는 유기분자들이 확률적으로 동일하게 일으킬 수 있기 때문에 소자를 구동시키는 초기 단계부터 변화를 관측할 수 있다. 기초적인 검증 실험으로서 소자를 제작하여 진공 또는 질소 분위기에서 수십 번 On-Off를 반복했을 때에도 휘도 및 색상이 크게 변하지 않으면 일반적으로 초기상태의 발광 안정성(Emission Stability)이 있다고 판단할 수 있다. 만일 패키징(Packaging 또는 Encapsulation)이 완벽하지 않아서 산소가 존재할 경우 광학적, 열적, 또는 전기적인 힘에 의해서 산소가 촉매 작용을 하거나 직접 반응에 참여하여 유기박막을 열화 또는 분해 시킨다<sup>[67-69]</sup>. 유기 단분자를 사용하는 경우에는 도핑을 하여 발광중심(Emission Center)을 도핑 분자로 변화 시키면 이러한 열화 속도가 매우 느려져서 장수명을 확보할 수 있다<sup>[67]</sup>. 고분자의 경우 대표적인 예가 PPV 유도체와 같이 비닐결합(Vinyl Bond)을 가진 유기 화합물들이며 <그림 22>와 같이 일중항 산소에 의해서 발광 억제 부분인 알데하이드(Aldehyde)로 변하게 된다<sup>[68,69]</sup>. 따라서 산소 투과를 억제할 수 있는 보호층(Protection Layer)의 도입이 필수적이다.

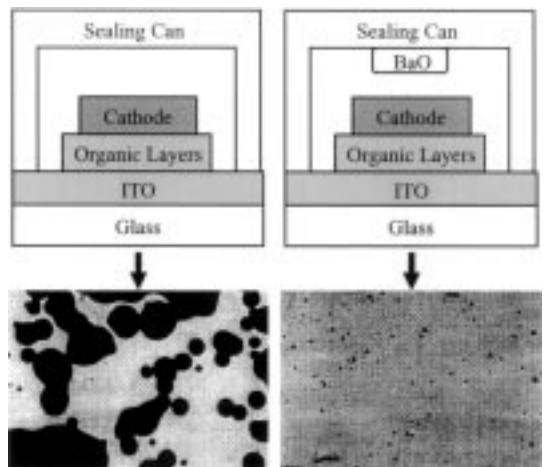
또 다른 원인은 유기 박막과 투명 양극전극 또는 금속 음극전극사이의 접착력이 근본적으로 좋지 않기 때문에 구동 전압 및 온도가 높을 경우 계면 전압 차이 및 서로 다른 열팽창 계수 때문에 층간 분리가 일어나 소자가 열화된다. 이런 경



우 구동 전압을 낮추고 유리전이온도가 높은 유기물질을 사용하면 문제점을 해결할 수 있다.

### 2. 열화의 외부 원인 및 해결 방법

유기전기발광소자 대부분은 구동 전압, 휘도, 그리고 효율을 최적화하기 위해서 리튬 등과 같은 수분에 민감한 금속을 소량 함유한 합금을 사용한다. 또한 사용하는 유기 물질 대부분이 파이전자(Phi Electron)을 가지고 있기 때문에 정도에 따라 다르지만 물 분자와 상호작용을 하게 된다. 따라서 공기중의 수분 또는 이미 기판 등에 부착된 수분은 소자를 구동하지 않고 단순히 보



<그림 23> 유기전기발광소자의 수명에 미치는 흡습제의 영향 (사진 : 85°C에서 500시간 동안 보관 후 측정된 것임)



관만 할 경우에도 서서히 전극 및 유기 박막을 공격하여 흑점(Dark Spot)을 만든다.

이미 상품화에 성공한 일본의 파이오니아전자는 <그림 23>과 같이 흡습제인 산화바륨 화합물(BaO Complex)을 패키징시 부착하여 내부에 존재하는 수분 및 장시간 구동시 외부로부터 침투하는 수분을 제공하는 기술을 특허화 하였다<sup>[70]</sup>. 즉, 단순한 패키징 만으로는 1,000시간 내외의 수명은 확보할 수 있으나 상용화 수준에는 미치지 못한다. 그러나 최근 독성이 강한 BaO의 환경적 규제 때문에 CaO로 대체하는 것이 거의 완료 단계에 와 있다. 그 외에 최근에는 패키징의 일환으로 산화무기물 또는 반응성 고분자를 증착하는 연구들이 진행되고 있다.

