



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2014년 2월

석사학위논문

기하 광학적 광선 추적법을
이용한 수평형 발광다이오드의
광특성 해석

조선대학교 대학원

광기술평학과

최유민

기하 광학적 광선 추적법을
이용한 수평형 발광다이오드의
광특성 해석

Characterization of optical properties of
lateral-type light emitting diode
by Geometrical ray-tracing method

2014년 2월 25일

조선대학교 대학원

광 기술 공 학 과
최 유 민

기하 광학적 광선 추적법을
이용한 수평형 발광다이오드의
광특성 해석

지도교수 권 민 기

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2013년 10월

조선대학교 대학원

광 기 술 공 학 과

최 유 민

최유민의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 박종락 인

위원 조선대학교 교수 권민기 인

위원 한국광기술원 선임연구원 전시욱 인

2013년 11월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT

제1장 서 론	1
제2장 이론적 고찰	5
제1절 LED(Light Emitting Diode)의 개요	5
1. LED	5
2. LED의 발광 원리	7
제2절 LED의 구조	8
1. 수평형 LED	8
2. 수직형 LED	10
제3절 형광체	12
1. 형광체 개요	12
2. 형광체 발광원리	13
제4절 LED Package	15
1. LED Package 개요	15
2. LED PKG의 종류	17
3. LED PKG 공정	21

제3장 실험방법 및 결과	27
제1절 PKG 시뮬레이션 및 결과	27
1. Chip 모델링 및 설계 PKG의 광특성 비교	28
2. PKG 모델링	30
3. Sample 제작	31
4. PKG 모델링 결과	32
제2절 형광체 시뮬레이션	33
1. 형광체	33
2. Sample 제작	36
3. 형광체 측정	37
4. 형광체 시뮬레이션과 실측 비교	39
5. 형광체 배합에 의한 색의 특성 제어	41
제4장 결론	42
[참고문헌]	43
[감사의 글]	46

그림 목차

그림. 1.1 온도별 LED 효율 향상에 따른 응용 시장	1
그림. 1.2 색온도 도표	2
그림. 1.3 색온도에 따른 물체의 색감 변화 및 상황에 맞는 필요한 조명의 색온도	2
그림. 1.4 연색성에 따른 색재현성 변화	3
그림. 2.1 발광층 전자 천이로 인한 방출 스펙트럼	5
그림. 2.2 물질의 Band gap energy와 Lattice constant	6
그림. 2.3 LED의 발광 메커니즘	7
그림. 2.4 수평형 LED	9
그림. 2.5 수직형 LED	11
그림. 2.6 형광체를 사용한 백색 LED	12
그림. 2.7 형광체 에너지 전달 과정	13
그림. 2.8 형광체 발광 메커니즘	14
그림. 2.9 PKG에 일반적인 구조 및 재질	16
그림. 2.10 플라스틱 PKG	17
그림. 2.11 세라믹 PKG	18
그림. 2.12 Metal PKG	19
그림. 2.13 COB PKG	19
그림. 2.14 WLP PKG	20
그림. 2.15 PKG 공정도	21
그림. 2.16 플라즈마 클리닝 공정	22
그림. 2.17 다이 본딩	23
그림. 2.18 와이어 본딩 방법	25
그림. 3.1 (a) 5050 PKG (b) Bridgelux 社 Chip (c) Tekcore 社 Chip	27
그림. 3.2 각 면 발광 측정 방법 모식도	29
그림. 3.3 5050 PKG 외형 및 광학 특성	30

그림. 3.4 PKG 상태의 지향각 측정과 시뮬레이션 비교	32
그림. 3.5 Mean Free Path 적용 방법	33
그림. 3.6 입자 크기에 따른 빛 확산 방법	34
그림. 3.7 양자효율 측정 방법	35
그림. 3.8 Yellow 및 Red 형광체 wt% 에 따른 발광 전 후 이미지	36
그림 3.9 PKG 상태의 지향각 측정과 시뮬레이션 비교	37
그림. 3.10 (a) Absorption spectrum (b) Emission spectrum (c) QY	38
그림. 3.11 Yellow 형광체 wt%별 LED들의 스펙트럼 비교	39
그림. 3.12 Red 형광체 wt%별 LED 시편들의 스펙트럼 비교	40
그림. 3.13 Red 형광체 비율에 따른 LED 의 스펙트럼	41

표 목차

표 2.1 가교 방법에 따른 장 / 단점	24
표 2.2 디스펜싱에 따른 장 / 단점	26

ABSTRACT

Characterization of optical properties of lateral-type light emitting diode by Geometrical ray-tracing method

By Yoo Min Choi

Advisor : Prof. Min-Ki Kwon, Ph.D.

Department of Photonic Engineering

Graduate School of Chosun University

White light emitting diodes (LEDs) have attracted a great deal of attention in solid-state lighting applications due to their potential for energy savings, high efficiency, small size and long lifetime. The use of white LEDs for general illumination has recently grown rapidly with improvement of efficiency. However, the color of white light source is usually evaluated by two optical properties: the color rendering index (CRI) describes how well colors are reproduced by the light source and the correlated color temperature (CCT) describes how colors are falling close to the blackbody curve. In general, to create white light from LEDs, the approach of combination of wavelength down-converting cerium-doped yttrium garnet (YAG:Ce) yellow phosphor with blue LED have been adopted because they have benefit of relatively low cost as well as great stability over a wide range of temperature. However, some problems remain with phosphor converted white LEDs such as low CRI and high CCT by the absence of green and red

spectrum. White LEDs must have a broadband spectrum to achieve a CRI of over 80, which is required for use in general and special illumination application. So, phosphors of two or more colors are required. So, we need to spend lots of time and cost to find the optimum weight percent of phosphors of two or more colors for improvement of CRI and control of CCT.

In these works, we suggest the simple method to find optimum weight percent of phosphors of two or more colors to improve the CRI and control the CCT based on geometrical ray tracing method. First, we design the radiation pattern of blue LED chip and package by apodization method. Then, we simulate the emission spectrum and radiation pattern of white LED by adopting the yellow and red phosphors with various weight percent and compared them to experimental measured values. Finally, we suggest the various CCT and high CRI white LEDs by combination of yellow and red phosphors in blue LED.

제1장 서론

형광등, 백열등에 비해 소형화 시킬 수 있으며, 높은 효율로 장시간 사용할 수 있고 수은을 사용하지 않아 친환경적인 장점을 갖는 LED는 1900년 이후 청색 LED의 개발 및 청색 LED에 황색을 발하는 형광체를 사용하는 백색 LED의 개발 후 그림 1.1에 보는 것과 같이 효율이 매년 크게 증가함에 따라 여러 분야에서 기존 조명들을 대체하기 시작했다^[1-4]. 하지만 LED는 이런 장점들 및 효율 개선에도 불구하고 앞으로 일반/특수 조명등에 활용되기 위해서는 색온도와 연색성등의 개선이 필요한 실정이다.^[5-8]

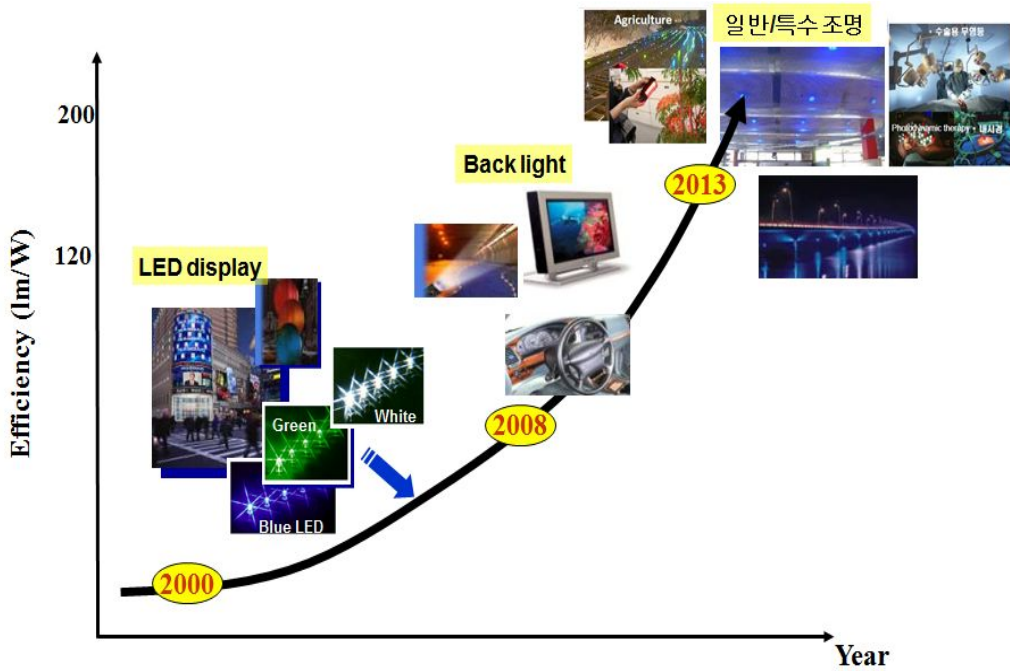


그림 1.1 연도별 LED 효율 향상에 따른 응용 시장

색온도는 그림. 1.2와 같이 구분 지을 수 있다. 낮은 색온도를 갖을수록 빨간색의 비율이 높아지고, 높은 색온도를 갖을수록 파란색을 띄게 된다. 주간 백색은 약 5000 ~ 6000K의 색온도를 갖는다.

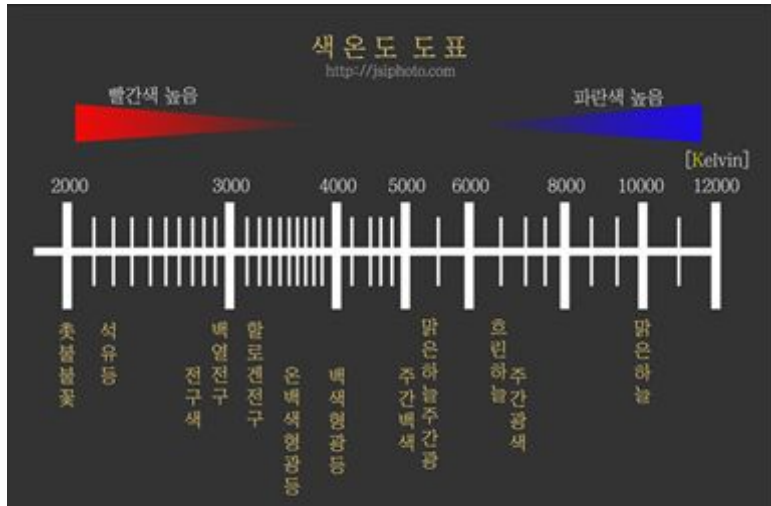


그림 1.2 색온도 도표

색온도가 중요한 이유 중 그림 1.3과 같이 색온도에 따라 물체의 색감이 달라 보이며 공부하는 분위기, 휴식 분위기, 평상시 등 상황에 따라 다른 색온도의 조명이 필요하기 때문이다.



그림 1.3 색온도에 따른 물체의 색감 변화 및 상황에 맞는 필요한 조명의 색온도

또한, 같은 물체를 보더라도 연색성에 따라 색재현성이 달라지는 현상이 있다. 그림. 1.4와 같이 낮은 연색성을 갖는 조명 아래서는 물체의 고유의 색상을 표현해 주지 못 한다. 또한 사람의 얼굴에도 조명의 연색성에 따라 확연한 차이를 보인다.^[14-15].



