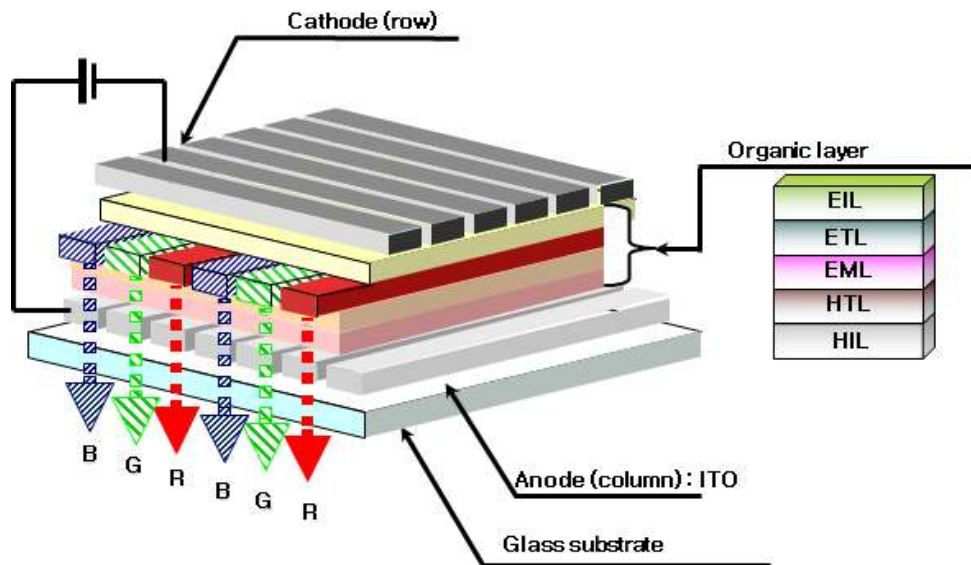


II . OLED : 유기발광다이오드

1 정의

□ OLED(Organic light emitting device)는 두 개의 전극사이에 유기물을 배열하고 전계를 가하여 주입된 전자와 정공이 유기물 내에서 재결합하여 형성되는 여기자가 기저상태로 떨어지면서 빛을 내는 현상을 이용하는 디스플레이이다.

<OLED의 구조>



- 사용되는 유기물은 기능에 따라서 정공주입층(HIL: Hole Injection Layer), 정공수송층(HTL: Hole Transport Layer), 발광층(EML: Emission Layer), 전자수송층(ETL: Electron Transport Layer), 전자 주입층(EIL: Electron Injection Layer) 등 다층의 박막층으로 구성되어 효율 및 색상 신뢰성을 향상시킨다.
- 양극(Anode)은 정공의 주입이 용이하도록 일함수(Work Function)가 큰 투명전도성산화막(TCO, Transparent Conducting Oxide)을 주로 사용하며, 음극(Cathode)은 전자의 주입이 용이하도록 일함수가 작은 금속 혹은 초박막의 LiF와 Al을 주로 사용한다.

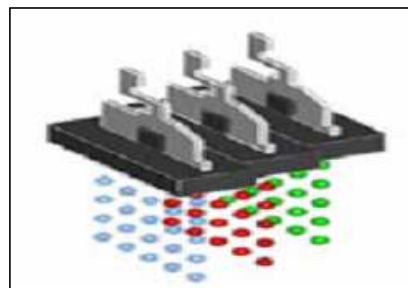
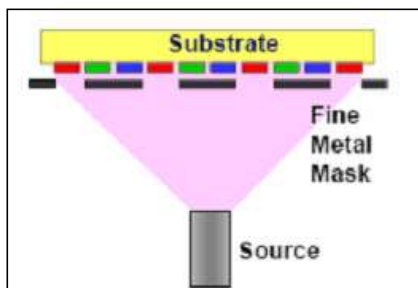
- OLED는 고속응답, 광시야각, 초박형, 고화질, 넓은 구동온도 범위 등 디스플레이로서 필요한 모든 요소를 갖추고 있어서 LCD 이후의 “꿈의 디스플레이”로 주목 받고 있다.
- OLED가 LCD와 차별화되는 이유는 자발광이라는 특징으로 인해 백라이트가 필요 없고 시안성이 좋으며 응답속도가 빠르며 시야각이 넓은 장점을 가지고 있음. 또한 고체 상태로 제작되므로 플렉시블 디스플레이로 제작이 용이한 장점을 가지고 있다.
- OLED는 차세대 조명으로도 많은 연구가 진행되고 있다. OLED의 얇고 플렉시블하게 제작할 수 있다는 특성에 의하여 타일, 테이프 또는 벽지 형태 등 다양한 형태의 조명 기구가 가능할 것으로 기대되어 미국, 유럽, 일본 등에서는 수년전부터 차세대 광원으로 많은 연구가 이루어지고 있다.

2

종 류

- OLED는 발광재료, 구동 방법, 발광 방향, 발광 메커니즘에 따라서 분류한다.
- 발광재료는 유기 재료의 분자량에 따라서 저분자와 고분자로 분류된다. 저분자는 효율, 수명, 색순도 등에서 고분자에 비하여 우수한 특성을 가지며, 통상 진공에서의 증착 방식에 의하여 성막하므로 주로 소형 OLED 제조에 현재 사용되고 있으며, 고분자는 용액상태로 스프인코팅이나 잉크젯방법을 사용하여 성막하므로 대면적 적용에 유리한 장점이 있다.