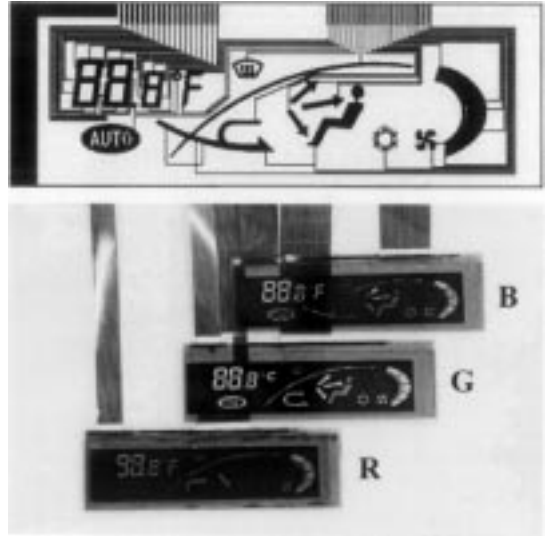
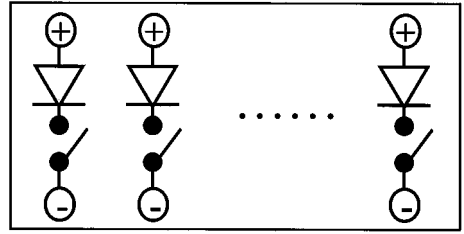
## IX. 유기전기발광 디스플레이

지금까지 설명한 유기전기발광소자에 대한 기술을 기본으로 하여 상품적 가치가 있는 디스플레이로 제작할 수 있다. 가능한 디스플레이의 종류로는 가장 단순한 아이콘형, 투자비가 소규모인 수동구동형, 그리고 고해상도가 가능한 능동구동형이 있다.

### 1. 디스플레이 종류 및 구동

아이콘형(Icon Type) OLED는 용어가 의미하는 것처럼 전극의 모양을 나타내고자 하는 아이콘과 동일하게 형성한 후에 해당하는 정보를 단순 On-Off로 제어하는 것이다. <그림 24>에 대표적인 아이콘형 디스플레이로서 고등기술연구원에서 개발한 자동차 자동온도 조절기(Automatic Temperature Controller for Automobile)용 OLED를 나타내었다. 가능한 색상으로는 청색, 적색, 녹색 등의 단색 및 아이콘의 일부 색상을 다르게 제작한 다중색 등이 있다.

수동구동형(Passive Matrix Type) OLED는 <그림 25>에 나타난 것처럼 양극전극과 음극전극이 서로 교차하는 형태로서, 문자나 영상을 나타내기 위해서는 양쪽 전극 중에서 한쪽을 데이터 전극(Data Electrode)로 정하고 관련 구

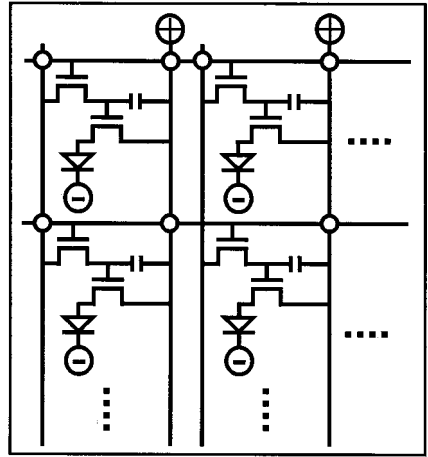
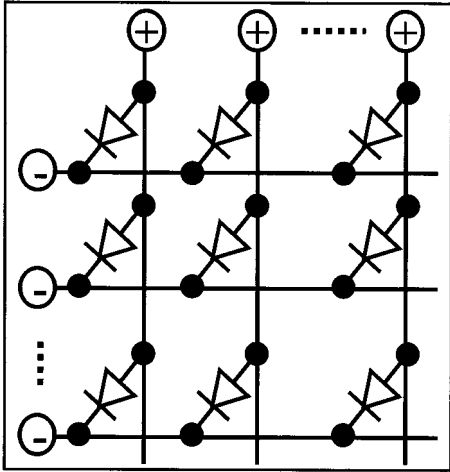