그림 1.4 연색성에 따른 색재현성 변화

이러한 이유로 색온도와 연색성은 일반 조명 및 특수 조명에 적용하기 위한 매우 중요한 요소이다. 현재 백색 LED를 구현하는 방법으로 가장 많이 쓰이는 것은 청색 LED + Yellow 형광체의 조합이다. 하지만, 이러한 방식은 Yellow 형광체만 사용하게 되어 연색성은 70 ~ 75 정도로 낮게 되고 스펙트럼의 폭이 작아 높은 색온도만 구현 가능하게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위해 Green, Red 형광체 등을 섞어 조건에 맞는 색온도 및 높은 연색성을 확보 한다. 형광체의 배합비에 따라 색온도와 연색성이 달라지기 때문에 원하는 조명의 연색성 및 색온도를 확보하기 위해서 형광체들의 배합비를 다양하게 조절한 여러 시편을 제작해야 한다. 이러한 방법은 매우 비효율적이다.

본 연구에서는 이러한 시행착오, 시간절감, 비용절감을 위해 정확한 LED Chip의 배광 모델링과, 형광체의 광학 특성을 시뮬레이션에 적용함으로써 상황에 맞는 연색성과 색온도 구현을 위한 형광체 비율을 예측할 수 있는 광학 설계 기술을 제안하고자 한다.

제2장 이론적 고찰

제1절 LED(Light Emitting Diode)의 개요

1. LED

LED의 원리는 기존에 사용되던 백열전구, 형광등과 다른 방식의 조명이다. 기존의 방식들은 백열등처럼 필라멘트에 전기 저항을 이용하여 백열 현상을 일으키는 방식과, 형광등과 같이 전자와 수은 입자의 충돌로 인한 자외선을 생성하고 이를 Blue, Green, Red형광체를 여기하여 백색을 구현하는 방식으로 나눌 수 있다. 하지만, LED의 경우 전기 에너지를 빛 에너지로 변환 시켜주는 광반도체 방식을 사용한다. 광반도체의 경우 p형 반도체와 n형 반도체의 이종접합을 통해 발광층의 전자 천이로 잉여 에너지의 방출로 빛을 형성한다. 이때 방출되는 빛의 파장은 발광층에 사용되는 재료 특성에 따라 결정되고, 자외선부터 적외선까지 넓은 영역을 방출할 수 있다.

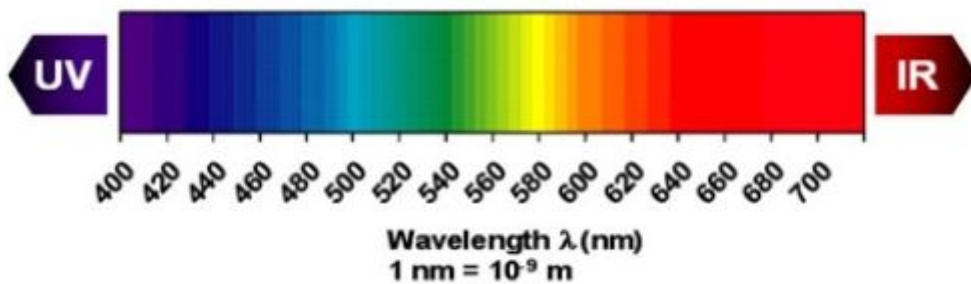


그림 2.1 발광층 전자 천이로 인한 방출 스펙트럼

LED 발광층에 사용되는 대표적인 재료로 III-Nitride 계와 III-Asenide계열의 재료가 있다. 두 재료를 이용한다면 이론적으로 매우 넓은 발광범위를 갖으나,

현재 기술적 한로 인해 III-Nitride LED는 GaN를 기반으로 자외선에서 녹색까지 구현이 가능하며, III-Asenide계열의 LED는 GaAs 기반으로 하여 황색에서 적외선 까지 구현이 가능하다.

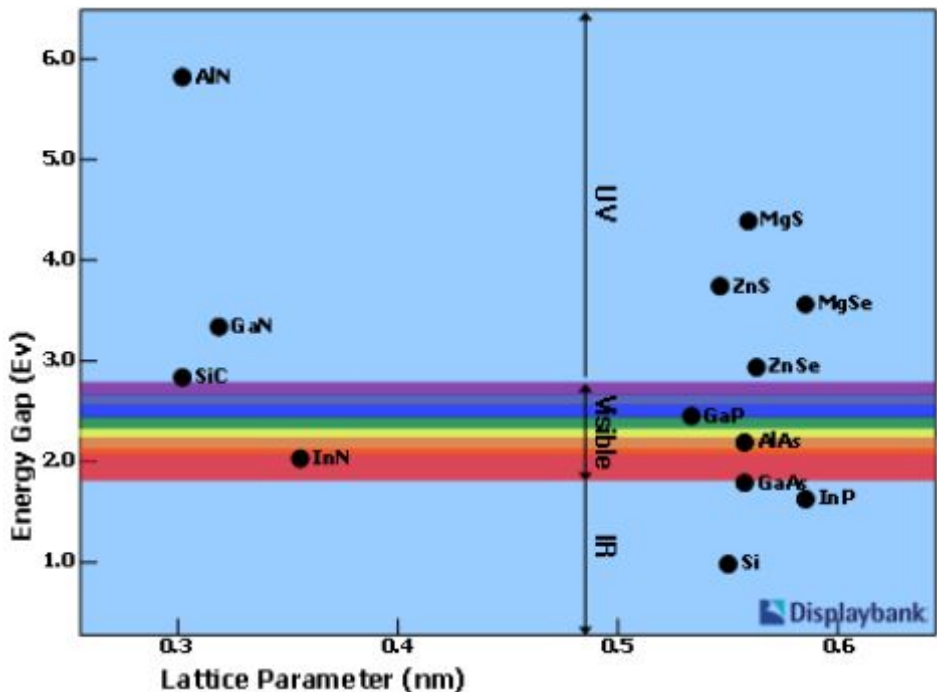


그림 2.2 물질의 Band gap energy와 Lattice constant

2. LED의 발광 원리

발광 다이오드 (Light Emitting Diode, LED)는 기본적으로 p형 반도체와 n형 반도체의 이종접합 구조로 이루어진 다이오드다. 이러한 다이오드에 전압을 가하여 전자와 정공의 흐름을 만들어 결합하여 반도체의 밴드 갭 (Band gap)에 만큼의 에너지를 빛으로 전환하여 방출하는 광전자 소자(Optoelectronic device)이다.

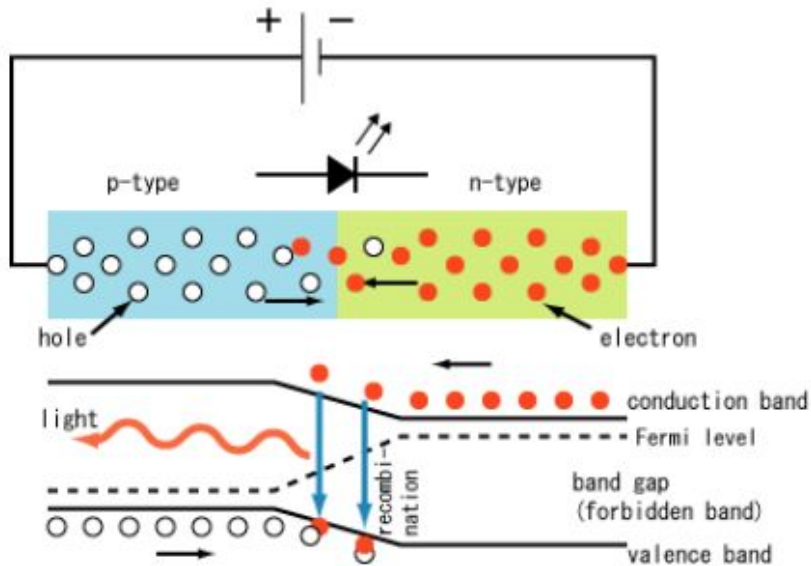


그림 2.3 LED의 발광 메커니즘

그림 2.3과 같이 p-n 접합 반도체에 순방향으로 전압을 가하면 p형 반도체의 정공이 n형 반도체쪽으로 이동하여 가운데 존재하는 다중양자우물(Multi Quantum wells (MQWs)) 층 가전대 (Valence band)대의 에너지가 가장 낮은 부분으로 모인다. 그 반면, n형 반도체의 전자는 p형 반도체 방향으로 이동하여 다중양자우물(Multi Quantum well) 층 전도대(Conduction band)의 에너지가 가장 낮은 부분으로 모이게 된다. 다중양자우물층 전도에의 전자들은 가전대의 정공과 결합한다. 이 때 전자와 정공이 결합하는 에너지 차이인 에너지 갭(Energy gap)에 해당하는 에너지가 빛의 형태로 방출하게 된다.

제2절 LED의 구조

1. 수평형 LED

일반적으로 가장 널리 사용되고 있는 LED의 구조는 수평형 LED (Lateral)구조이다. 수평형 구조는 그림 2.4과 같이 사파이어 기판 위에 n-GaN, MQWs, p-GaN순으로 적층되어 있는 구조이다. 이 구조는 mesa식각, 투명전극 증착, p-n전극 증착이라는 매우 간단한 제조 공정과 낮은 공정 비용의 장점을 갖는다. 하지만, 수평형 LED에도 아래와 같은 단점은 존재한다.

첫째로 n-GaN에 전자를 주입해주는 전극과, p-GaN에 정공을 주입해주는 전극이 같은 면에 존재하여 p형과 n형 사이가 가까운 mesa 가장자리 근처에 전류 밀집(current crowding)현상이 발생하게 된다. 이러한 현상은 전류를 높게 가할수록 더욱 심하게 발생하며, 이러한 현상으로 인해 많은 열이 발생하게 되고, LED의 특성이 저하된다. 또한 대면적 LED를 제작하기 어려운 원인으로 작용한다.

둘째로 MQWs에서 발생한 광자(Photon)들이 MQWs의 모든 방향으로 이동하는데, 사파이어 기판으로 이동하는 광자는 굴절률 차에 의한 내부 전반사가 이루어져 흡수되어 기판 외부로 방출되지 못할 확률이 크다. 이러한 이유로 광추출효율이 낮게 된다.

마지막으로 사파이어 기판의 매우 낮은 열전도도로 인해 MQWs에서 전자와 전공이 빛을 내는 발광 재결합(Radiative recombination)이 아닌 열을 생성하는 비 발광 재결합(Non-radiative recombination)을 하는데, 이 때 발생하는 열을 외부로 방출시켜 주지 못하게 된다. 이러한 영향은 LED의 휘도 및 수명이 감소하게 되는 원인이 된다.

