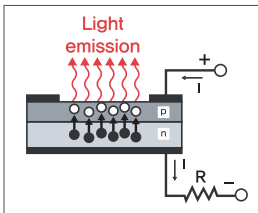


LED의 개념 및 제조공정

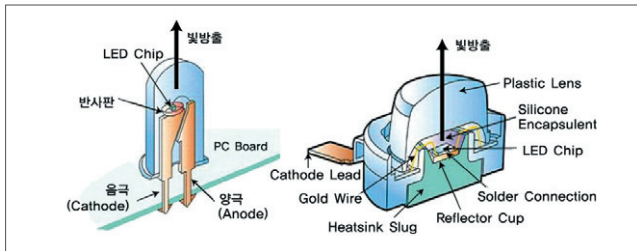
100년 전에 살았던 사람이 타임머신을 타고 현재로 온다면 TV, 휴대전화, 컴퓨터 등 기술발전이 엄청나게 될 것이다. 그러나 백열전구를 발견하고는 친근감을 느낄지도 모르겠다. 100년 전이나 지금이나 별 다른 변화가 없기 때문이다. 그렇지만 앞으로 10년 후라면 얘기가 달라질 것이다. 이는 발광다이오드(LED)가 전구를 완전히 대체할 것으로 예상되기 때문이다.

1. LED의 개념

LED(Light-Emitting Diode)는 p-n접합 다이오드의 일종으로, 순방향으로 전압이 걸릴 때 단파장광(monochromatic light)이 방출되는 현상인 전기발광효과(electroluminescence)를 이용한 반도체 소자이다. 즉 순방향 전압 인가시 n층의 전자와 p층의 정공(hole)이 결합 하면서 전도대(conduction band)와 가전대(valance band)의 높이차이(에너지 갭)에 해당하는 만큼의 에너지를 발산 하는데, 이 에너지는 주로 열이나 빛의 형태로 방출되며, 빛의 형태로 발산 되면 LED가 되는 것이다.

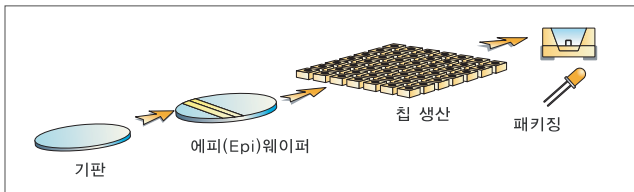


〈그림 1〉 LED의 발광 원리



〈그림 2〉 LED 구조

2. LED의 제조공정 및 각 단계별 기술동향



〈그림 3〉 LED 제조공정

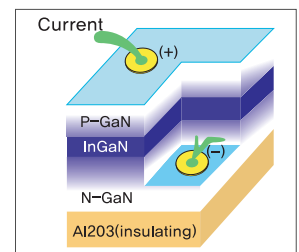
LED 제조공정은 에피(Epi) 웨이퍼 제조 → 칩 생산 → 패키징 → 모듈 등으로 진행된다.

가. 기판

- 상용화된 LED 에피 웨이퍼는 Sapphire와 SiC 기판에서 성장하여 제작되나, 광효율 향상 및 고출력화에 따른 방열 특성확보를 위해 새로운 기판 상 성장하는 방법이 활발하게 개발 중이다. 이러한 신규판은 Sapphire 및 SiC 기판 상 LED를 성장하는데 있어 현 LED Major 업체인 Nichia, Cree, Toyoda 등의 핵심 특허를 회피할 수 있는 해결책이 될 수 있다.
 - GaN 기판 : Sapphire 및 SiC는 GaN 물질과의 이종 기판으로 성장시 격자상수 차이로 인한 결함을 최소화하기 위해 동종기판인 GaN 기판상 에피웨이퍼를 성장시킨다. GaN 기판상 LED는 저결함 특성을 지닌 고품질 LED 성장이 가능하나, 고가로 인해 양산까지는 시간이 필요하며, '07. 3월 Matsushita는 GaN 기판을 이용한 업계 최고 수준인 255mW 청색 LED를 발표하였다.
 - ZnO 기판 : GaN와 격자상수 차이가 비슷하고, 전기 전도성이 좋으며, Rohm 등 일본업체 중심으로 개발중이다. 2010년 이후 상용화를 목표로 하고 있다.