<그림 24> 아이콘형 유기전기발광 디스플레이

동칩(Driving Chip)을 장착하여 각각 전극선(Electrode Line)에 해당하는 정보를 특정 시간마다 동시에 전기신호로 흘려주며, 다른 쪽 전극은 주사 전극(Scan Electrode)으로 정하고 역시 구동칩을 붙여서 처음 전극선부터 마지막 전극선까지 일정한 시간 간격으로 주사하는 형태로 전기신호를 흘린다. 따라서 시간 제어 및 흘리는 전기신호의 파형이 깨끗한 이미지를 나타내는데 있어서 필수적이며 PWM(Pulse Width Modulation)과 PAM(Pulse Amplitude Modulation) 방식을 기본으로 사용하며 상황에 따라서 이 두가지 방법을 혼합하여 사용하기도 한다. 수동구동형 OLED의 구동시 평균휘도와 순간최대 휘도 등에 대한 관련 식은 다음과 같다.

$$L_0 = \frac{L_d \times M}{r_a \times d}$$

여기서  $L_d$ 는 디스플레이의 평균휘도,  $L_0$ 는 순



〈그림 25〉 수동구동형 유기전기발광 디스플레이

〈그림 26〉 능동구동형 유기전기발광 디스플레이

간최대휘도,  $r_a$ 는 개구율,  $d$ 는 Duty Cycle, 그리고  $M$ 은 주사전극의 수이다. 따라서 개구율이 0.8, Duty Cycle이 0.5, 주사전극의 수가 120개, 그리고 2분할한 수동구동형 OLED에서 평균휘도가  $100\text{cd/m}^2$ 가 되게 하기 위해서는 약  $30,000\text{cd/m}^2$  이상의 순간최대휘도가 필요하다. 여기서 이러한 고휘도를 얻을 수는 있지만 휘도가 높은 만큼 수명이 짧아지는 역효과가 생기기 때문에 수동구동형 디스플레이의 가장 큰 문제점 중의 하나로 지적되고 있다. 〈그림 25〉의 중간에 수동구동형 및 아이콘형이 혼합된 일본 파이오니아 전자에서 상품화한 카오디용 다중색 OLED를

나타내었으며, 맨 아래쪽에 수동구동형 5.2인치 QVGA급 풀칼라 OLED 시작품을 나타내었다.

수동구동형 OLED는 Cross-Talk 및 전압강하 현상 때문에 고화질 또는 대형 디스플레이에 부적합한 반면 능동구동형 OLED는 〈그림 26〉의 회로도에 나타낸 것처럼 개별구동을 가능하게 해주는 박막트랜지스터(Thin Film Transistor-TFT)가 기관에 장착되어 있기 때문에 화소 단위인 각각의 소자를 Switching TFT로 On-Off만으로 구동이 가능하므로 고화질이 가능