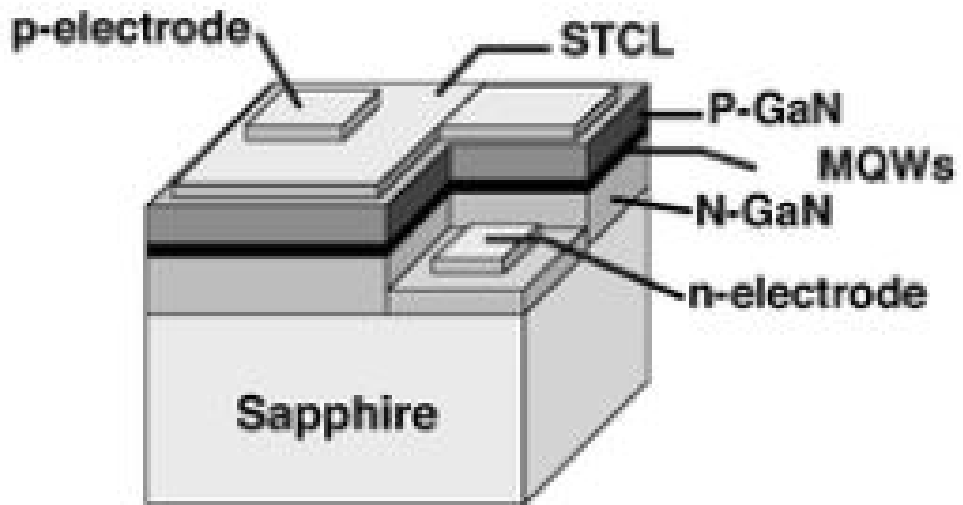


그림 2.4 수평형 LED

2. 수직형 LED

수직형 LED는 수평형 LED의 단점을 극복 하기위해 고안된 LED이다. 그림 2.5와 같이 기판위에 p-GaN, MQWs, n-GaN, 순의로 적층되어진 구조이다. 그림에서도 알 수 있듯이 수평형 LED와의 가장 큰 차이는 사파이어 기판을 사용하지 않았다는 점이다. 사파이어를 분리시키는 방법으로 Laser Lift Off(LLO)방식을 사용한다. 이렇게 제거된 사파이어 기판대신 LED를 지지해하기 위해 기판으로 금속, 실리콘, 세라믹 등 여러 재질이 사용된다. 이러한 재질은 열전도와 전기전도도가 높은 물질을 사용하여 열 방출 특성을 증가시키고, p-GaN으로 흐르는 전공을 균일하게 주입할 수 있는 통로 역할을 수행하게 된다.

수직형 LED의 장점으로 첫 번째, n-GaN의 전극과, p-GaN의 전극이 수직 방향으로 존재하고 있고 p-GaN의 전면에 저항이 낮은 전극을 이용하여 전류 퍼짐이 좋아지고 또한 전류의 흐름이 수직방향이기 때문에 수평형 LED의 단점인 전류 밀집현상을 극복하였다.

둘째로 p-GaN층에 반사 특성이 좋은 반사막을 형성하여 기판으로 향하는 광자를 대부분 반사시켜 외부로 추출하여 광추출 효율의 증가를 가져온다.

마지막으로, n-GaN면이 상면으로 노출이 됨으로 n-GaN을 식각하여 원뿔 형태를 만들 수 있다. 이렇게 만들어진 원뿔 형태는 기존에 내부 전반사로 흡수될 광자들을 외부로 추출해주는 역할을 해 추출효율을 증가시킬 수 있다.

이러한 장점들로 수직형 LED는 대면적, 고효율 LED로 제작되고 있다.

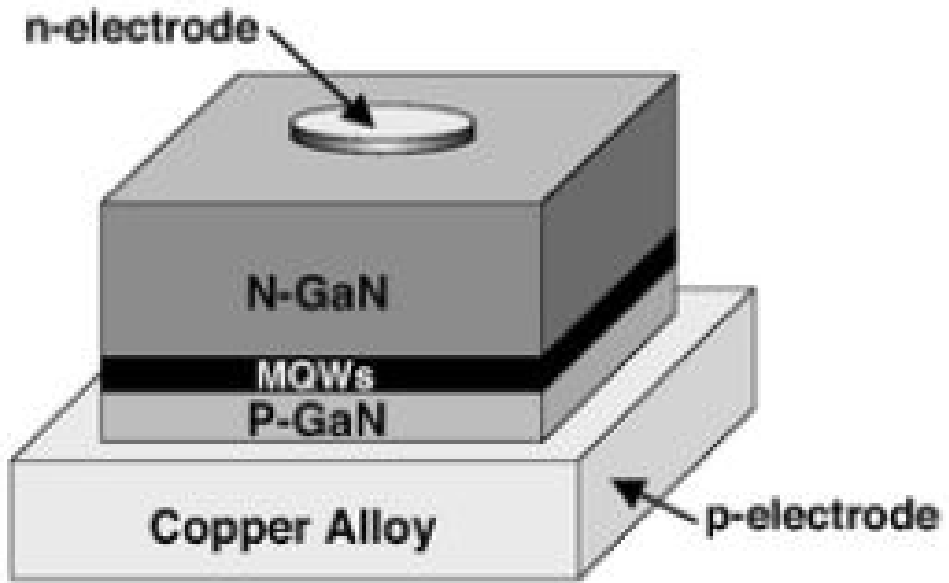


그림 2.5 수직형 LED

제3절 형광체

1. 형광체 개요

형광체는 외부로부터 주어진 에너지를 흡수하여 흡수한 에너지의 일부를 그 물질이 가지고 있는 고유의 가시광선을 내는 물질로 합성된 발광물질이다. 보통 외부에서 주어지는 에너지원에 따라, 광발광(Photo-luminescence), 전기발광(Electro-luminescence), 음극선발광(Cathodo-luminescence), 화학발광(Chemi-luminescence), 열발광(Thermo-luminescence)으로 나뉜다. 백색 LED에서 사용되는 발광방식은 광 발광이다. LED에 형광체를 적용할 초기에는 청색 LED에 황색 형광체를 사용하여 단순한 백색광을 구현하였다. 하지만, 형광체의 발전으로 인해 적색 형광체, 녹색 형광체등 다양한 파장을 내는 형광체가 개발 되었고, 스펙트럼을 조절함으로써 연색성과 색온도를 고려한 백색광 LED가 구현되기 시작 하였다. 또한 보다 높은 고연색성 소자를 위해 그림 2. 6에서 처럼 UV LED 에 청색, 적색, 녹색 형광체가 쓰는 구조도 제안되고 있다.

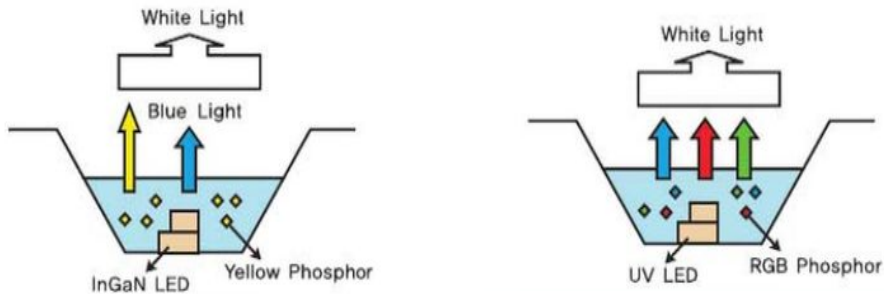


그림 2.6 형광체를 사용한 백색 LED

2. 형광체 발광원리

형광체 구성은 일반적으로 모체(Host material)와 활성제(Activator)로 되어있다. 일반적으로 파장에 따라 적색은 GaAlAs, 녹색은 GaP:N 또는 GaN를 청색은 GaN LED를 모체로 이용한다. 여기서 활성제의 종류에 따라 발광과정에 기여하는 에너지 준위가 결정된다. 활성제의 농도는 형광체 종류에 따라 다르지만, 수 ppm(Parts per million)에서 수십 퍼센트까지 매우 다양하게 존재한다. 그림 2.7과 같이 모체는 이러한 활성 이온을 지지해 주는 역할을 하고 외부로부터 공급되는 각종 에너지를 흡수하여 활성제에 전달해준다. 그림 2.8에서 보이는 것처럼 활성제의 경우 전달받은 에너지에 의해 발광을 하기도 하지만, 직접적으로 에너지를 흡수하여 발광하는 경우도 있다. 발광에 중요한 역할을 하는 활성제는 주로 희토류나 전이 금속 이온이 많이 쓰이게 된다. 경우에 따라 효과적인 에너지 전달과 모체내 활성제의 균형을 이루기 위해 부활성제를 사용하는 경우도 존재한다.

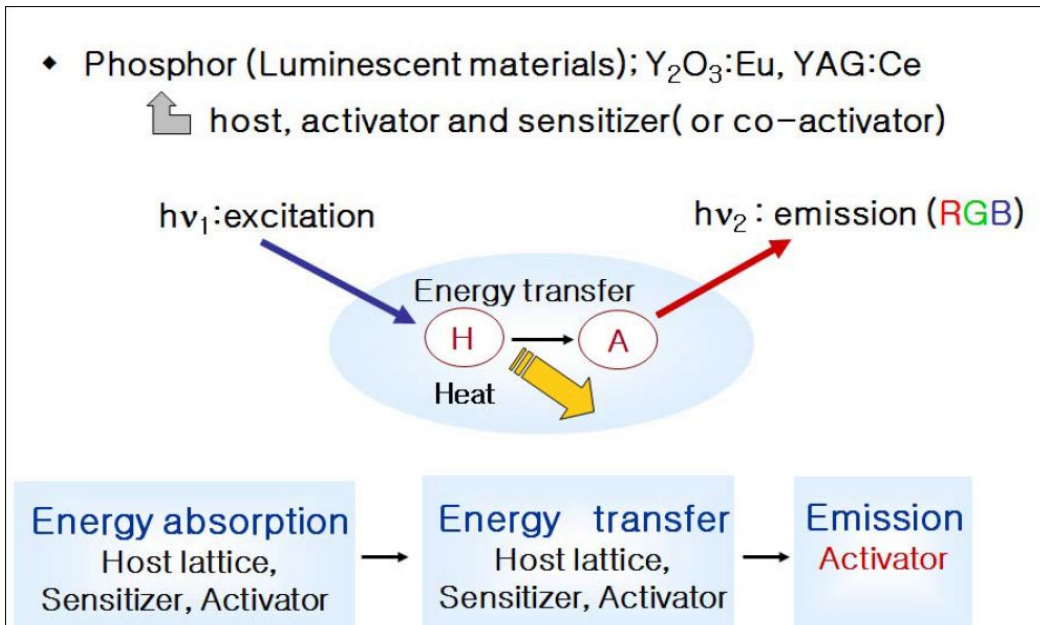


그림 2.7 형광체 에너지 전달 과정

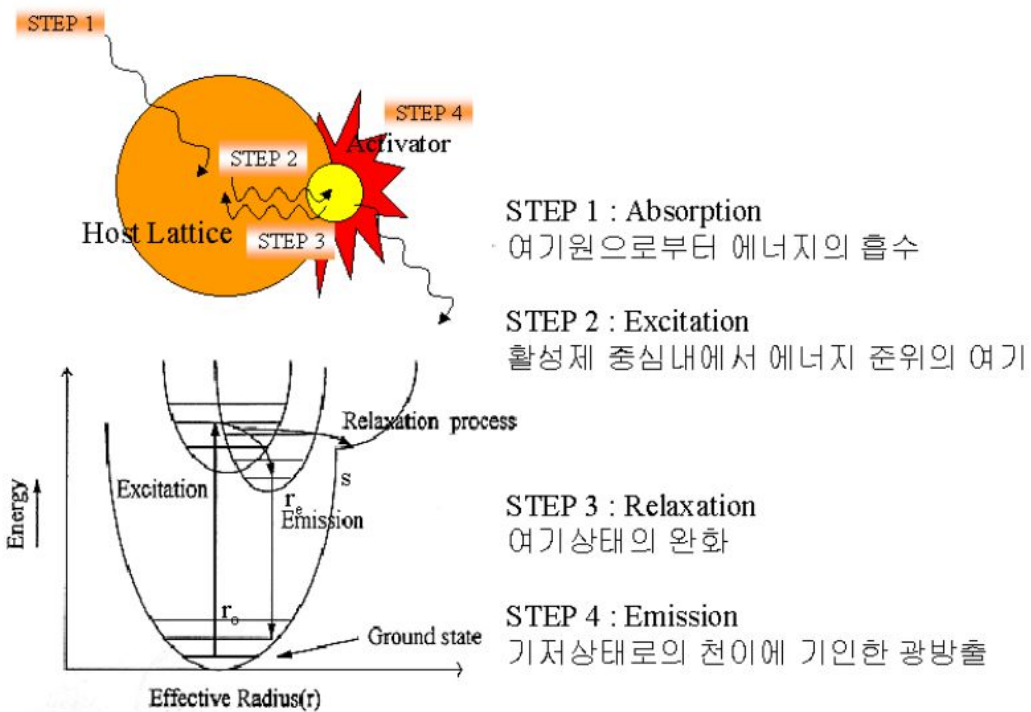


그림 2.8 형광체 발광 메커니즘

제4절 LED Package(PKG)