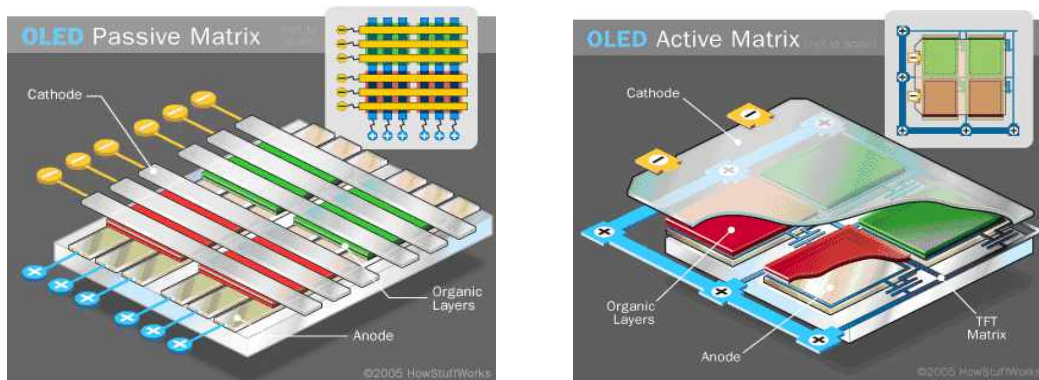
<저분자 (左), 고분자(右)의 성막 방법>



- 저분자 재료는 주로 shadow mask를 사용하는 진공증착법에 의해 박막의 형태로 증착되며, 효율 및 신뢰성이 우수하며, 칼라의 구현이 용이하여 현재 대부분의 기업에서 OLED 생산에 적용하고 있다.
- 고분자 재료는 주로 용액 공정(Solution Process)에 의해 박막으로 코팅되고 있으며, 유럽의 일부 기업에서 단색 OLED 생산에 적용하고 있음. 고분자 OLED의 칼라 구현을 위해선 잉크젯 코팅 방법이 주로 사용되고 있다.

- 구동 방식은 하나 이상의 TFT를 사용하여 픽셀을 동작시키는 능동구동(AM : active matrix) 방식과 구동 소자 없이 양극과 음극을 매트릭스 방식으로 교차 배열하여 전압을 인가할 때 양극과 음극이 교차되는 픽셀에서 빛이 발생하도록 하는 수동구동(PM : passive matrix) 방식이 있다.

<PM 방식(左)과 AM 방식(右)의 비교>



- 수동구동방식은 구조가 간단하고 제조공정이 단순하여, 생산투자비가 적고 저가격으로 제조가 가능한 반면, 듀티비(Duty ratio)로 인해 고해상도의 구현 및 대면적으로의 제조가 어려우며, 크로스톡(crosstalk)등이 쉽게 생겨 소형의 범용 디스플레이에 적합하다.
- 능동구동방식은 각각의 화소를 트랜지스터 등의 스위칭 소자에 의해 직접 조정하는 것으로 OLED의 전류구동 특성상 2개 이상의 트랜지스터가 요구되는 단점이 있으나 소비전력이 수동구동방식에 비해 훨씬 작고 화질이 우수하여 고해상도 대면적 디스플레이 구현에 적합하다.
- OLED는 전압에 의해 구동되는 LCD와 달리 전류에 의하여 구동되므로 트랜지스터를 통하여 흐르는 전류의 양이 커서 트랜지스터의 크기가 크고 높은 안정성과 높은 mobility가 요구되고 있어 이에 따른 poly-Si TFT, a-Si TFT, organic TFT를 활용한 backplane 기술이 개발되고 있다.

- 발광된 빛은 전극을 통과하여 밖으로 나오게 되는데 이때 기판을 통과하여 나오는 배면 발광형(bottom emission OLED), 기판의 반대로 나오는 상면발광형(top emission OLED), 양쪽으로 모두 나오는 양면 발광형 또는 투명 발광형(transparent OLED)으로 나눌 수 있다.
- 배면발광 방식은 glass 기판 위에 증착된 anode 전극인 ITO, IZO 등의 TCO를 통해서 발광된 빛이 나오게 되는 방식으로 수동구동 방식에 있어서 가장 일반적으로 채용되어 제품화되고 있다.
- 상면발광형은 AMOLED에서 다수의 트랜지스터와 커패시터, 배선 등에 의하여 개구율이 감소되는 문제를 해소할 수 있으므로 고해상도, 저 소비전력, 장수명화가 가능한 장점이 있다.
- 양면발광형은 소자자체는 투명하나 구동시에는 양면으로 정보를 표시할 수 있는 방식으로 아직까지 기술적 완성도는 낮으나 윈도우나 자동차용 등 향후 다양한 분야에 응용될 것으로 예상되고 있음
- OLED는 유기 발광재료의 발광 메커니즘에 따라서 형광 (Fluorescence)과 인광(Phosphorescence)으로 나눌 수 있으며 고효율을 요구하는 AMOLED에 적합한 효율이 우수한 인광재료가 많은 관심을 받았으나 청색 및 녹색발광 물질의 경우 최근 고효율의 형광재료가 개발되고 있다.
- 형광 OLED는 재결합된 여기자의 25%만을 발광에 이용할 수 있기 때문에, 내부양자효율(Internal Quantum Efficiency)이 최대 25%이며, 외부양자효율(External Quantum Efficiency)은 이론적으로 약 5% 정도 밖에 도달하지 못한다.
- 인광 OLED는 재결합에 의해 형성된 여기자를 모두 발광에 이용할 수

있기 때문에, 내부양자효율이 100%이며, 외부양자효율은 이론적으로 최대 20%까지 달할 수 있어 형광 OLED에 비해 이론 효율이 4배가 되어 최근 각광을 받고 있다.

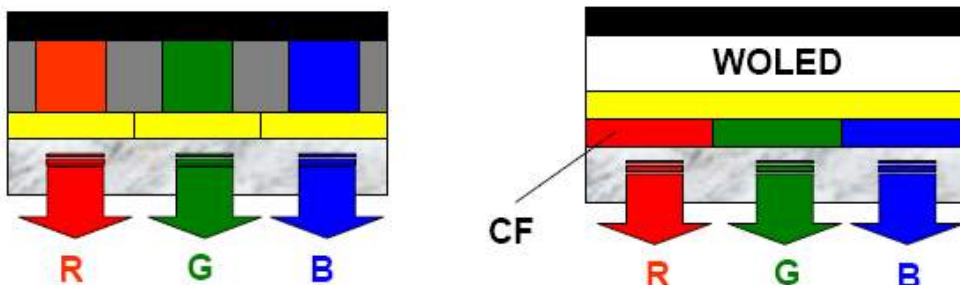
- 최근 높은 효율을 나타내는 청색 및 녹색 형광재료가 개발되어 AMOLED에 적용되고 있다.