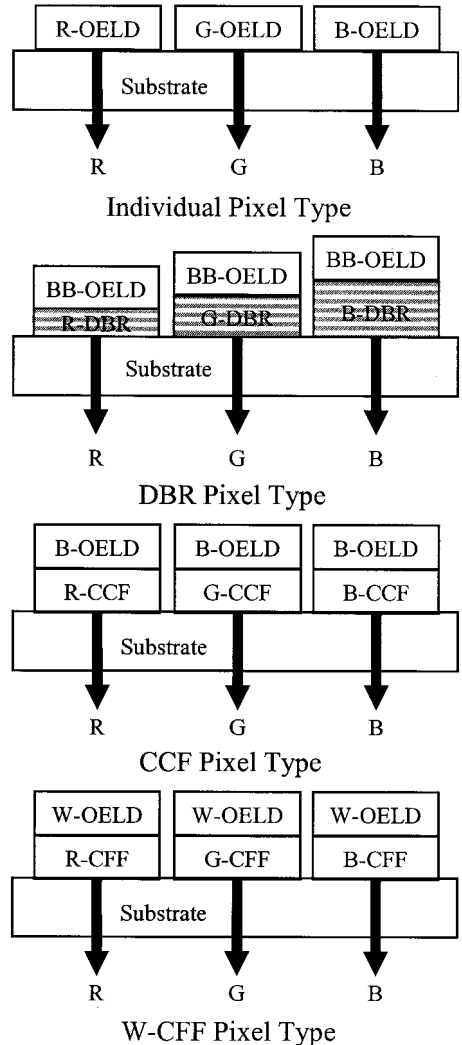
하다<sup>[71]</sup>. 특히 수동구동형 OLED와는 달리 모든 화소를 동시에 On-Off할 수 있기 때문에 다음의 식으로 평균휘도와 순간최대휘도를 계산할 수 있다.

$$L_0 = \frac{L_d}{r_a \times d}$$

따라서 개구율이 0.8이고 Duty Cycle이 0.5 인 능동구동형 OLED에서 평균휘도가 100 cd/m<sup>2</sup> 가 되게 하기 위해서는 순간최대휘도가 250 cd/m<sup>2</sup>가 필요하며 최종적으로 반사방지필름(Anti-reflective Film-ARF)에 의한 손실이 약 50% 일 경우 궁극적으로 필요한 순간최대휘도는 약 500 cd/m<sup>2</sup>가 된다. 그러므로 휘도가 낮기 때문에 필요한 전압 및 전류밀도도 적게되므로 비록 Switching TFT에서 일부 전력이 소비된다 할지라도 궁극적으로는 소비전력이 작아지는 장점이 있다. 특히 휘도가 낮으므로 단위 시간당 흐르는 전하의 수가 적으므로 결국 수명이 수동구동형 OLED 보다 길어지게 된다. 능동구동형 OLED의 시작품으로는 <그림 26>의 중간에 나타난 CDT사와 Seiko-Epson사가 공동 개발한 PPV로 제작한 2인치급 녹색 디스플레이와 맨 아래쪽에 나타난 Eastman Kodak과 Sanyo가 공동 개발한 5.5인치급 풀칼라 디스플레이가 있다.

### 2. 칼라화 방법

풀칼라 유기전기발광 디스플레이를 제작하기 위해서는 다음과 같은 대표적인 칼라화 방법 중의 한가지를 적용해야 한다. 가장 이상적인 방법은 <그림 27>에 나타난 개별 화소형(Individual Pixel Type) 방법이다. 개별 화소를 만들기 위해서는 단분자 발광체를 사용할 경우 일반적으로 Shadow Mask를 사용하여 원하는 화소 이외의 부분을 가린 후 증착하는 것을 반복해야 한다. 따라서 화소의 크기가 작아지고 디스플레이의 전체 면적이 넓어질수록 어렵게 된다. 또 다른 문제는 청색, 녹색, 적색 각 화소의 수명이 동일해야만 장시간 구동시 색상 유지가 된다. 불행히도 현재까지 각 색상별 수명을 정확히 맞추지 못하였다.



<그림 27> 유기전기발광 디스플레이의 칼라화 방법

발광 고분자를 사용할 경우 Ink-Jet으로 용액 방울을 기판 위에 코팅하여 화소를 만드는 방법이 개발 중이나 낮은 접착력 및 불균일한 두께 등 여러가지 해결 해야 할 문제점들이 남아 있다.

두 번째 방법으로 적색, 녹색, 청색의 파장에 해당하는 DBR을 각각 기판에 삽입하고 그 위에 넓은 영역의 발광 파장을 가진 유기박막층을 설계하여 디스플레이를 제작하면 해당하는 DBR에서 각각의 색상을 얻을 수 있기 때문에 풀칼라 디스플레이를 구현할 수 있다. 그러나 이미 앞에서 언급한 것처럼 시야각이 작은 문제 때문에 일

반적인 용도 이외의 특수한 곳에 응용하는 것이 바람직하다.