1. LED PKG 개요

LED PKG는 내부로는 LED Chip을 실장 할 수 있고, 외부로는 각종 PCB에 부착이 가능 하도록 설계된 LED 소자를 의미한다. LED PKG의 일반적인 구조는 그림 2.9과 같다. LED Chip과 PKG의 바닥을 접착 시켜주기 위한 Die bond, LED Chip에 전기적 연결을 위한 Gold wire, PKG에 전류를 흘려 주기 위한 Lead frame, LED Chip을 보호하고 추출 효율을 증가시키기 위한 실리콘, 실리콘과 혼합하여 여러 가지 색을 구현 할 수 있는 형광체로 구현 되어있다.

기존의 반도체 PKG의 경우 반도체 Chip을 외부 환경으로부터 보호하며 PCB 기판에 전기적인 연결을 도와주고 반도체 Chip에서 발생하는 많은 열을 외부로 전달하는 역할을 수행하였다. 하지만, LED PKG의 경우 기본적으로는 반도체 PKG와 동일하게 chip을 보호하며 효과적인 열방출 특성을 가져야 함은 물론 LED Chip으로부터 나온 빛을 외부로 최대한 많이 배출시키는 역할을 수행해야한다.

LED PKG의 종류는 매우 다양하다. 이를 분류하는 방법은 LED Chip의 출력, PKG의 모양, PKG의 응용분야, PKG의 소재 등 매우 다양하다.

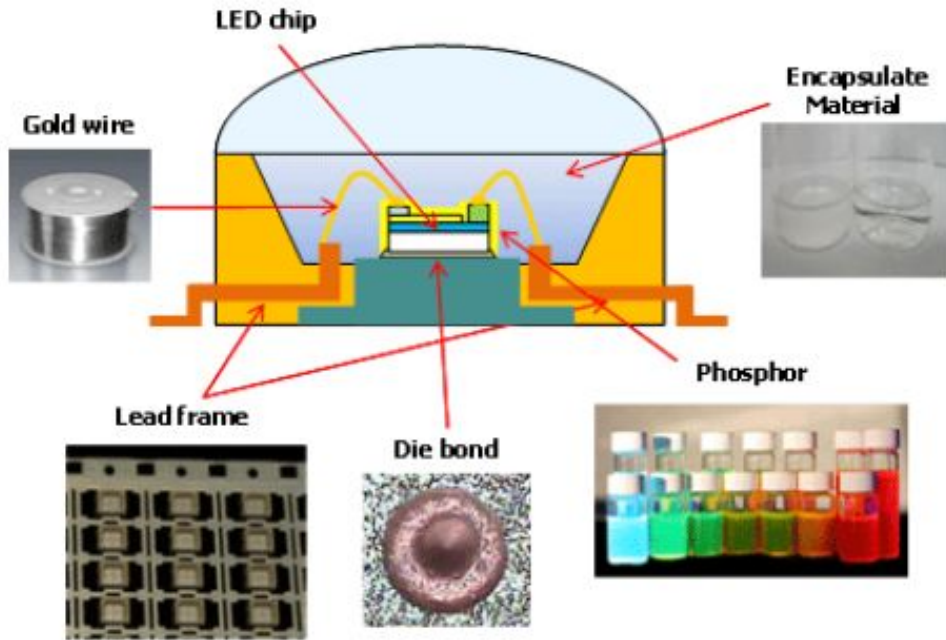
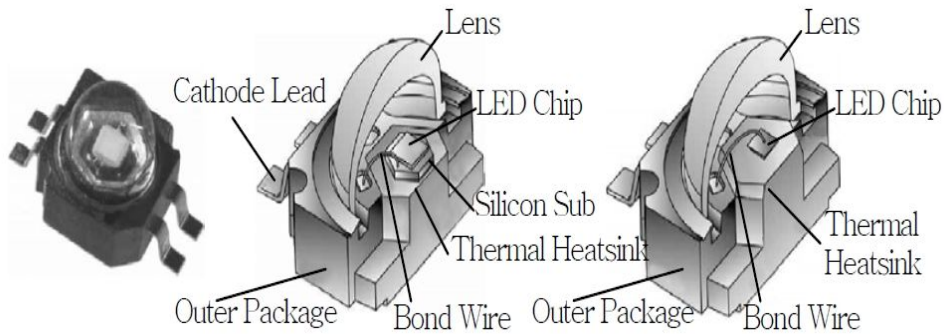


그림 2.9 LED PKG의 일반적인 구조

2. LED PKG의 종류

LED 초창기에 사용되어온 정보 표시용 PKG의 경우 리드프레임에 에폭시 수지를 몰딩하여 사용한 램프형 PKG였다. 이러한 PKG의 경우 전기적 연결을 위해 구성된 리드프레임을 통해서만 열 방출이 이루어지기 때문에 열 방출 능력이 떨어지며, 열저항이 매우 높게 된다. LCD TV용 백 라이트, 가로등, 보안등 등 고출력 LED 조명기기가 요구됨에 따라 고출력 LED가 필요하고 열적 문제가 제기 되면서 이러한 PKG는 사용을 할 수 없게 된다. 그에 따라 그림 2.10과 같이 현재 고출력 LED PKG는 표면 실장형 타입으로 플라스틱을 몸체로 하고 구리나 알루미늄과 같은 열전도도가 뛰어난 금속으로 히트싱크를 chip 하단에 위치시켜 방열을 이루는 형태가 주를 이루고 있다. 플라스틱 PKG는 2가지 방식을 이용하여 열방출을 하고 있다. 첫 번째로 Heatslug 삽으로 열방출을 이루는 형태와, Heatslug없이 lead를 통해 열방출을 이루는 형태이다. Heatslug를 이용한 PKG의 열저항은 10°C/W정도 되고, lead를 이용한 형태의 열저항은 15~20°C/W로 나타난다.

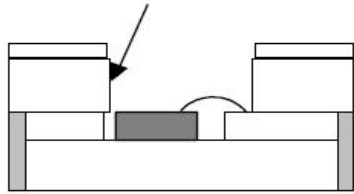


Lumileds(Luxeon K2, 9°C/W)

그림 2.10 플라스틱 PKG

세라믹 PKG는 총 두 종류를 주로 사용한다. 소결된 기판(Sintered substrate)을 사용하는 것과 소결되지 않은 세라믹 시트를 여러겹 적층(Multilayer ceramic)하여 제조하는 경우이다. 소결된 기판은 주로 알루미나(Al_2O_3)를 이용한다. 또한 열 방출을 효율적으로 하기 위해 TOP층과 Bottom층을 Laser를 이용하여 뚫어서 via를 형성한다. 이렇게 형성된 via는 열 방출에 효과적인 역할을 한다. Multilayer ceramic 공정은 소결온도가 낮은 LTCC(Alumina + Glass)와 소결 온도가 높은 HTCC(Alumina)공정으로 구분된다.

Wall Metallization+ Ag(Au) Plating



Angled Cavity+ Wall Metallization+ Ag(Au) Plating

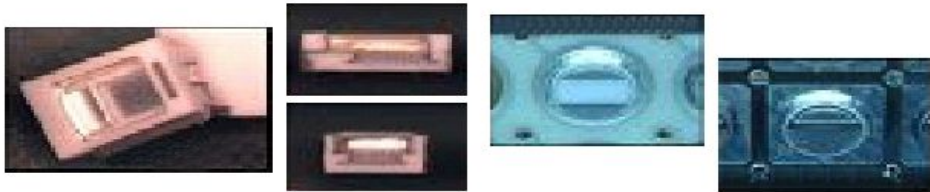
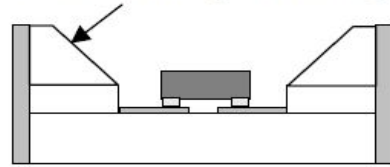


그림 2.11 세라믹 PKG

Metal PKG는 금속을 소재로 만들어진 PKG로 다른 PKG에 견고하고 열전도도가 매우 높다.(그림 2.12) 금속으로 제작이 되기 때문에 전기적 연결을 위한 절연체 Sealing 공정이 추가로 발생한다. 마지막으로 원재료가 금속이기 때문에 가공 비용이 많이 들어가는 단점을 가지고 있다.

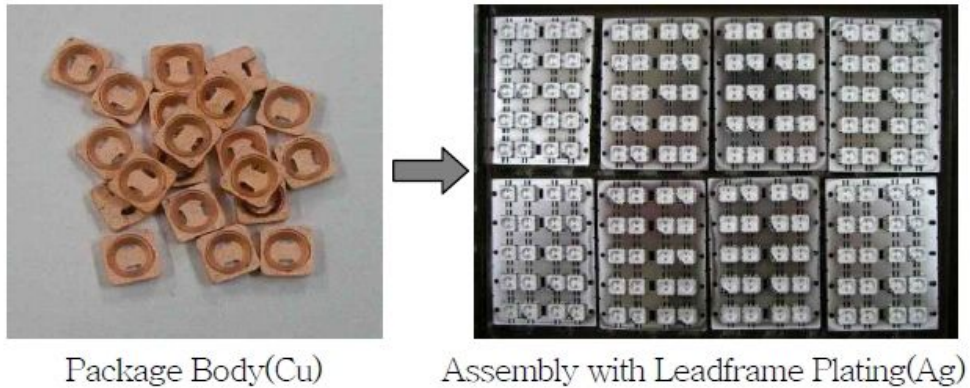


그림 2.12 Metal PKG

그림 2.13에서 보는 바와 같이 COB PKG는 열이 전달되는 경로를 줄여 열저항을 줄이는 목적으로 제작하였다. 열 경로를 줄이기 위해 PCB 기판위에 칩을 바로 실장하는 방식이다. 기존 PKG의 경우 열저항이 40°C/W이면 COB PKG의 경우 5°C/W의 열저항을 갖는다.