□ OLED를 이용하여 Full color를 구현하는 방법은 RGB를 내는 각각의 발광재료를 이용하여 RGB 픽셀을 형성하는 삼색발광법과 color filter array에 white OLED를 이용하는 백색법, blue 발광을 색변환 필터를 사용하여 red와 green을 구현하는 색변환법이 있다.

- RGB를 각각 형성하는 삼색발광법에 있어서 저분자 재료를 사용하는 SMOLED 경우에는 Shadow mask를 이용하여 선택영역에만 증착을 하는 방법을 적용하며 고분자를 쓰는 PLED에서는 잉크젯 방법을 주로 사용한다.

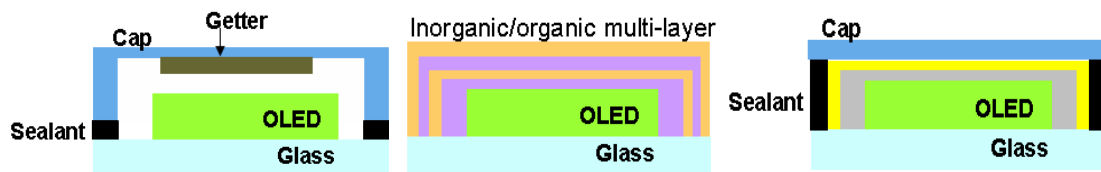
- 백색법은 기존의 LCD에서 기술적 축적이 이루어진 color filter 공정을 그대로 활용할 수 있고 Shadow mask를 사용한 삼색발광법이 대형화가 어려운 단점이 있어서 대면적 디스플레이에 적합한 방법으로 평가되고 있다.

<Full color OLED 구현 방법 (左)삼색법 (右)백색법>



- OLED는 산소와 수분에 매우 민감하여 공기 중에 노출될 경우 소자의 특성 저하, 흑점 발생 수명 단축 등의 문제를 초래함으로, 이를 방지하기 위한 Encapsulation 공정이 필요하며 이는 양산에 있어서 신뢰성을 확보하는데 중요한 역할을 한다.
- Encapsulation은 소자를 inert gas 분위기에서 glass또는 metal cap을 이용하여 덮고 sealant로 접합시키는 공정이며 외부로부터 침투하거나 또는 내부에서 발생할 수 있는 산소나 수분을 흡착하기 위한 getter를 삽입하고 있다.
- 상면발광형을 위해서는 투명 encapsulation 기술이 요구되고 있으며 이를 위해서는 투명 cap 및 투명 getter에 대한 개발이 요구되고 있다.