세 번째 방법은 기관과 양극전극 사이에 청색, 녹색, 그리고 적색에 해당하는 색변환필름(Color Converting Film-CCF)을 각각 삽입하고 그 위에 청색 OLED를 제작하여 구성한 것이다. 각 화소별 수명이 동일하기 때문에 경쟁력 있는 방법으로 고해상도 디스플레이에 적합한 후보 중의 하나로 고려되고 있다. 그러나 각 색상별 CCF를 만드는 공정은 LCD에서 사용하는 칼라필터필름(Color Filter Film-CFF)을 제작하는 공정과 동일한 과정을 거쳐야 하므로 생산 비용이 증가되는 단점이 있다. 또한 기본 원리가 에너지가 높은 청색 발광을 이용한 색변환 이므로 이웃하는 화소가 일부 점등되는 Cross-Talk 현상이 발생할 수 있다.

네 번째는 LCD와 유사한 방법으로서 각 색상별 CFF를 기관에 부착하고 그 위에 백색발광 OLED를 형성하는 것이다. 그러나 칼라필터가 해당 색상의 일부 및 그 외의 빛을 모두 흡수하기 때문에 효율이 매우 낮아져서 전력소모가 높은 단점이 있다.

## X. 결 론

유기전기발광소자는 이미 차량용 디스플레이 및 휴대폰용 디스플레이로 이미 상용화 되기 시작하였다. 남아 있는 과제 중에서 가장 중요한 부분은 풀칼라화 디스플레이의 상품화이며 이를 위한 재료 및 기타 부품의 연구개발이 좀더 필요하다. 그러나 방산제품 등과 같이 열악한 조건에서도 안정한 특성을 가지는 디스플레이로서 그 응용 범위가 확대되기 위해서는 내열성 및 내충격성이 우수한 재료의 지속적인 개발이 요구된다.

## 감사의 글

본 글의 작성에 도움을 주신 고등기술연구원 네스센터 및 (株)네스디스플레이의 모든 연구원들과 부산대학교 고분자공학과와의 하창식 교수님

께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] M. Pope, H. P. Kallman, and P. Magnate, *J. Chem. Phys.*, **38**, 2042 (1963).
- [2] W. Helfrich and W. G. Schneider, *Phys. Rev. Lett.*, **14**, 229 (1965).
- [3] W. Helfrich and W. G. Schneider, *J. Chem. Phys.*, **44**, 2902 (1965).
- [4] W. Mehl and W. Bucher, *Z. Phys. Chem.*, **47**, 76 (1965).
- [5] J. Dresner, *RCA Rev.*, **30**, 322 (1969).
- [6] N. V. Vityuk and V. V. Mikho, *Soc. Phys. Semicond.*, **6**, 1479 (1973).
- [7] F. Lohmann and W. Mehl, *J. Chem. Phys.*, **50**, 500 (1969).
- [8] D. F. Williams, M. Schadt, *Proc. IEEE*, **58**, 475 (1970).
- [9] H. P. Schwob, J. Funfschilling, and I. Zchokke-Gränacher, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **10**, 39 (1970).
- [10] M. Kawabe, K. Masuda, S. Namba, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **10**, 527 (1971).
- [11] N. I. Wakayama, N. Wakayama, and D. F. Williams, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **26**, 275 (1974).
- [12] J. G. Basurto and Z. Burshtein, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **31**, 211 (1975).
- [13] J. Kalinowski, J. Godlewski, and R. Singnerski, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **33**, 247 (1976).
- [14] K. C. Kao and W. Hwang, *Electrical Transport in Solids*, Pergamon Press, Oxford (1981).
- [15] C. W. Tang, *US Patent* 4, 356, 429 (1982).
- [16] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, *Appl.*