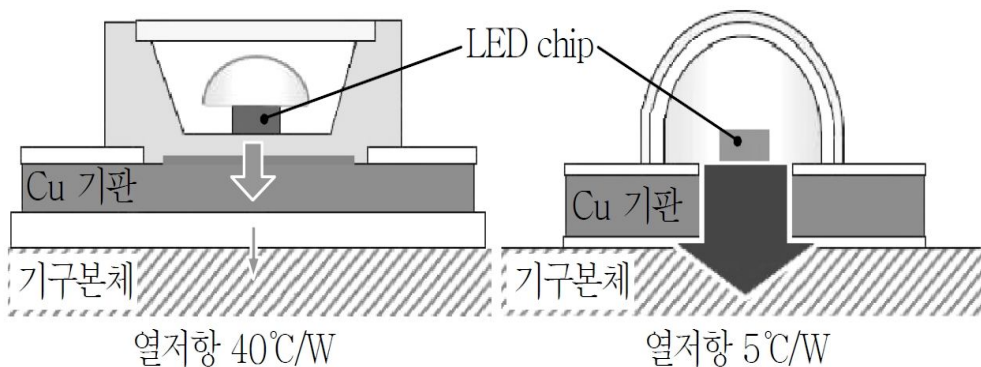
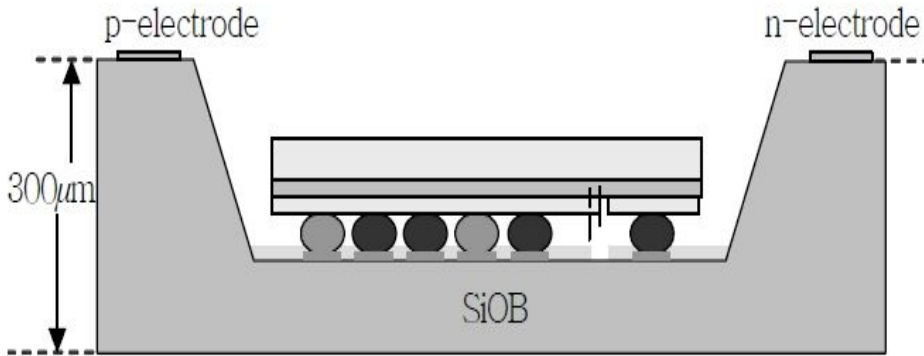
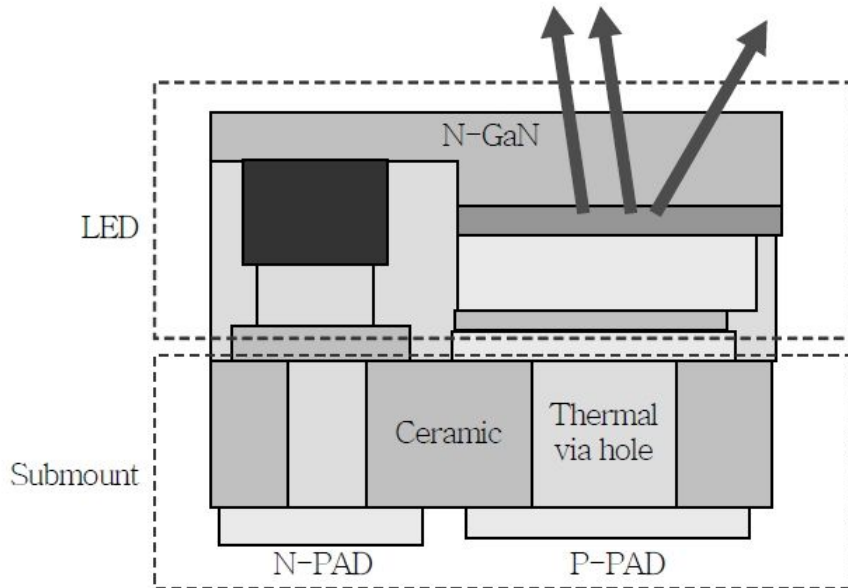


그림 2.13 COB PKG

마지막으로 Wafer Level PKG(LWP)는 웨이퍼 상에서 PKG를 진행하는 방식이다. 사용되는 웨이퍼는 실리콘 기반으로 실리콘 특성인 고방열을 이용하고 소형 및 어레이 형태의 PKG를 제작 하기 적합한 방식이다.



(a)



(b)

그림 2.14 (a) Si based WLP, (b) Si based HWLP

3. LED PKG 공정

LED PKG의 구성은 Chip, Die adhesive, wire, Encapsulant, 형광체, 방열 부속품 등으로 이뤄져있다. 이러한 여러 재료를 하나의 구성으로 제작 하는 공정을 PKG 공정이라고 한다. 일반적으로 사용하는 공정은 그림. 2.15 과 같이 이루어진다. 공정의 수서는 Plasma cleaning, Die bonding, wire bonding, Encapsulation, 순으로 이루어진다.

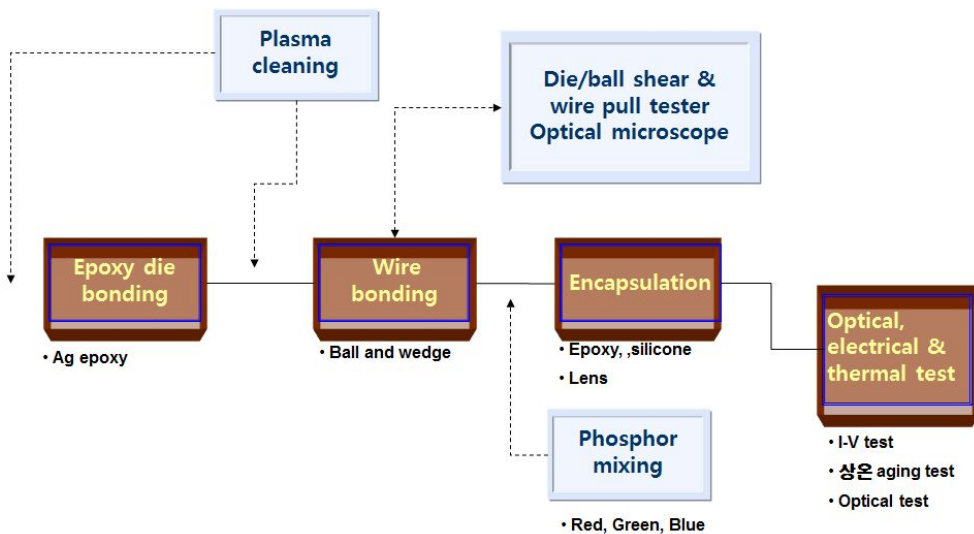


그림 2.15 PKG 공정도

먼저 플라즈마 클리닝의 경우 LED 패키징 공정에서 많이 사용되는 부분으로 PKG의 표면을 세척하는 공정이다. 물이나 유기용매를 사용하지 않고 아르곤과 같은 불활성 가스를 이용하여 산화시키거나 세척을 하게 된다. 아르곤과 같은 불활성 가스를 사용하기 때문에 안전하고 경제적이다. 또한 공정시간이 매우 짧고 Die나 wire의 접합력을 증가시키는 역할도 수행한다. 단점으로는 Chip의 손상이나, PKG 표면이 손상되어 변색이 발생할 수 있다.

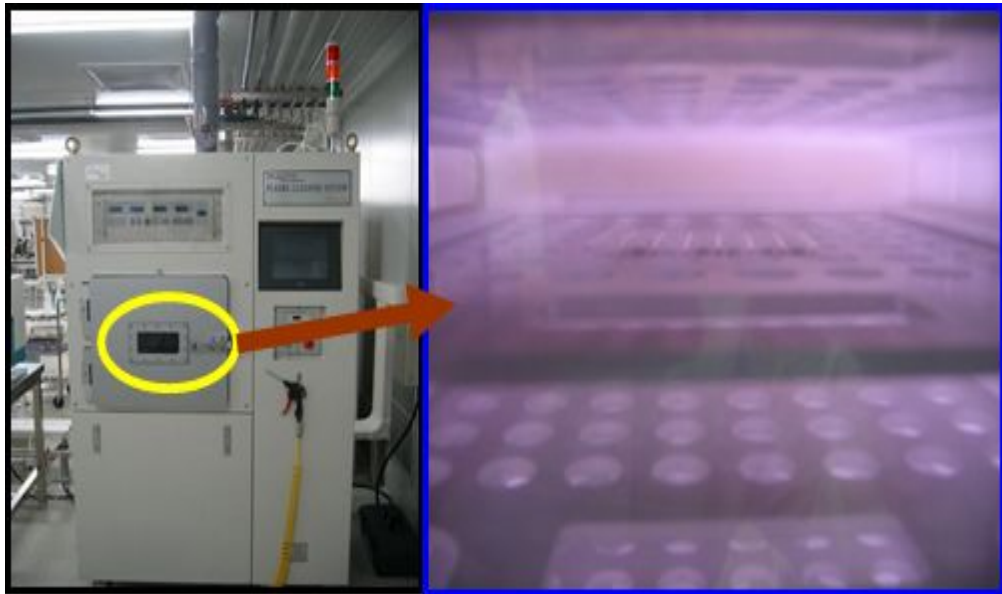


그림 2.16 플라즈마 클리닝 공정

다이 접합 공정은 LED Chip을 PKG의 바닥면에 고정해 주는 공정이다. 수평형 LED Chip의 경우 Silicone을 이용한 투명한 접착제를 많이 사용한다. Silicone 계열의 투명한 접착제를 사용하는 이유는 투과율이 좋은 재질로 측면에서 발광하는 빛을 추출 할 수 있고, 열적으로 안정된 Silicone재질로 신뢰성 향상에 도움이 되기 때문이다. 하지만, 단점으로 Silicone의 낮은 열전도도를 들 수 있다. 수직형 LED Chip의 경우 바닥면에 p-pad가 있어 전기 전도도가 없는 Silicone재질의 접착제를 사용 할 수 없다. 이에 Ag가 첨가된 접착제를 사용하게 된다. 여기서 Ag의 첨가로 Silicone재질의 접착제보다 열전도도가 향상되는 효과도 나타난다. 접착제를 도포하는 방식은 여러 가지 있다. 그중 가장 많이 사용되는 방식은 디스펜싱 방식이다. 디스펜싱 방식은 공기의 압력과 토출 시간을 이용하는 방법이다.

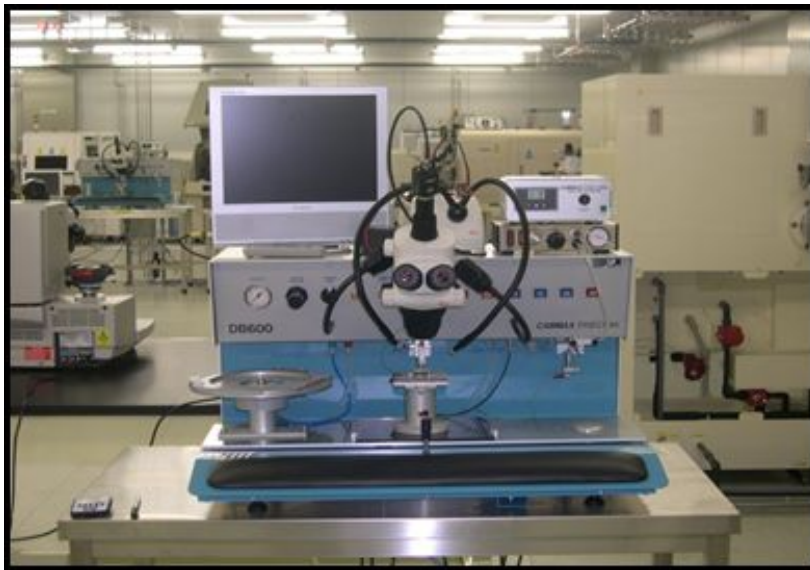


그림 2.17 다이 본더

Chip이 부착된 후 접착제를 다양한 가교 방법을 통해 경화 시킨다. 대부분의 경화 조건의 경우 열이나 자외선을 이용하는 방식이다. 접착제로 주로 사용되는 재질인 에폭시는 열경화성 수지이기 대부분이며 축합 반응이나 첨가 반응에 의해 경화반응이 일어난다. 표 2.1 와 같이 가교방법에 따라 장점과 단점을 나열해두었다.

