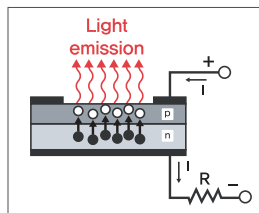


LED의 개념 및 제조공정

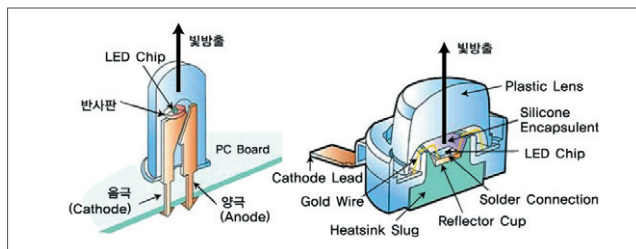
100년 전에 살았던 사람이 타임머신을 타고 현재로 온다면 TV, 휴대전화, 컴퓨터 등 기술발전에 깜짝 놀라게 될 것이다. 그러나 백열전구를 발견하고는 친근감을 느낄지도 모르겠다. 100년 전이나 지금이나 별 다른 변화가 없기 때문이다. 그렇지만 앞으로 10년 후라면 얘기가 달라질 것이다. 이는 발광다이오드(LED)가 전구를 완전히 대체할 것으로 예상되기 때문이다.

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.

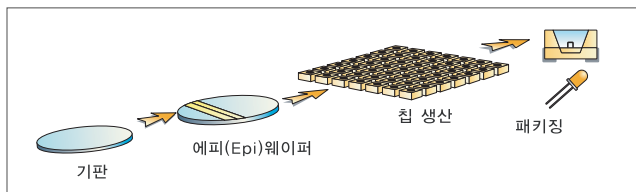


〈그림 1〉 LED의 발광 원리



〈그림 2〉 LED 구조

2. LED의 제조공정 및 각 단계별 기술동향



〈그림 3〉 LED 제조공정

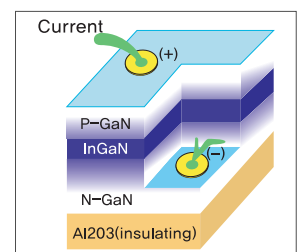
LED 제조공정은 에피(Epi) 웨이퍼 제조 → 칩 생산 → 패키징 → 모듈 등으로 진행된다.

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 : GaN과 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 고출력 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

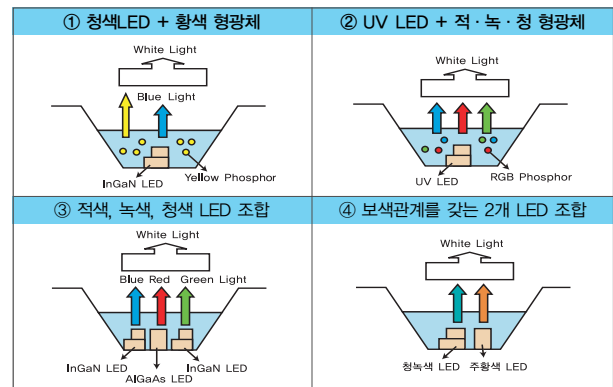
- 백색 LED 구현은 청색 LED에 황색 형광체를 사용하며, 형광체에 따라 업체별로 특허를 보유하고 있어 백색 LED 제조를 위해서는 형광체에 대한 license를 확보해야 한다.
 - 과거 Nichia(일), Osram(독) 등 Major 업체 중심으로 형광체 특허를 보유하고 사용하였으나, 최근 중소 형광체 개발 업체가 등장하여 백색 LED 공급 업체가 확대되고 있다.
- 색 재현성 향상에 대한 요구가 증가함에 따라 황색 형광체가 아닌 청색 LED에 적색, 녹색 형광체를 적용하여, CRI 값을 85 이상으로 증가시키고, UV LED에 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), 정보통신연구진흥원, 2007. 2월
- [5] LED 산업동향 및 주요이슈-전자정보센터(EIC), 최재호, 2007. 8월

LED 관련 용어 쉽게 이해하기

• LED(Light Emitting Diode)

전류를 흘려주면 발광하는 반도체 소자의 일종. 아노드(anode)와 캐소드(cathode)의 2개의 단자가 있으며, 아노드에 +, 캐소드에 - 의 전압을 가하면, 수 볼트의 전압으로 전류가 흘러 발광한다. 빨강, 녹색, 오렌지 등의 종류가 있고, 최근에는 난관으로 여겨진 청색 다이오드가 실용화 되어, 적/청/녹의 삼원색이 모였다. 이것들의 조합으로 백색을 포함한 여러 색깔의 빛을 만들 수 있으며, 풀 컬러 표시장치나 조명, 광디스크 장치의 헤드 등 용도가 확대되고 있다.