- Phys. Lett.*, **51**, 913 (1987).
- [17] C. Adachi, S. Tokito, T. Tsutsui, and S. Saito, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **27**, L269 (1988).
- [18] C. Adachi, S. Tokito, T. Tsutsui, and S. Saito, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **27**, L712 (1988).
- [19] C. W. Tang, S. A. VanSlyke, and C. H. Chen, *J. Appl. Phys.*, **65**, 3610 (1989).
- [20] J. H. Burroughes, D. D. C. Bradley, A. R. Brown, R. N. Marks, K. MacKay, R. H. Friend, P. L. Burn, and A. B. Holmes, *Nature*, **347**, 539 (1990).
- [21] D. Braun and A. J. Heeger, *Appl. Phys. Lett.*, **58**, 1982 (1991).
- [22] N. C. Greenham and R. H. Friend, *Solid State Phys.*, **49**, 1 (1995).
- [23] L. J. Rothberg, A. J. Lovinger, *J. Mater. Res.*, **11**, 3174 (1996).
- [24] J. Salbeck, Ber. Bunsenges. *Phys. Chem.*, **100**, 1667 (1996).
- [25] J. R. Sheats, H. Antoniadis, M. Hueschen, W. Leonard, J. Miller, R. Moon, D. Roitman, and A. Stocking, *Science*, **273**, 884 (1996).
- [26] C. H. Chen, J. Shi, and C. W. Tang, *Macromol. Symp.*, **125**, 1 (1997).
- [27] J. Kalinowski, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **32**, R179 (1999).
- [28] V. Bulovic, P. E. Burrows, and S. R. Forrest, *Semiconductors and Semimetals*, **64**, 255 (2000).
- [29] V. Bulovic and S. R. Forrest, *Semiconductors and Semimetals*, **65**, 1 (2000).
- [30] T. Wakimoto, R. Murayama, K. Nagayama, Y. Okuda, H. Nakada, and T. Tohma, *SID Digest*, **27**, 849 (1996).
- [31] Pioneer Electronics Co., <http://www.pioneerelectronics.com/>
- [32] CDT, <http://www.cdtltd.com/>
- [33] UNIAX, <http://www.uniax.com/>
- [34] NESS, <http://www.ness.co.kr/>
- [35] UDC, <http://www.universaldisplay.com/>
- [36] eMagine, <http://www.emagincorp.com/>
- [37] Covion, <http://www.covion.com/>
- [38] Syntec, <http://www.syntec-synthon.com/>
- [39] S. M. Sze, *Physics of Semiconductor Devices*, 2<sup>nd</sup> Edn., John Wiley & Sons, Republic of Singapore (1981).
- [40] Y. A. Ono, *Electroluminescent Displays*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Republic of Singapore (1995).
- [41] S. Miyata and H. S. Nalwa, *Organic Electroluminescent Materials and Devices*, Gordon and Breach Publishers, The Netherlands (1997).
- [42] Y. Kim, J. G. Lee, and S. W. Kim, *Adv. Mater.*, **11**, 1463 (1999).
- [43] W. B. Im, H. K. Hwang, J. G. Lee, and Y. Kim, *Appl. Phys. Lett.*, submitted (2000).
- [44] T. Virgili, D. G. Lidzey, and D. D. C. Bradley, *Adv. Mater.*, **12**, 58 (2000).
- [45] Y. Kim, J. G. Lee, K. Han, H. K. Hwang, D. W. Choi, Y. Y. Jung, J. H. Keum, S. W. Kim, S. S. Park, and W. B. Im, *Thin Solids Films*, **363**, 263 (2000).
- [46] J. G. Lee, S. W. Kim, D. K. Choi, Y. Kim, S. C. Kim, M. H. Lee, and K. Jeong, *J. Kor. Phys. Soc.*, **35**, S604 (1999).
- [47] J. Kido, *Proc. IDW*, 601 (1998).
- [48] C.-M. Bouché, P. Berdagué, H. Facoetti, P. Robin, P. Le Barny, and M. Schott, *Synthetic Metals*, **81**, 191 (1996).
- [49] J. M. Son, Y. Sakaki, K. Ogino, and H.