가교방법	장점	단점
적외선	- 표면실장에 용이 - 높은 투과율	- 추가적인 공정이 필요함
열	- 낮은 가격 - 높은 장비활용도	- 긴 경화시간
자외선	- 짧은 가교 시간 - 열 가교로 불가능한 소자에 사용가능 - 낮은 공정비용	- 추가 가교 필요 - 전용 접착제 필요
마이크로파	- 짧은 가교 시간	- 까다로운 가교 조건 - 추가 장비 필요
습기	- 상온에서의 경화	- 긴 가교 시간

표 2.1 가교 방법에 따른 장 / 단점

Wire bonding 공정은 LED Chip의 전기적 연결을 위한 중요한 공정이다. Chip과 PKG를 연결해주는 wire의 끝 부분을 전기적 방전을 통해 불을 형성해 준다. 형성된 불을 Chip과 PKG에 접합시킨다. 불와이어 접합 방식의 핵심 부품으로 캐필러리가 존재한다. 아래 그림 2.18은 공정 과정을 나타낸다.

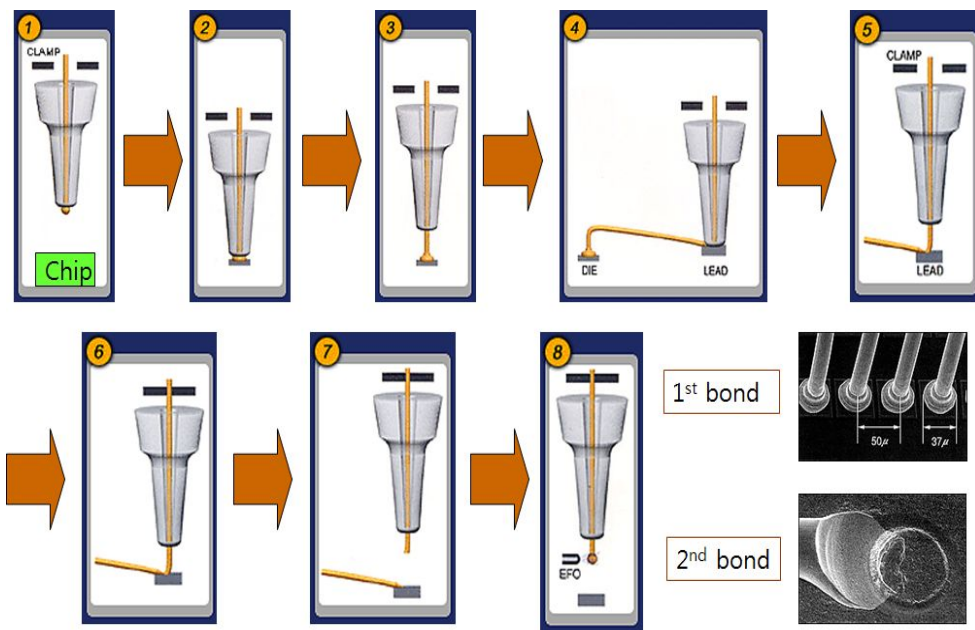


그림 2.18 와이어 본딩 방법

마지막으로 Encapsulation 공정이 있다. LED Chip과 전기적 연결에 중요한 부품인 wire를 보호하고, Chip의 광 추출 효율을 증대시키는 역할을 한다. Encapsulant에 사용되는 재질은 기존에 에폭시 재료를 사용하였다. 기존에 에폭시를 사용한 이유는 저출력 LED에 사용되기 때문에 열적으로 인한 변형이 일어나지 않기 때문에 가능했다. 하지만, 고출력 LED의 개발로 인해 에폭시를 사용할 경우 변색이 일어나고, 크랙이나 팝콘현상이 일어나는 현상이 있어 특성 개선이 요구된다. 또한 Silicone재질에 형광체를 섞어 백색 LED를 제조할 수 있다. Encapsulation하는 방법은 3가지가 존재한다. 디스펜싱을 이용한 방법, 압축 금형을 이용하는 방법, 진공 프린팅을 이용하는 방법이다. 각 방법에 대한 장단점은 표 2.2에 나타난다,

방법	장점	단점
디스펜싱	- 면적이 작은 영역에 봉지가능 - 소량 생산에 유리	- 긴 경화시간 - 형상자유도 없음
압축금형	- 높은 형상 자유도 - 높은 성형성 및 재현성	- 고가의 장비 - 면적의 제한
진공 프린팅	- 짧은 공정시간 - 대량생산 가능	- 고가의 장비

표 2.2 디스펜싱에 따른 장 / 단점

제3장 실험방법 및 결과

제1절 PKG 시뮬레이션

LED Chip의 배광 및 PKG의 배광, 형광체 광학설계는 몬테카를로(Monte Carlo) Ray tracing기반의 Lighttools를 이용하여 광학 설계를 진행하였다. Lighttools 프로그램을 이용하여 정확한 광학 설계를 하기 위해서는 각각 빛이 진행되는 특성과 매질의 광학적 특성을 정확히 적용해야한다. 이렇게 광학설계를 이용하여 분석한 결과는 실제 시스템과 유사하기 때문에 실제 제품을 제작하여 특성을 평가 해야 되는 시간과 비용을 절약할 수 있는 큰 장점을 갖는다.

본 연구에서는 그림 3.1과 보이는 Bridgelux 社와 Tekcore 社K의 Chip을 모델링하고 이를 5050PKG에 적용함으로써 실제 측정 결과와 유사한 특성을 갖는 배광을 설계하였다.

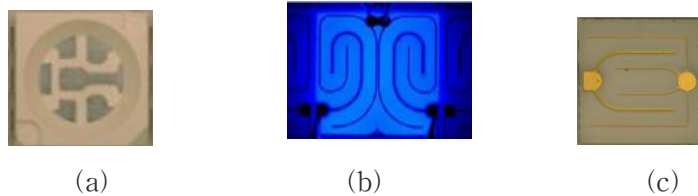


그림 3.1 (a) 5050 PKG (b) Bridgelux社 Chip (c) Tekcore 社 Chip

1. Chip 모델링 및 설계 PKG의 광특성 비교

광학설계 프로그램을 이용한 Chip 설계 방법으로 3가지가 있다. 첫째로 LED를 구성하고 있는 모든층을 구현하여 구현하는 방법이다. 이 방법은 세 가지 방법 중 가장 정확한 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있는 큰 장점을 가지고 있다. 이러한 장점에도 불구하고 사용할 수 없는 이유는 각 층에 사용되는 재료의 굴절률, 투과율, 흡수율과 같은 광학적 특성을 알 수 없으며, 각 구조의 두께를 정확히 알 수 없어 모델링시 정확한 결과를 기대할 수 없다. 두 번째로 배광 분석 장비로 측정된 Raydata file을 이용하는 방법이 있다. 이 방법의 장점으로 Near & far field data 정확도가 높으며, 광분포도에 따른 color & spatial의 정확도가 높다. 단점으로 하나의 Sample만 측정하여 사용하기 때문에 오차가 있는 Sample을 측정하게 된다면, 모두 잘못된 정보를 사용하게 된다. 또 측정하는 시간과 비용이 많이 들어가고, 광선의 개수가 한정되어 있어 사용하는데 제약이 따른다. 마지막으로 LED Chip과 비슷한 크기의 Source를 만든 후 Apodization파일을 이용하는 방법이다. Chip의 Far filed영역에서 측정한 배광값을 Apodization파일로 생성하여 사용하는 방법이다. 장점으로 Chip모델링이 매우 쉬우며 정확한 Far filed performance를 구현할 수 있다. 하지만, near filed에서 2차 광학계를 설계할 경우 정확도가 떨어질 수 있는 단점이 있으며, 수평형 Chip과 같이 사방에서 발광하는 부분을 상면에서 발광하는 형태로 모델링되기 때문에 정확한 시뮬레이션이 될 수 없다. 하지만, 상면으로만 발광하는 형태인 수직형 Chip 모델링에 적합한 방법이다.

PKG 시뮬레이션에 사용할 수평형 chip의 모델링은 가장 쉬운 방법인 Apodization을 방식을 변형하여 사용하였다. 수평형 chip을 Apodization방식으로 구현하기 위해 해결해야할 단점은 Chip의 측면에서 나오는 빛의 표현 방식이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 그림. 3.2 와 같이 발광하는 면을 제외한 모든 면을 흡수체로 막아 그 면의 배광을 Goniometer를 이용하여 측정 하였다. 측정한 Chip은 T社와 B社의 Middle Chip이다. 측정면은 상면, n-pad 측면, p-pad 측면. pad가 없는 측면으로 나누어 측정 하였다. 상면에서 발광하는 모습은 기존의 수직형 Chip과 비슷한 배광의 모습을 보인다. 측면에서 나오는 배광의 모습은 그림 3.2 와 같이 상면으로 향하는 빛과 아래면으로 향하는 빛이 있다. 이렇게 나누어진 빛과 상면에서 발광하는 빛을 모두 표현함으로써 수평형 chip의 정확한 시뮬레이션이 가능하게 된다. 시뮬레이션의 정확성을 확인하기 위해서 PKG가없는 상태에서의 시뮬레이션을 진행하였다.