• LED의 분류

LED는 방출하는 빛의 종류에 따라 가시광선 LED, 적외선 LED, 자외선 LED로 구분된다. 가시광선 LED는 전체 LED 시장의 90~95%를 차지하고 있으며 적색, 녹색, 청색, 백색 LED 등이 있다. 적외선 LED는 리모콘, 적외선 통신(IRDA) 등에 사용되고 있으며, 시장규모는 전체 LED시장의 5% 수준. 자외선 LED는 살균, 피부치료 등 생물, 보건분야에 사용되고 있으며, 시장규모는 2% 미만이다.

• LED 성능지표

발광효율(lm/W), 내부 양자효율(%), 외부 양자효율(%), 추출 효율(%) 등은 LED의 성능을 나타내는 중요한 파라미터이다.

• 발광효율(lm/W(루멘/와트)), 내부 양자효율, 외부 양자효율

광원의 전기에너지를 빛에너지로 변환하는 에너지 효율을 발광 효율이라고 하며, 광변환 효율이라고 한다. 광원으로부터 방출되는 빛의 양인 루멘(Lumen)을 소비전력(Watt)으로 나눈 값으로, 이 값이 높을수록 에너지 효율이 높다. 빛이나 전자선으로 여기하여 얻어진 빛 에너지의 일부는 외부로 나오기 전에 다시 물질에 흡수되거나 표면에서 산란된다. 그래서 빛 에너지로 변환되는 비율을 내부 효율이라 하고, 물질의 외부로 나오는 빛 에너지의

비율을 외부 효율이라고 한다. 또 이들의 비율을 광(양)자 수로 환산하여 나타냈을 때는 각각 내부 양자효율, 외부 양자효율이라고 한다.

• 추출효율

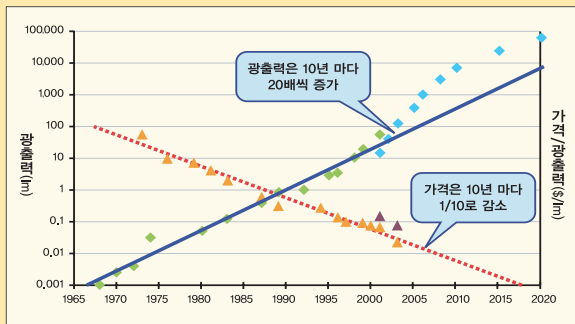
LED에 주입된 전자와 LED 밖으로 방출되는 광자의 비에 의하여 결정되며 추출효율이 높을수록 밝은 LED를 의미한다. LED의 추출효율은 칩의 모양이나 표면 형태, 칩의 구조, 패키징 형태에 의하여 많은 영향을 받기 때문에 LED를 설계할 때 세심한 주의가 필요하다. LED의 활성층에서 생성된 빛은 칩의 6개의 면으로부터 방출되고, 광추출 효율은 일반적으로 광의 임계각에 의하여 결정되며 LED 내부에서 생성된 빛은 대부분 내부 반사에 의하여 밖으로 방출되지 못한다. LED 내부에서 소멸된다. 미국의 Cree사는 SiC 기판 위에 성장된 GaN-LED를 생산하고 있으며, SiC 기판에 각을 형성하여(inversed truncate pyramid) 임계각을 변화시켜 줌으로서 25%에서 60%로 광추출 효율을 개선시켰다.

• 루멘(Lumen, 광속)

기호는 lm으로 나타내며, 국제단위계에 속한다. 1 cd의 균일한 광도의 광원으로부터 단위입체각의 부분에 방출되는 광속을 1 lm으로 한다. 전구면(全球面)의 중심에 대한 입체각은 4π 이므로, 1 cd의 점광원(點光源)에서 방출되는 전광속(全光束)은 4π lm이 된다.

• 하이츠의 법칙(Haitz's law)

10년마다 LED 가격은 10배씩 하락하고 성능은 20배씩 개선된다는 법칙이 '하이츠의 법칙'이다. 이 법칙이 적용될 경우 2010년이면 이마트나 롯데마트 같은 할인점에서 5천 ~ 1만 원짜리 LED 램프를 손쉽게 구입할 수 있을 전망이다.



시장조사업체 글로벌 인포메이션이 최근 발표한 '조명기구 전망'에 따르면 2012년 LED 조명 시장은 400억 달러(약 37조 원)에 이르고 2025년에는 미국 내 조명기구의 절반이 LED조명으로 교체될 것으로 내다봤다. 산자부도 2015년까지 국내 조명시장의 30% 이상을 LED조명으로 대체한다는 'LED조명 15/30 보급 프로젝트'를 발표했다.

● 형광물질(Fluorescent Material)

형광을 내는 물질로서 석유·납유리·시안화백금 등이 있는데, 실용적인 것으로는 $ZnS:Cu$ 라고 기재하는 것으로 주로 브라운관이나 전자현미경 등에 쓰인다. 원료물질과 첨가해주는 부활제의 조합에 따라 다양하여 목적에 맞게 제조하여 색을 낼 수 있다. 백색 LED 구현을 위해 청색 LED에 노란색 형광물질(YAG, Yttrium Aluminum Garnet)을 첨가하는 방법이 있다.

● MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition, 유기 금속 화학 증착법)

화학 반응을 이용하여 기판상에 금속 산화막을 형성하는 박막 형성법. 진공으로 된 통 안에서 가열된 기판에 증기압이 높은 금속의 유기 화합물 증기를 보내어 그 금속의 막을 기판에 성장시킨다. 어떤 조건에서는 화합물 반도체의 결정을 에피택시얼 성장(epitaxial growth)시킬 수도 있다.

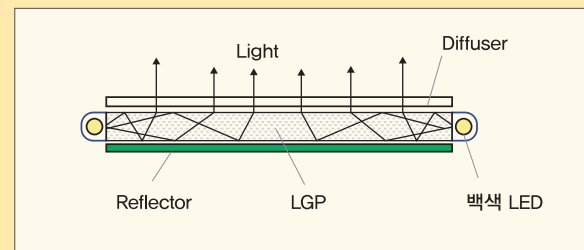
● 플립칩(Flip Chip)

LED 발광효율을 개선시키기 위한 특징적인 기술로 플립칩 기술을 들 수 있다. 이 기술은 반도체 칩을 회로 기판에 부착시킬 때 금속 리드(와이어)와 같은 추가적인 연결 구조나 볼 그리드 어레이(BGA)와 같은 중간 매체를 사용하지 않고 칩 아랫면의 전극 패턴을 이용해 그대로 융착시키는 방식. 선 없는(leadless) 반도체라고도 한다. 패키지가 칩 크기와 같아 소형, 경량화에 유리하고, 전극 간 거리(피치)를 훨씬 미세하게 할 수 있다. 일반적으로 질화물 반도체는 절연체인 사파이어 기판 위에 성장하기 때문에 질화물 반도체 표면으로부터 광을 추출하게 된다. 그러나 사파이어 기판은 열전도도가 좋지 않아 GaN-LED 열방출에 큰 문제점으로 지적되어 왔다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 전극을 PCB(Printed Circuit Board) 기판에 패키징하고 사파이어로부터

광을 추출하는 플립칩 기술이 제안되었다. 즉, Ni/Au의 광 투과성 전극은 로듐(Rh)과 같은 높은 광반사 특성을 갖는 오믹금속으로 대체하여 빛의 리사이클(재활용)이 되도록 하여 광추출효율을 개선시키게 되고 전극패드 및 질화물 반도체층을 열방출이 용이한 PCB보드에 부착함으로써 열방출 효율을 개선시킬 수 있다.

● 백색 LED BLU

액정표시장치(LCD)의 광원으로 사용되는 부품을 BLU(Back Light Unit)라고 하는데, 이는 광원이 LCD 패널의 뒤에 장착됨으로써 유래되었다. BLU는 크게 도광판형(Edge light type)과 직하형(Direct type)으로 나눌 수 있다. 그림은 전형적인 도광판 방식의 BLU 구성을 보여준다. 이때 BLU 광원으로 백색 LED가 사용되는 BLU를 '백색 LED BLU'라 부르고 있으며, 현재 핸드폰 등 소형 모바일기기의 대부분에 적용되고 있고, 노트북 등 중형 LCD의 BLU에도 적용되기 시작하고 있어 BLU의 새로운 대안으로 떠오르고 있다.



● 도광판(LGP, Light Guide Plate)

BLU의 휘도와 균일한 조명 기능을 수행하는 부품. LCD 내에서 빛을 액정에 인도하는 BLU 안에 조립되어 있는 아크릴 사출물을 말하며 백색 LED 또는 냉음극 형광 램프(CCFL) 등의 BLU 광원에서 발산되는 빛을 LCD 전체 면에 균일하게 전달하는 역할을 하는 플라스틱 성형 렌즈의 하나이다.

● LED Driver

입력전압변동이 심하고, 낮은 전압으로 부터 안정된 밝기 및 높은 효율로 LED를 켜주는 IC를 말한다. LED가 현재 휴대폰의 적용에서 조명용, 네온사인 등으로 활용범위가 넓어져 LED Driver IC의 수요는 고성장할 것으로 전망된다.

● 휘도(Brightness)

일정한 넓이를 가진 광원 또는 빛의 반사체 표면의 밝기를 나타내는 양을 말하며 스틸브(stilb, 기호는 sb) 또는 니트(nit, 기호는 nt)라는 단위를 쓴다. 1 m^2 당 104 cd (칸델라)를 1 sb로 계산한다. 예를 들면, 태양면의 휘도는 1만 5,000 sb, 월면의 휘도는 0.25 sb, 전구 필라멘트의 휘도는 150~200 sb 정도이다. 단, 같은 광원에서도 촛불과 같이 부분적으로 휘도의 차이가 있는 것도 있으며, 때로는 관찰 각도에 따라 그 값이 달라지는 것도 있다.