나. 에피 웨이퍼 제조

- 기초 소재인 기판위에 MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition, 유기 금속 화학 증착법) 장비를 이용하여 화합물 반도체를 성장시켜 에피 웨이퍼를 제조 하는 단계 이다. 에피 웨이퍼 제조 공정을 청색 LED를 예를 들어 설명하면, 청색을 내는 반도체 재료로는 GaN가 있으며, Sapphire (Al₂O₃)나 SiC 기판 상에 N형 반도체(N-GaN)와 활성층(InGaN), P형 반도체(P-GaN)가 MOCVD로 차례로 증착 된다. 그 윗면에는 전압을 걸어 주기 위한 (+)전극이 형성되어 있으며, (-)전극은 절연체인 기판상에 형성될 수 없으므로, Dry 에칭방식으로 가장 위쪽에서 N-GaN의 일부분까지 식각 한 후, (-)전극(Ti/Al)을 형성한다.



〈그림 4〉 청색 LED

다. 칩생산

- 칩생산 공정은 전극을 형성하고 개별 칩으로 절단하는 단계이다. 중대형 LCD 백라이트 및 조명용으로 백색 LED 사용량이 급증할 것으로 예상된다. 그리고 고효율 LED 필요성이 증가함에 따라, 칩 사이즈도 대형화되고 있어 칩의 면적 증가는 광효율 및 생산이 저하된다.
 - Nichia는 small chip을 적용한 100 lm/W급 LED를 '07년 양산하기로 발표
 - 그러나 Lumileds는 '07.2월 large chip을 적용하여 small chip을 능가하는 115 lm/W급의 LED를 개발하였다고 발표

라. 패키징 및 모듈 공정

- LED 산업의 중심축은 과거 Epi-chip 중심이었으나, 패키징 및 모듈 중심으로 이동하고 있다. 패키징 공정은 제조된 칩과 리드(lead)를 연결하고 빛이 최대한 외부로 방출되도록 패키징하는 단계이며, 모듈 공정은 패키징이 완료된 LED를 이용하여 일정한 프레임에 LED를 부착시키는 단계이다.
- 모바일 및 전자기기는 인가 전류가 20 mA 정도로 저전류를 사용하나 조명용 및 중대형 백라이트용 LED는 100 mA 이상의 고전류를 사용함에 따라 고신뢰성 및 방열 특성확보가 중요하다.
 - 방열 특성향상을 위해 Heatsink를 배치하고, metal PCB 위에 실장하여 열저항을 최소화하였다.
- 최근에는 다수의 chip을 Ceramic-Metal PCB에 탑재한 멀티 패키징이 등장하였다.

마. 형광체

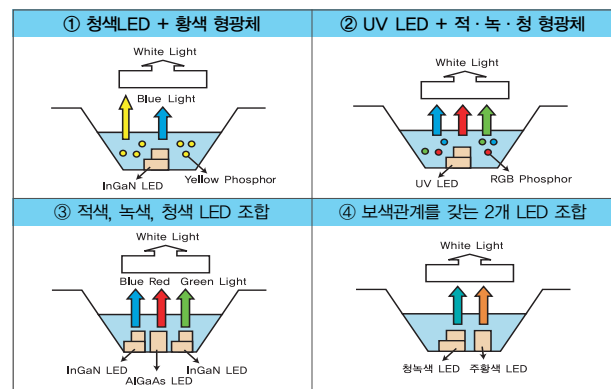
- 백색 LED 구현은 청색 LED에 황색 형광체를 사용하며, 형광체에 따라 업체별로 특허를 보유하고 있어 백색 LED 제조를 위해서는 형광체에 대한 license를 확보해야 한다.
 - 과거 Nichia(일), Osram(독) 등 Major 업체 중심으로 형광체 특허를 보유하고 사용하였으나, 최근 중소 형광체 개발 업체가 등장하여 백색 LED 공급 업체가 확대되고 있다.
- 색 재현성 향상에 대한 요구가 증가함에 따라 황색 형광체가 아닌 청색 LED에 적색, 녹색 형광체를 적용하여, CRI 값을 85 이상으로 증가시키고, UV LED에 적·녹·청색 형광체를 적용하는 기술이 개발 중이며, 新 형광체는 광변환 효율을 극대화하는 방향으로 개발되고 있다.