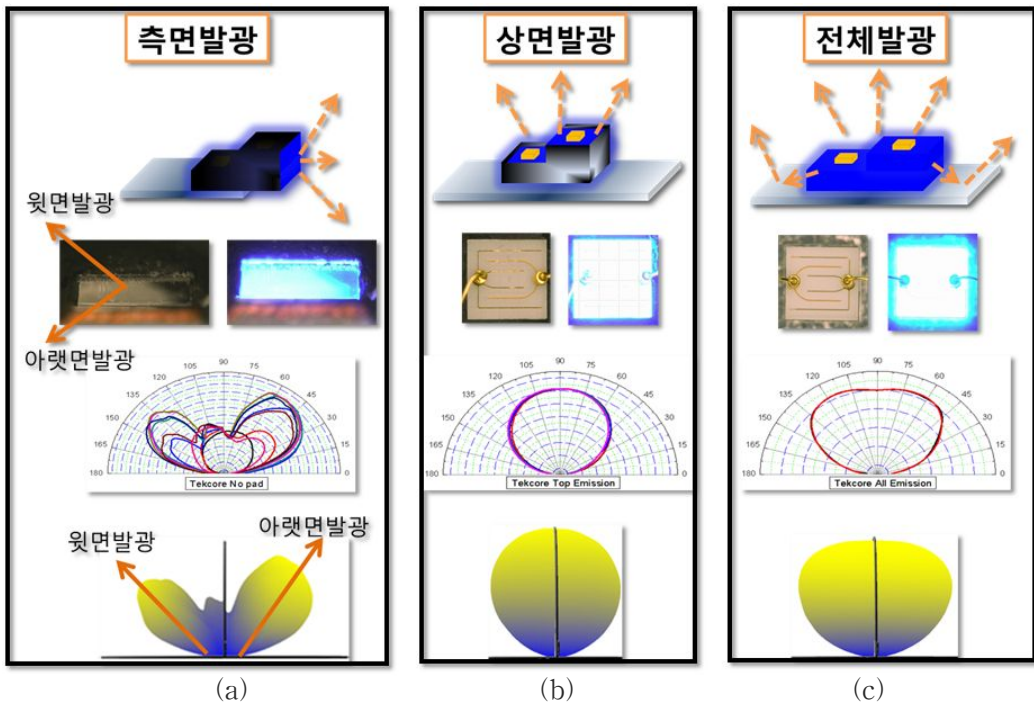


그림 3.2 각 면 발광 측정 방법 모식도

2. PKG 모델링

PKG를 모델링하는 방법으로 제조사에서 제공하는 모델링 파일을 이용하여 Import 하여 사용하는 방법과, 제조사에서 제공하는 도면을 이용해 Lighttools에서 직접 설계 하는 방법과, 모델링하고자 하는 제품의 치수를 파악하여 모델링하는 방법이 있다. 본 실험에서 사용한 5050PKG는 제조사에서 제공하는 파일이 존재하지 않아 현미경을 사용하여 정확한 치수를 측정하여 모델링하였다. PKG 시뮬레이션의 정확성을 확인하기 위해 Encapsulation을 하지 않은 상태의 시뮬레이션을 진행하였다. 다음으로 실리콘의 광학 특성이 제대로 평가 되었는지 확인하기 위해 실리콘을 사용한 시뮬레이션을 진행하였다.

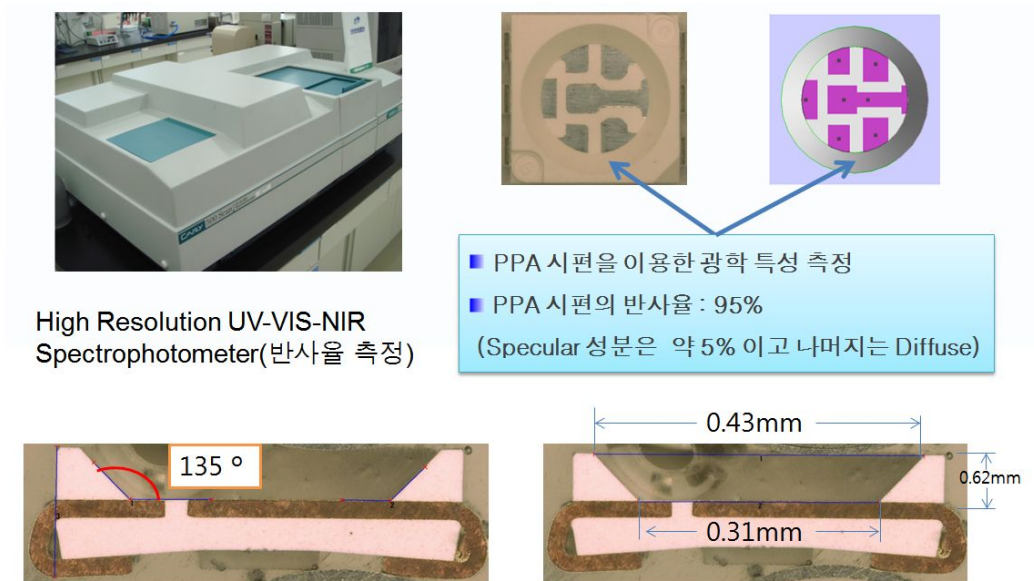


그림 3.3 5050 PKG 외형 및 광학 특성

3. Sample 제작

형광체 시뮬레이션에 앞서 시뮬레이션의 정확성을 검증하기 위해 단계별 Sample을 제작하여 비교하였다. Sample 제작에 사용된 재료들은 T社와 B社의 Chip, KER-3000-M2 Paste, KER-2500 Silicone이다.

제작 공정은 플라즈마 클리닝을 이용하여 PKG의 이물질을 제거해준다. 이물질을 제거해주는 이유는 신뢰성 향상과 지향각의 변화를 막기 위해서이다.

두 번째 공정으로 KER-3000-M2 Paste를 이용하여 접착제를 PKG에 도출 해준다. 사용된 접착제는 가장 많이 사용되는 Silicone 재질의 투명한 접착제를 사용하였다. 접착제의 양은 Chip의 측면을 가리지 않는 정도로 사용 하여야한다. 만약 접착제가 Chip의 측면을 가리게 된다면, 접착제의 영향으로 인해 지향각의 변화가 생기게 된다.

세 번째 공정은 Chip을 접착하는 공정이다. 이 공정에서 주의해야할 점은 앞에서 언급했듯이 측면으로 접착제가 타고 올라가는 것을 방지해야한다. Chip이 실장된 PKG를 Convection oven을 이용하여 150℃에서 약 30분 경화시켜준다.

네 번째 공정은 Gold wire를 이용하여 Chip과 PKG의 리드를 연결해 준다. 이렇게 제작된 PKG를 이용하여 지향각을 측정하고 다음공정을 진행해 준다. 지향각을 먼저 측정하는 이유는 다음 공정인 Encapsulation 공정 후 지향각 변화를 1:1 매칭으로 비교하기 위해서 이다.

마지막 공정으로 Shin-etsu社의 KER-2500실리콘을 이용하여 Encapsulation공정을 진행하였다. KER-2500은 1.41의 굴절률을 갖는 재질로 광 투과도는 400nm/2mm 조건에서 90%의 투과율을 보이고 있다. 실리콘을 도출한 후 Convection oven을 사용하여 70℃ - 30min, 100℃ - 30min, 120℃ - 120min, 150℃ - 30min 경화 시켰다. 사용된 LED의 구조는 실제 실험을 위해 제작한 LED와 동일한 구조로 설계하였다.

4. PKG 모델링 결과

Lighttools를 이용한 Chip 모델링 정확도를 확인하기 위해 Goniometer을 이용하여 배광을 측정하였다. 실측 결과 배광의 면적을 계산했을 때 약 5%의 오차가 발생하였다. 이러한 문제는 Die Paste의 양의 차이, Gold wire의 영향, 측정 장비의 오차로 볼 수 있는 부분이다. Encapsulation 하지 않은 상태에서의 측정 값과 시뮬레이션 값을 비교해 보았을 때 배광의 면적을 계산하면 약 4%의 오차를 보였다. 기존에 수평형 Chip을 사용한 모델링 방식에 비해 오차를 줄인 모델링 방법이다.

다음으로 Encapsulation된 상태에서의 시뮬레이션과 실측 결과는 약 1%의 오차를 보였으며 형광체 시뮬레이션을 위한 오차를 최소화 하였다.

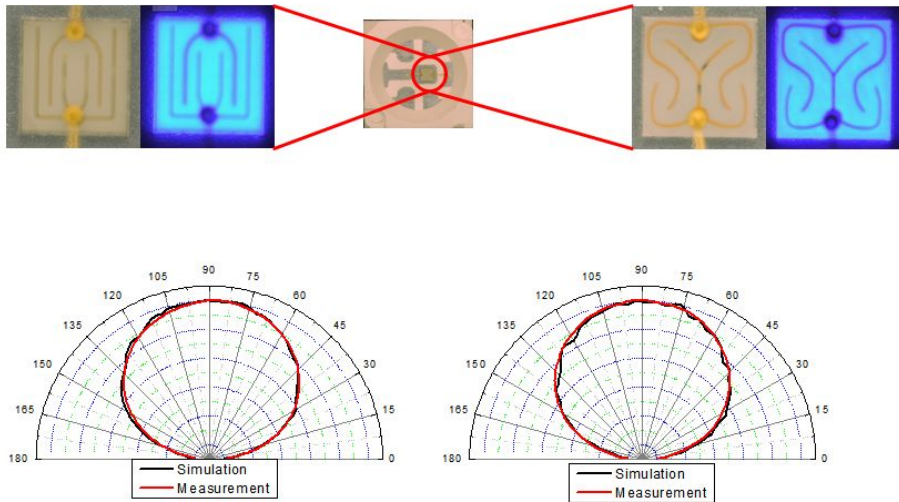


그림 3.4 LED PKG 지향각의 실측 및 시뮬레이션 결과 비교

제2절 형광체 시뮬레이션

1. 형광체

형광체 시뮬레이션을 진행하기 위해 꼭 필요한 5가지 요소가 있다. 첫 번째는 Mean Free Path이다. Mean Free Path는 빛이 첫 번째 형광체에서 출발하여 다음 형광체와 충돌할 때까지의 거리를 평균으로 나타낸다. 광학설계 프로그램에서 Mean Free Path를 설정할 수 있는 방법은 총 3가지가 있다. 평균거리를 상수로 입력하는 방법, 파장에 따른 평균거리를 상수로 입력하는 방법, Mie 산란을 이용하여 평균거리를 계산해주는 방법이 있다. Mie 산란을 이용하기 위해서는 형광체의 크기, 밀도등이 필요하다.

- Mean Free Path → 형광체와 형광체 사이의 평균 거리
 - ▶ Constant : 평균거리를 상수로 입력
 - ▶ Wavelength Dependent : 평균거리를 파장에 따라 상수로 입력
 - ▶ Based on Mie Theory : Mie 산란을 이용하여 평균 거리 계산
Mie 산란을 이용하기 위해서는 Particle Size,
Phosphor density 필요

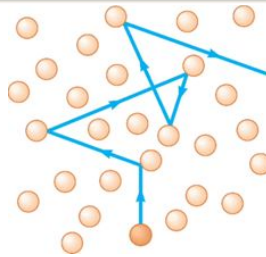


그림 3.5 Mean Free Path

두 번째 요소는 Intensity distribution of unconverted rays이다. 이 요소는 형광체에 흡수되거나 변환되지 않은 빛의 경로를 결정해주는 요소로 4가지 방법을 통해 구현할 수 있다. Isotropic 방법은 방향에 관계 없이 모든 방향으로 동일하게 빛이 퍼져나가게 하는 방법이고, Undeviated 방법은 산란이 발생하지 않고 형광체에 입사한 반대 방향으로 빛이 그대로 진행하는 방식이고, Based on Mie Theory 방법은 Mie 산란식에 의해 Particle size에 따라 결정되는 방식이다. Particle size가 파장과 비슷한 크기에서는 좀 더 넓은 형태로 빛이 진행하고, Particle size가 파장보다 크다면 좁은 방향으로 빛이 진행하게 된다. 마지막 방법으로 User-Defined 방식으로 형광체 주위로 각도별 입력값을 지정하여 빛의 경로를 결정하는 방식이다.