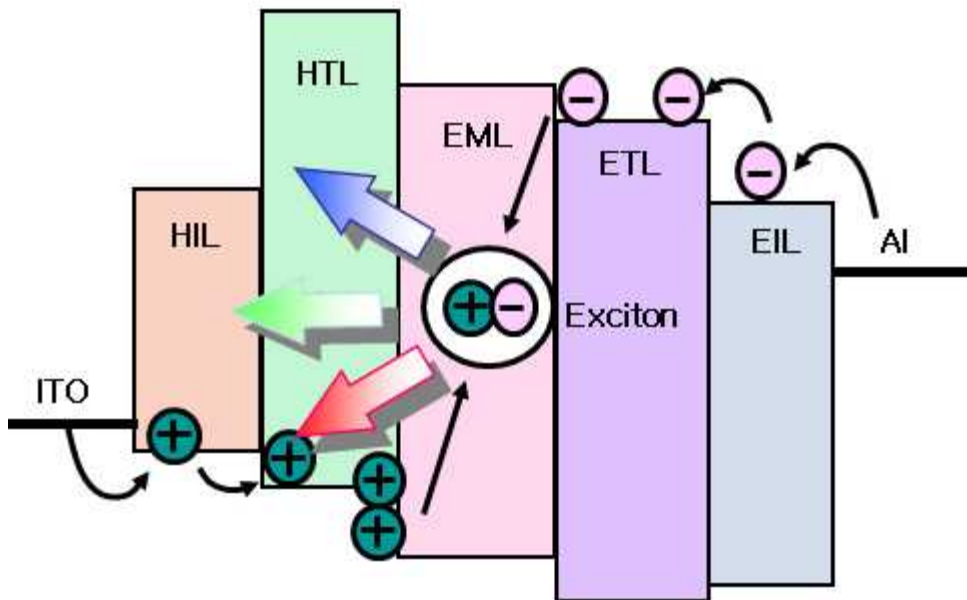
<OLED 봉지 구조>



3

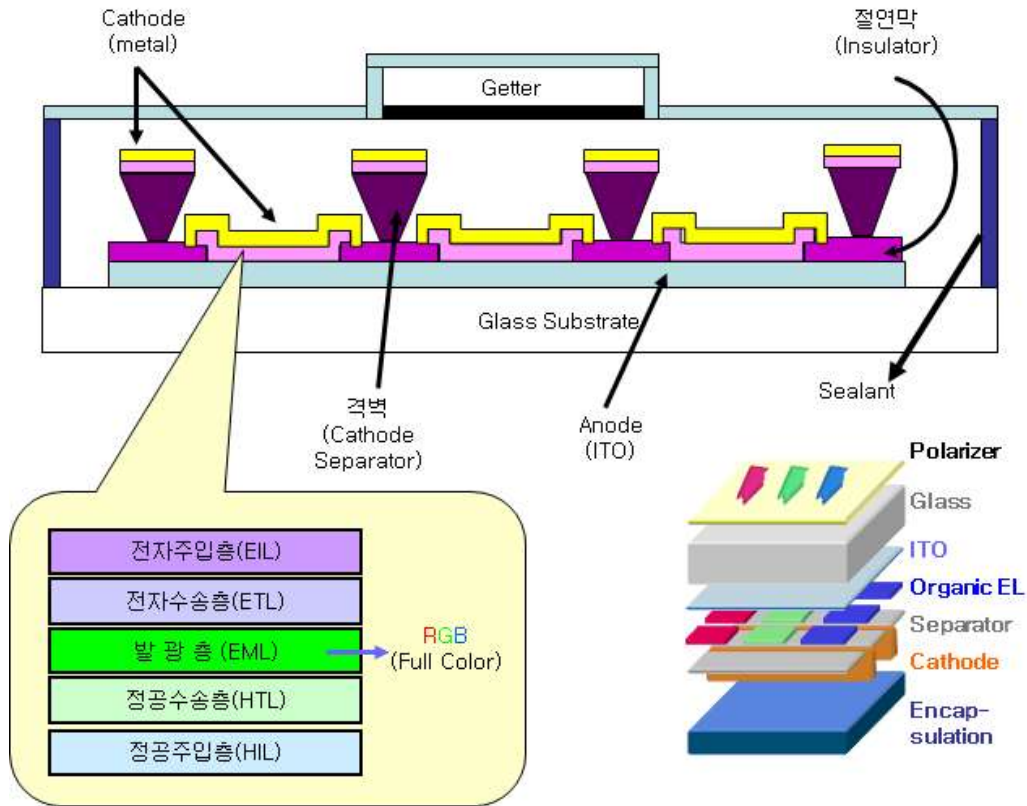
구조

- OLED의 구조는 정공관련층, 전자관련층 그리고 발광층(Emission Layer)으로 구분할 수 있다.
- 정공관련층에는 정공주입층(Hole Injection Layer: HIL)과 정공운송층(Hole Transfer Layer: HTL)이 있으며, 전자관련층에는 전자주입층(Electron Injection Layer: EIL)과 전자운송층(Electron Transfer Layer: ETL)이 있다.



- 전자, 정공관련층에서 주입층과 운송층은 재료의 특성에 따라 구성할 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다.
- 발광층은 빛을 내는 기능을 하지만 주로 전자 혹은 정공을 운반하는 기능도 함께 하는 것이 대부분이다. 그림은 적층형 OLED의 간단한

cell구조로. Glass기판상에 투명전극인 ITO를 그 위에 HIL, HTL, EML, ETL, EIL이 순서적으로 구성이 되고, 마지막으로 Al를 사용하는 소자구조이다.

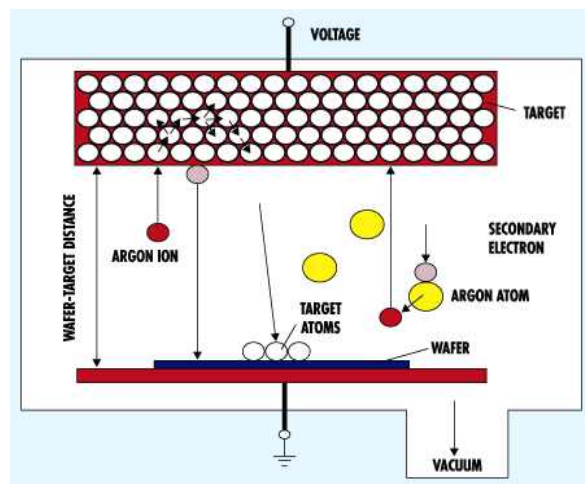
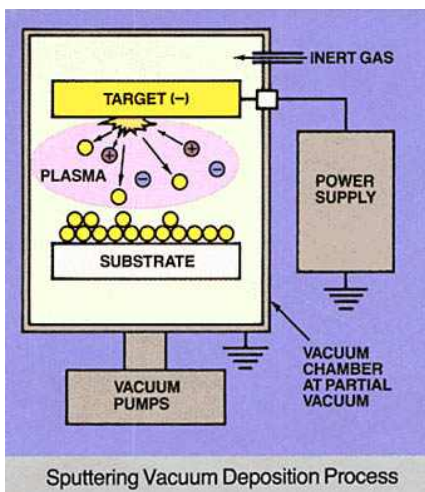


1 발광층 재료

- CRT나 LCD, PDP는 진공, 액정, 또는 가스로 채워져 있는 3차원 구조를 갖고 있으나 OLED 패널의 구조는 기판상에 고체 박막층을 형성한 구조로 되어 있다.
- 박막형 OLED의 경우에는 발광층에 사용되는 모체재료의 조건은 적절한 발광중심을 첨가함으로써 발광이 얻어져야 하며 여기에 필요한 고전계를 인가할 수 있어야 하므로 실용화된 모체재료는 ZnS이며 최

근에는 CaS, SrS 등의 알칼리토류 황화물도 연구되고 있다. 발광중심은 주로 Mn 이외에는 Tb, Sm, Tm, Eu, Ce 등의 희토류 원소가 사용된다.

- OLED의 박막층 형성방법은 전자빔증착(electro-beam), 다원증착(multi-source deposition), 스퍼터링(sputtering), 물리기상증착(physical vapor deposition), 원자층에피택시(atomic layer epitaxy), 유기금속 CVD(metalorganic chemical vapor deposition), 하이드라이드 감압 CVD(hydride transport chemical vapor deposition) 등을 사용한다.
- 박막을 기판위에 형성하는 기술은 PVD(Physical Vapor Deposition 물리적기상증착)기술과 CVD(Cheical Vapor Deposition 화학적기상증착)로 크게 구분된다.
- PVD는 목적하는 박막구성원자를 포함하고 있는 고체의 타겟을 물리적인 작용(증발·승화·스퍼터링)으로 원자·분자·크리스터를 기판 표면에 수송하여 박막을 형성하는 방법이다.