3. 백색 LED 구현방법

- 백색 LED의 제작방법은 단일 칩 형태의 방법으로 청색 또는 자색 LED 칩위에 형광물질을 도포하여 백색을 얻는 각각의 방법과 두개 또는 세 개의 LED 칩을 서로 조합하여 백색을 얻는 네가지 방법으로 구분할 수 있다.
- 첫 번째 방법은 최초의 백색 LED 구조로서, 1993년 후반에 고휘도 청색 LED가 상용화됨에 따라 청색 LED를 여기 광원으로 사용하고, 여기광을

YAG(Yttrium Aluminum Garnet)의 노란색(560 nm)을 내는 형광물질을 이용한 방법이다. 이 방법은 1칩 2단자의 단순한 구조이기 때문에 제조단가를 절감할 수 있고, 발광효율이 우수한 반면, 청색과 노란색의 파장 간격이 넓어 색 분리로 인한 섬광효과를 일으키기 쉬워 색차표가 동일한 백색 LED의 양산이 어렵다.

- 두 번째 방법은 자색 LED를 여기 광원으로 사용하고, 여기광을 적색, 녹색, 청색의 다층 형광물질을 이용하는 방법이다. 이 방법은 자외선으로 램프를 구현하는 방법과 매우 비슷한 것으로 백열전구와 같은 아주 넓은 파장 스펙트럼을 갖을 뿐만 아니라 우수한 색 안정성을 확보할 수 있으며, 상관색온도와 연색성 평가지수를 조절하기 쉽다는 장점으로 현재 조명용 백색 LED구현을 위한 가장 우수한 방법으로 대두되고 있어 백색 램프용으로 사용될 가능성이 높다.
- 세 번째 방법은 적색, 녹색, 청색의 3개의 LED칩을 조합하여 제작하는 방법이다. 이 방법은 방출되는 파장 스펙트럼이 넓어 연색성이 우수 하지만, 각각의 칩마다 동작 전압의 불균일성과 주변온도에 따라 칩의 출력이 변해 색차표가 달라지는 현상과 같은 단점을 갖기 때문에 백색 LED 구현보다는 회로 구성을 통해 각각의 LED 밝기를 조절하여 다양한 연출을 필요로 하는 특수 조명 목적에 적합하다.
- 네 번째 방법은 보색 관계를 갖는 2개의 LED를 결합하여 만드는 방법이다. 주황색과 청녹색을 4대 1의 비율로 섞으면 백색이 되는데, 최근 주황색에서 적색까지의 발광색을 조절할 수 있는 InGaAlP LED의 경우 성능 지수가 100 lm/W를 초과함에 따라 현재 조합된 백색 LED의 조명 효율이 형광등에 가깝게 구현할 수 있을 것으로 기대된다.



<그림 5> 백색 LED 구현방법

[참고문헌]

- [1] (산업경제분석) 반도체조명(LED)의 중요성과 육성전략, 주대영, 2006. 1월
- [2] (유망전자기기·부품 현황분석) 광전부품 개황 및 백색 LED, 전자부품연구원, 2007. 8월
- [3] (기획리포트) LED 기술로드맵, 전자부품연구원
- [4] IT기획시리즈-세계일류 IT기술-LED 백라이트 최신기술개발 동향 (주간기술동향 통권 1283호), 정보통신연구원, 2007. 2월
- [5] LED 산업동향 및 주요이슈-전자정보센터(EIC), 최재호, 2007. 8월