- Sato, *IEEE Trans. Electron Devices*, **44**, 1307 (1997).
- [50] S. E. Shaheen, G. E. Jabbour, B. Kippelen, N. Peyghambarian, J. D. Anderson, S. R. Marder, N. R. Armstrong, E. Bellmann, and R. H. Grubbs, *Appl. Phys. Lett.*, **74**, 3212 (1999).
- [51] J. Kido, K. Hongawa, M. Kohda, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **31**, L960 (1992).
- [52] E. Kang, J. Keum, Y. Kim, W. J. Cho, C. S. Ha, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **316**, 261 (1998).
- [53] J. G. Lee, Y. Kim, S. H. Jang, S. N. Kwon, and K. H. Jeong, *Appl. Phys. Lett.*, **72**, 1757 (1998).
- [54] H. Lim, H. Park, J. G. Lee, Y. Kim, W. J. Cho, and C. S. Ha, *Proc. SPIE*, **3281**, 345 (1998).
- [55] Y. Kim, J. G. Lee, H. Hwang, S. H. Jang, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **316**, 251 (1998).
- [56] J. H. Keum, E. Kang, Y. Kim, W. J. Cho, and C. S. Ha, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **316**, 297 (1998).
- [57] T. Dantas de Moraes, F. Chaput, K. Lahlil, and J.-P. Boilet, *Adv. Mater.*, **11**, 107 (1999).
- [58] M. Schneider, J. Hagen, D. Haarer, and K. Mullen, *Adv. Mater.*, **12**, 351 (2000).
- [59] G. Gu, G. Parthasarathy, P. E. Burrows, P. Tian, I. G. Hill, A. Kahn, and S. R. Forrest, *J. Appl. Phys.*, **86**, 4067 (1999).
- [60] G. Gu, G. Parthasarathy, P. Tian, P. E. Burrows, and S. R. Forrest, *J. Appl. Phys.*, **86**, 4076 (1999).
- [61] G. Parthasarathy, G. Gu, and S. R. Forrest, *Adv. Mater.*, **11**, 907 (1999).
- [62] J. G. Lee and Y. Kim, *Korean Patent Appl. No. 15780* (1998).
- [63] N. C. Greenham, R. H. Friend, and D. D. C. Bradley, *Adv. Mater.*, **6**, 491 (1994).
- [64] T. Tsutsui and K. Yamamoto, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **38**, 2799 (1999).
- [65] M. A. Baldo, M. E. Thompson, and S. R. Forrest, *Nature*, **403**, 750 (2000).
- [66] T. Tsutsui, M.-J. Yang, M. Yahiro, K. Nakamura, T. Watanabe, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **38**, L1502 (1999).
- [67] S. A. VanSlyke and C. W. Tang, *Digest of LEOS Summer Topical Meetings*, 3 (1995).
- [68] P. Hrdlovic, *Polymer News*, **22**, 356 (1997).
- [69] B. H. Cumpston, I. D. Parker, and K. F. Jensen, *J. Appl. Phys.*, **81**, 3716 (1997).
- [70] T. Tohma, *Proc. of Electronic Journal 6<sup>th</sup> FPD Seminar (Japanese)*, 19 (1999).
- [71] C. W. Tang, *US Patent* 5,550,066 (1996).
- [72] M. E. Thompson, S. Lamansky, P. Djurovich, D. Murphy, F. Abdel-Razzaq, S. R. Forrest, M. Baldo, P. E. Burrows, C. Adachi, T. X. Zhou, and J. J. Brown, *Proc. The 10<sup>th</sup> International Workshop on Inorganic and Organic Electroluminescence (EL'00)*, p. 35 (2000).
- [73] T. K. Hatwar, G. Rajeswaran, J. Shi, Y. Hamada, H. Kanno, and H. Takahashi, *Proc. The 10<sup>th</sup> International Workshop on Inorganic and Organic Electroluminescence (EL'00)*, p.31 (2000).
- [74] W. B. Im, H. K. Hwang, K. Han, and Y. Kim, *Appl. Phys. Lett.*, **xx**, xxx (2001)
- [75] D. Y. Kim, H. N. Cho, and C. Y. Kim, *Prog. Polym. Sci.*, **25**, 1089 (2000).