- CVD는 박막의 구성원자를 포함하고 있는 원료가스를 기판이 놓여진 공간에 공급하여 원료 가스분자의 들뜸·분해를 통하여 기상 및 기

판표면에서의 화학반응으로 박막을 형성하는 방법이다.

- 박막형성은 기판·박막의 표면에 충돌한 원자·분자는 일부반사하고 나머지는 표면위에 체류한다. 표면위에 체류한 원자·분자는 스스로가 갖는 에너지와 기판의 온도에 의한 에너지로 표면확산하고 일부는 재증발하며, 나머지는 포텐셜골짜기에 흡착한다. 이 흡착에는 반데르바알스힘, 정전기력에 의한 물리흡착과 서로의 전자를 공유나 교환함으로써 원자결합, 금속결합, 이온결합을 하는 화학흡착이 있다.

2 절연층 재료

- OLED에 있어 절연막의 역할은 발광층을 전기적인 절연파괴로부터 보호하는 것으로 이를 위해 절연내압(절연파괴 전계강도)이 높고 핀홀 결함이 적어야 한다.
- 일반적으로 OLED에 사용되고 있는 절연막재료는 ①비정질산화물 또는 질화물(Y_2O_3 , Al_2O_3 , Ta_2O_5 , SiO_2 , Si_3N_4)등과 ②강유전체인 $BaTiO_3$, $PbTiO_3$ 등이 있다.

3 전극 재료

- OLED 상하 2장의 전극에 의해 샌드위치 형태로 겹쳐지게 되며 그 중 1장은 반드시 투명해야만 한다. 투명전극으로는 ITO를 사용하고 있다.
- 그러나 OLED가 대형화될 경우 배선저항은 무시할 수 없고 발열특성 및 구동파형유지의 측면에서 볼 때 더욱 낮은 저항을 갖는 전극재료가 요구된다. ITO외에 $CdSnO_3$, ZnO 등도 주목되고 있으며 후면전극으로는 Al 등이 사용되고 있다

4 기판 재료

- OLED에 사용되는 유리는 가시영역에서 투명하고, 팽창계수가 구성하고 있는 적층재료와 가능한 한 비슷한 것이 바람직하며, 소자에 대해 장기간 동안 신뢰성을 확보하기 위해 저알칼리성일 필요가 있으므로 알루미늄실리케이트계 유리가 사용되고 있다.

4 제조공정

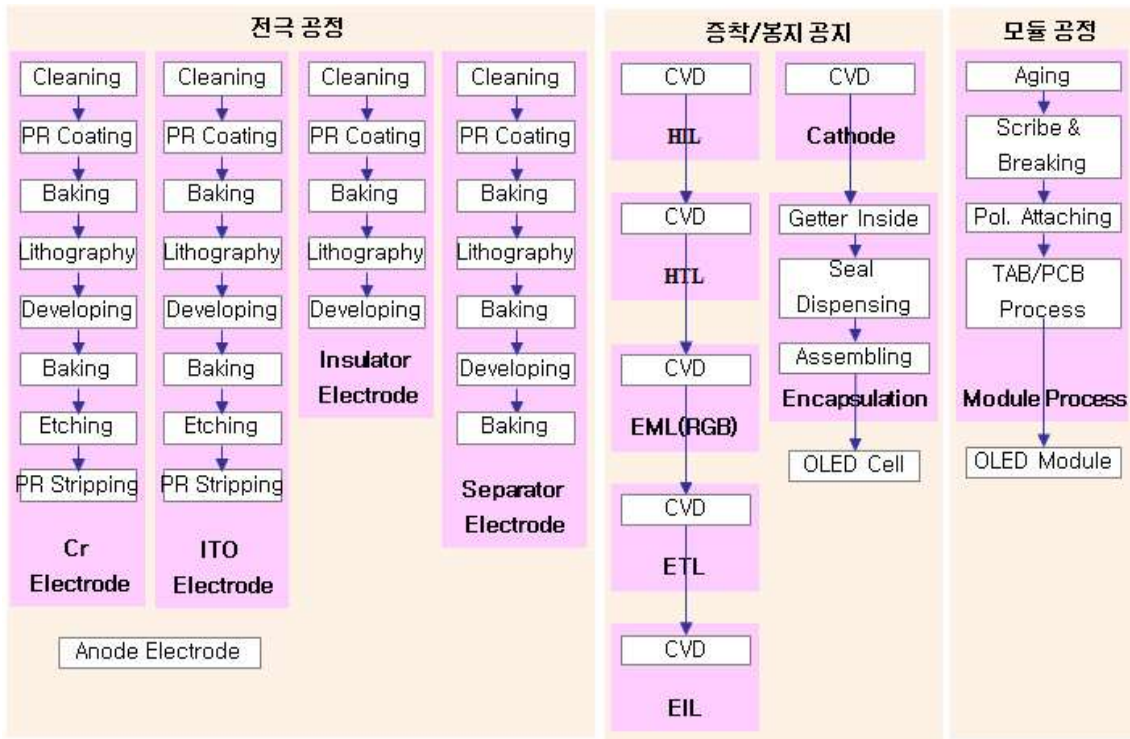
1 제조공정 개관

□ OLED의 제작을 위한 공정은 크게 순서에 따라 Pattern형성 공정, 박막증착 공정, 봉지 공정, 모듈조립 공정 등 크게 4가지 공정으로 구분된다.

□ Panel을 제작하는 데 있어서 중요한 것은 OLED에 적합한 photo lithography기술, 재료의 박막화 기술과 유기, 무기, 산화막의 박막간 hybrid기술 등이다. 특히 유기층(정공 주입층, 정공 수송층, 발광층, 전자수송층)의 형성에는 재료의 특성에 따라 진공증착방식과 spin coating방식으로 구분된다.

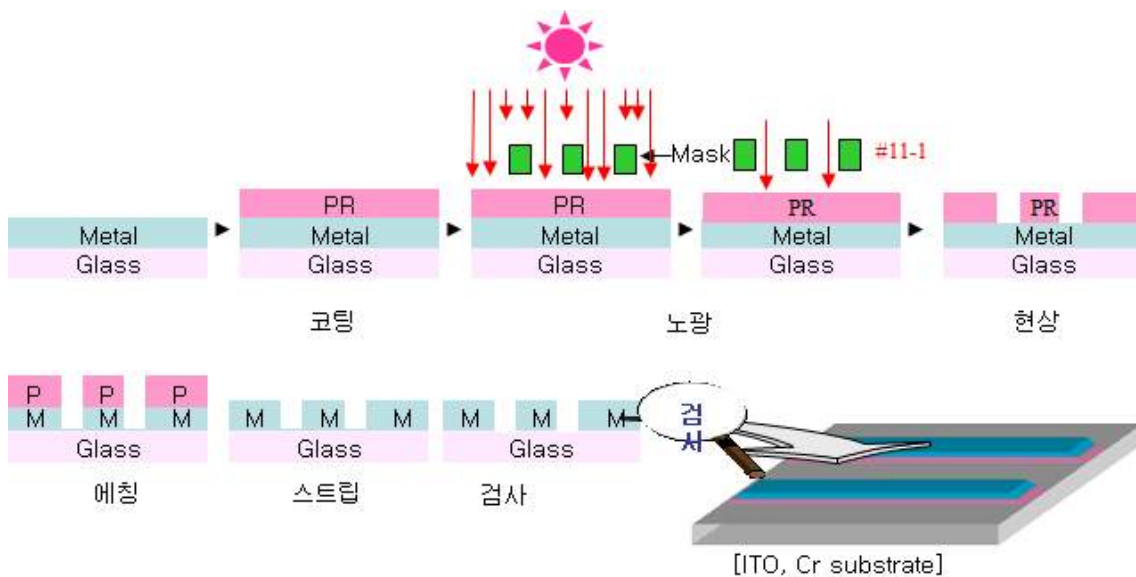
□ 소자제작을 위한 필수요소 기술분야로는 OLED용 PR패턴 형성기술, 기판전처리 기술, 유기재료 박막형성기술, 봉지기술, 재료정제기술 등이 있다.





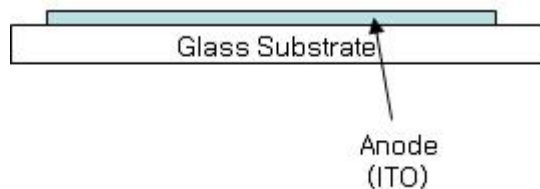
2 제조공정별 내용

1 ITO Patterning

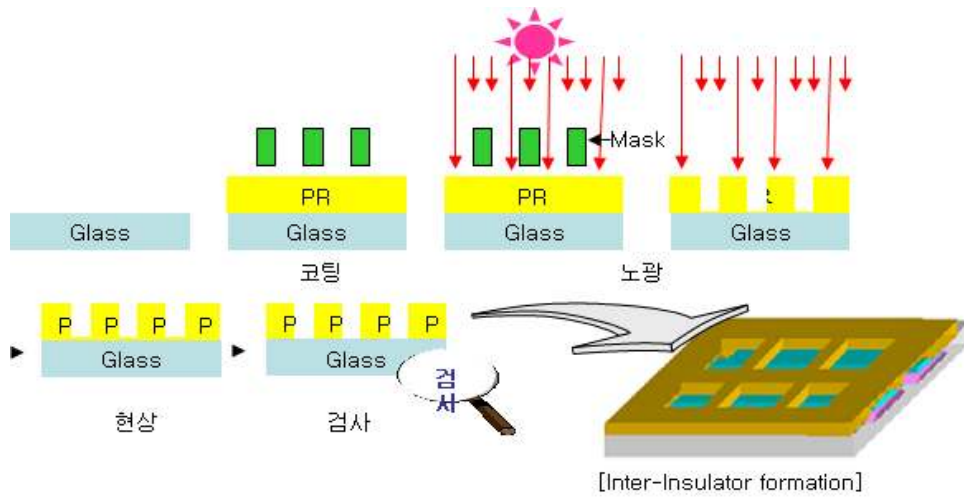


- 세척, 건조 : ITO 유리기판에 묻어 있는 파티클을 제거하기 위하여 pudding이나 ultra sonic처리를 해준 다음 DI water로 세척하고 IR/UV 광원을 조사시켜 고온에서 완전히 건조시킨다.
- 도포 : 이과정이 끝나면 PR(감광제)을 roll coater 또는 spin coater를 사용하여 ITO전면에 균일하게 도포한다.
- Pre-bake : 도포된 PR필름에 잔존하고 있는 PEGMA와 같은 유기 용매 성분을 제거하고 충분히 경화시켜 반응이 잘되도록 하기 위해 pre-bake를 한다.
- 노광 : pre-bake된 기판 위의 PR필름에 원하는 패턴의 포토마스크를 통하여 UV광을 선택적으로 투과시켜 노광시키고 PR필름에 UV의 선택적인 노광을 거치면서 감광된 부분의 PR이 분자 결합 구조를 변화시키게 되고 이에 따라 알칼리 성분 수용액인 현상액에 용해된다.
- 현상 : UV노광을 통한 광화학 반응에 의해 분자구조가 변화된 PR을 유기 용매를 이용해 용해시키는 과정을 development(현상)이라고 한다. 이 공정을 통해 용해되는 PR필름은 PR의 타입에 따라 positive와 negative PR 두종류로 분류되는 데 positive 타입일 경우 UV가 조사된 부분만이 현상액에 의해 용해되며 negative 타입일 경우 UV가 조사되지 않은 부분만 용해된다.
- 세척, 열처리 : 현상이 끝나면 미미하게 남아있는 PR내부의 PEGMEA와 같은 solvent를 제거하고 세척후 완전한 수분제거를 목적으로 열처리(post-bake)시켜 주어야 하는 데 이러한 열처리를 통해 PR필름이 강산 조건에서의 etching공정에 대해 충분한 저항성을 가지게 되며 글라스 기판과 PR과의 물리적 접착력도 향상된다.

- 에칭 : 이 과정이 끝나면 글라스 기판의 전면에 형성된 ITO 필름을 현상과정에서 형성된 PR층의 패턴을 통해 선택적으로 제거해내는 etching 공정을 진행한다. etching공정은 그 방법에 따라 wet 방식과 dry 방식으로 나누어지는데 wet방식은 주로 liquid상태의 chemical을 사용하는 모든 종류의 etching을 의미하며, dry방식은 플라즈마를 이용한 모든 식각공정을 포괄적으로 의미한다. OLED의 patterning 공정에서는 wet방식을 사용한다.
- 스트리핑 : ITO가 에칭되고 나면 patterning된 ITO위에 남아있는 PR을 제거해주어야 한다. 이 과정을 stripping이라 하며 stripping은 그 방식에 따라 batch방식과 개별방식이 있으며, batch방식은 cassette에 담긴 기판 전체를 bath에 담가 PR을 제거하는 방식이다. 개별방식은 날장으로 그라스를 처리하는 방식이다. 일반적으로 OLED의 patterning공정에서는 batch방식을 사용하고 이때 stripper로는 고농도의 알칼리 용액을 사용한다.



② 절연층(Insulating Layer) Patterning

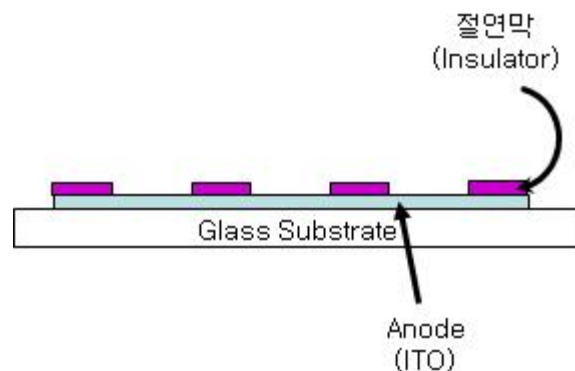


□ 진공박막이후 유기물이 증착되어 발광 pixel로 작용할 영역을 제외한 모든 영역에 절연층을 형성하는데 이는 각 pixel들이 전기적으로 독립된 구동을 가능하게 하기 위함이다. 사용되는 물질로는 주로 photoresist나 polyimide와 같은 전기적으로 충분한 절연효과가 있으면서 감광특성을 가진 고분자 재료를 사용한다.

- 세정 및 건조 : 먼저 patterning된 ITO 그라스 기판을 ITO 패터닝 공정에서와 같은 방법으로 알칼리 또는 중성세제를 사용하여 세정시켜주고 IR/UV를 이용하여 건조시킨다.
- 도포 : 이 위에 photoresist나 polyimide를 roll coater 또는 spin coater를 사용하여 균일하게 도포시킨 후 PR내부에 남아있는 solvent를 제거한다.
- pre-bake : 기판과의 접착성을 유지시키기 위해 pre-bake를 실시한다.
- 노광 : pre-bake가 끝나면 노광 과정을 거치는 데 이 노광단계에서는 insulating layer용으로 설계된 photo mask를 통하여 선택적으로 UV광을 투과시켜 발광 pixel 부분의 PR필름의 분자구조를 변화시킨다.
- 현상 : 이렇게 분자구조가 변화된 부분은 현상 단계에서 현상액에 의해

용해되어 제거된다.

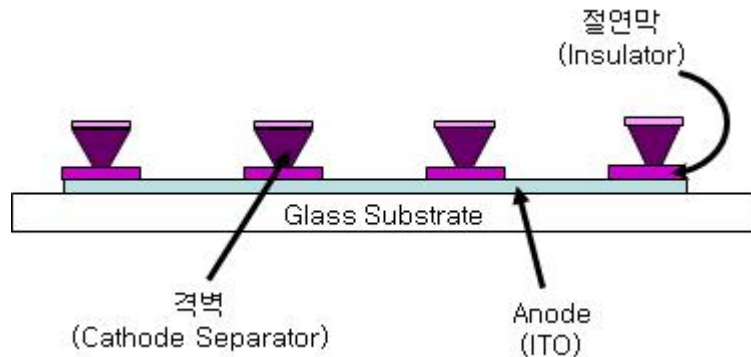
- post-bake : 이렇게 형성된 절연층의 패턴은 최종적인 열처리인 post-bake에 의해 음극분리 격벽용으로 상용되는 negative PR이 도포될 때 그라스 및 ITO와의 사이에 위치하여 전기적 절연성 및 층간 물리적인 접착 특성의 개선에도 기여하게 된다.



③ 음극분리 격벽(Cathode Separator) Patterning

- 절연층의 patterning이 완료된 후 ITO pixel들이 형성된 기판 위에 소위 음극분리 격벽을 patterning하게 되는데 이는 유기물의 진공박막 공정에서 cathode를 형성할 경우 각 pixel들의 cathode line에 의한 전기적 short를 방지하기 위해 필요하다.
- 현재 격벽용으로 적용 가능한 물질로는 우선적으로 전기적 절연효과가 있어야 하며 인접 pixel들간의 cathode line을 차단시킬 수 있는 reverse taper angle의 형성이 가능한 negative PR이 적합한 것으로 알려져 있다.
- 처음 절연층이 patterning된 ITO기판위에 negative PR을 도포시키는데 이때 이미 형성된 절연층은 pattern 형성시 내부에 함유되어 있는 solvent 및 수분이 충분히 제거되도록 post-bake과정을 거쳤

으므로 별도의 세정공정 및 경화공정을 반복할 필요는 없다.

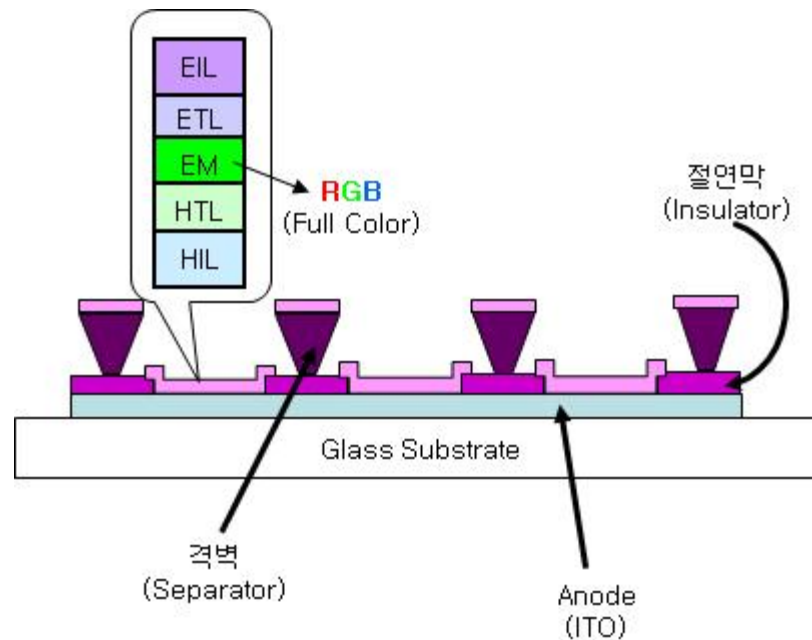


④ 진공 박막증착 공정

- 진공공정에서 ITO, 절연층, 음극분리 격벽을 patterning한 글라스 기판을 유기박막 증착공정에 투입하기 전, 기판에 존재하는 particle을 제거하기 위해 DI water로 세정한 다음, 추가로 초음파를 이용하여 세정한다.
- 초음파 세정을 한 기판을 oven에서 baking하여 잘 건조시킨 다음에 진공 chamber에 투입하여 UV ozone cleaning과정을 거치게 되는 데 이 과정에서는 chamber내에 산소 가스를 공급하고 챔버내 진공도를 $2\sim 3 \times 10^{-1}$ torr정도로 유지하면서 UV 램프를 작동시켜 산소 가스가 UV광과 반응하여 발생하는 오존에 의해 기판을 세정하게 된다.
- 세정공정이 끝난 후 마지막으로 ITO 양극전극의 표면특성을 향상시키기 위해 플라즈마 처리를 하게 되는데 발생된 플라즈마는 ITO 표면을 식각하여 표면특성을 개선한다.

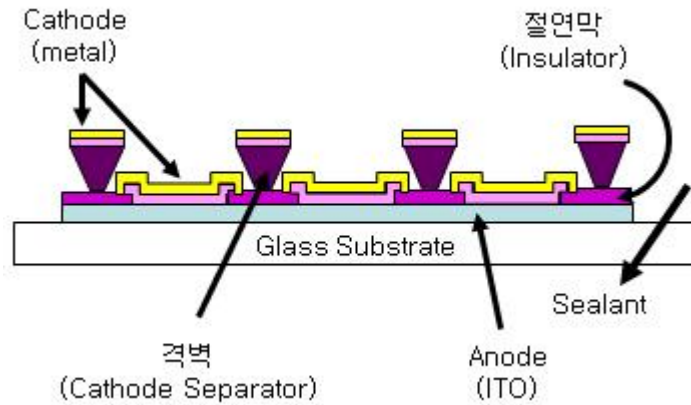
⑤ 유기박막 증착공정

- OLED는 일반적으로 투명 양극전극과 음극전극사이에 여러개의 유기층을 포함하여 구성하는 데 ITO, insulator, cathode separator가 pattern된 glass위에 HIL, HTL, EML, ETL, HBL, Metal cathode를 순차적으로 성막한 구조를 가진다.



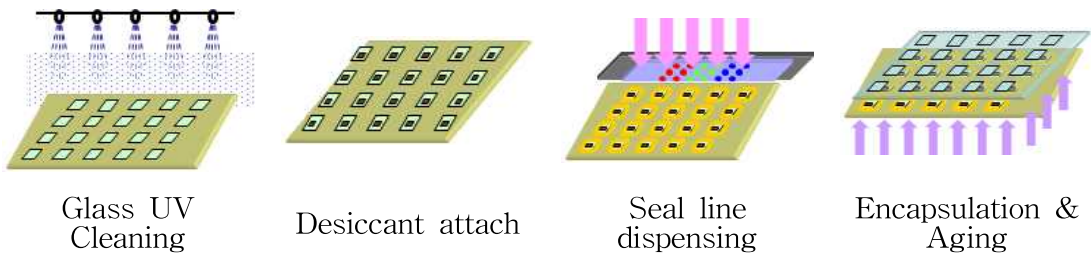
⑥ 금속전극 증착공정

- 전극막 형성은 유기박막 형성 후 진행이 되는 데 금속재료는 일반적으로 Mg, Ag, MgAg-Li, LiAl, LiF-Al등이 주로 사용되고 있으며 단일막의 동시증착이나 다른 종류의 재료를 복층으로 증착하는 방식이다.



⑦ 봉지공정

- 봉지공정은 sealing cover 세정, 건조제&Film 부착공정, UV sealant dispensing, 성막공정이 끝난 panel과의 합착, UV light curing의 순서로 진행하게 된다.



- sealing cover cleaning은 patterning된 그라스 세정과 동일한 조건에서 이루어지는 데 초음파 세정, UV 오존 세정, 플라즈마 treatment의 순서로 진행된다. 먼저 acetone과 같은 유기용매에 담근 후 초음파 세정을 실시하고, UV 오존 세정과 플라즈마 treatment를 실시한다. sealing cover세정을 3가지 과정으로 진행하는 이유는 sealing후 커버에서의 가스발생을 방지하고 patterning된 그라스와의 접착력을 개선하기 위해서이다.