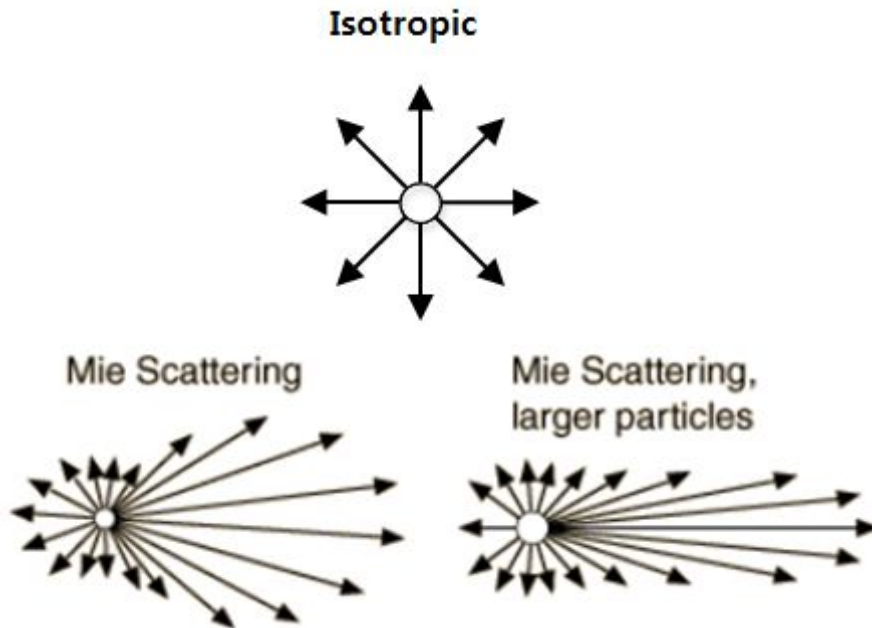


그림 3.6 입자 크기에 따른 빛 확산 방법

세 번째, 네 번째, 다섯 번째 요소는 Absorption, Excitation data(Excitation spectrum or Quantum Yield), Emission spectrum이다. 각 요소들은 그림 3.7에서 보는 양자효율 측정 장비를 이용하여 측정이 가능한 요소들로 양자 효율 측정 방법은 먼저 아무 것도 들어있지 않은 시편을 이용하여 기준광을 측정하고, 형광체가 들어있는 시편을 측정한다. 이렇게 측정된 Data를 이용하여 Red, Green, Yellow 형광체를 이용한 시뮬레이션을 진행 하였다. yellow 형광체와 Red 형광체는 5, 6, 7, 8 wt%로 진행 하였다.

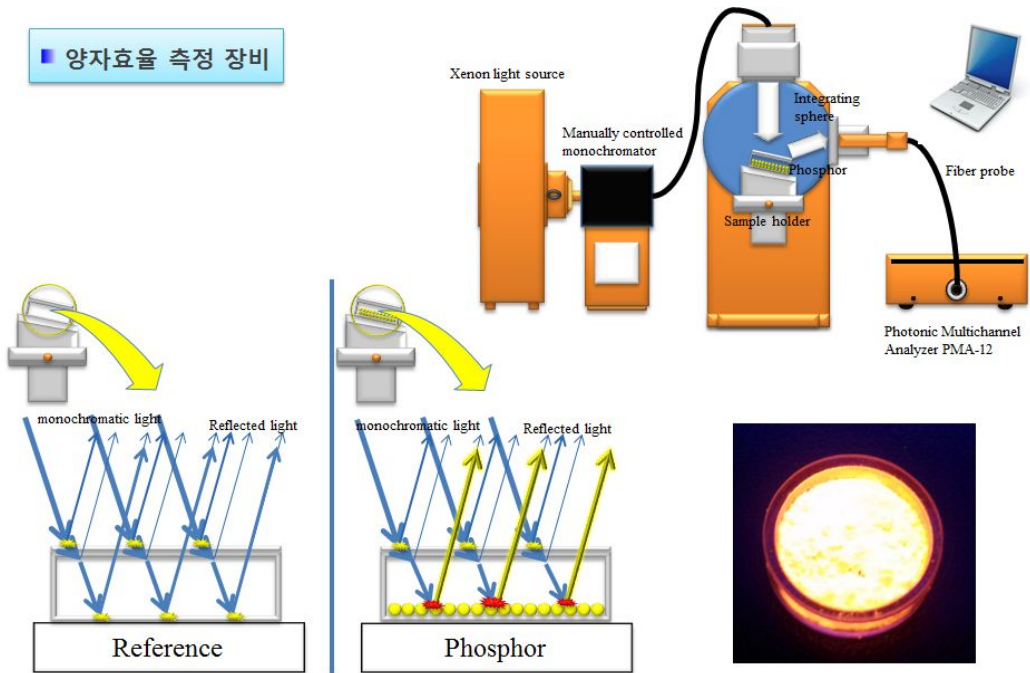


그림 3.7 양자효율 측정 방법

2. Sample 제작

Sample에 사용된 재료는 위에서 설명한 것과 같다. Yellow 와 Red 형광체를 이용한 Sample을 제작하였으며, yellow 형광체와 Red 형광체는 5, 6, 7, 8wt%로 제작 하였다. 그림 3.8 (a)와 (b)는 Yellow 형광체를 도포 후 발광 전, 후 이미지이고, 그림 3.8 (c)와 (d)는 Red 형광체를 도포 후 발광 전, 후 이미지이다.

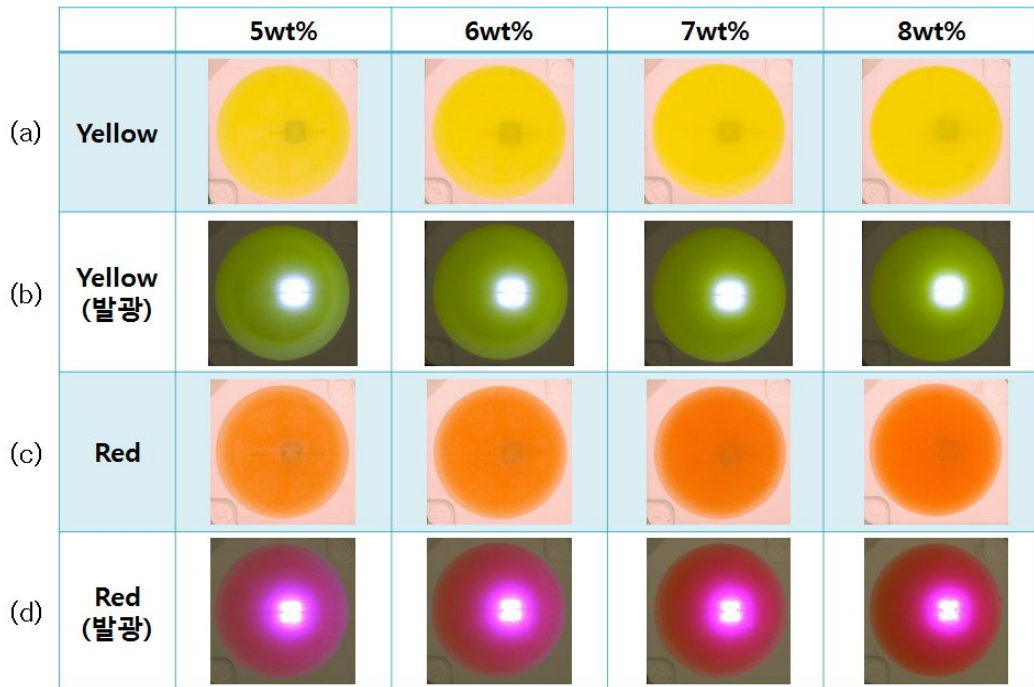


그림 3.8 Yellow 및 Red 형광체 wt% 에 따른 발광 전 후 이미지

3. 형광체 측정

먼저 Mean Free Path에 필요한 입자사이즈를 알기 위해 입도 분석기를 통해 형광체의 크기 분포를 측정하였다. 측정결과는 그림. 3.9와 같이 Red, Yellow 형광체 모두 마이크로 사이즈를 갖는 걸 알 수 있다.

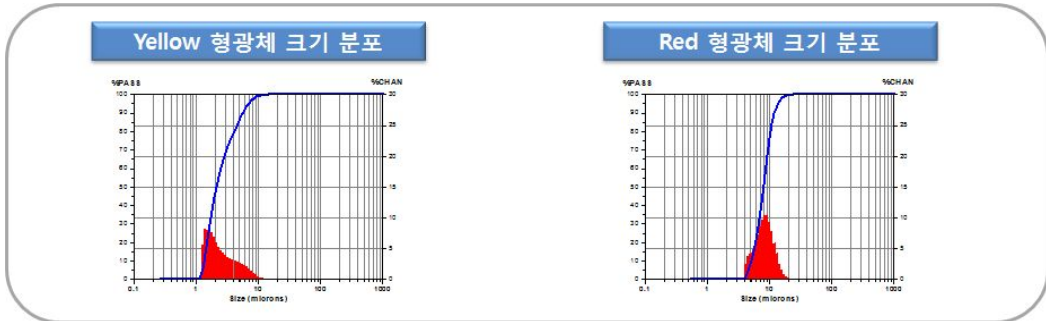
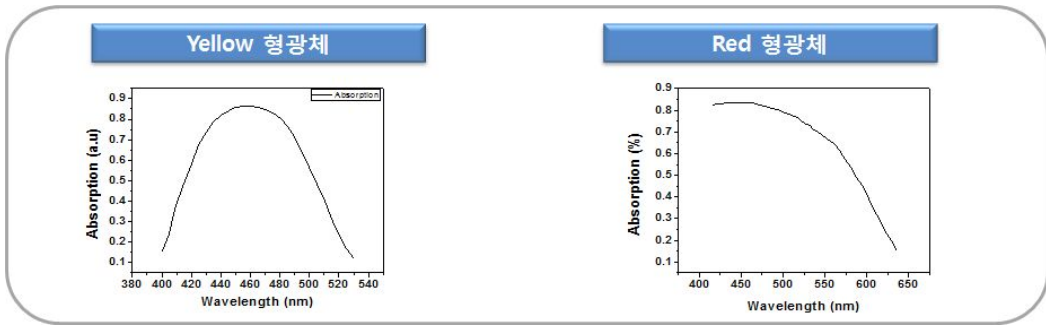
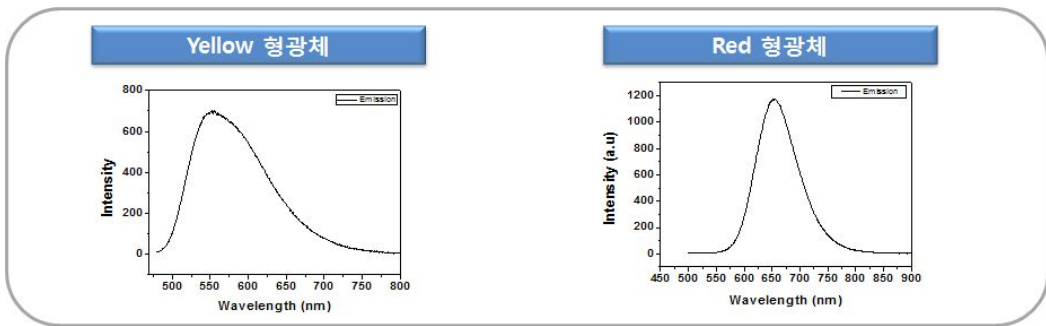


그림 3.9 PKG 상태의 지향각 측정과 시뮬레이션 비교

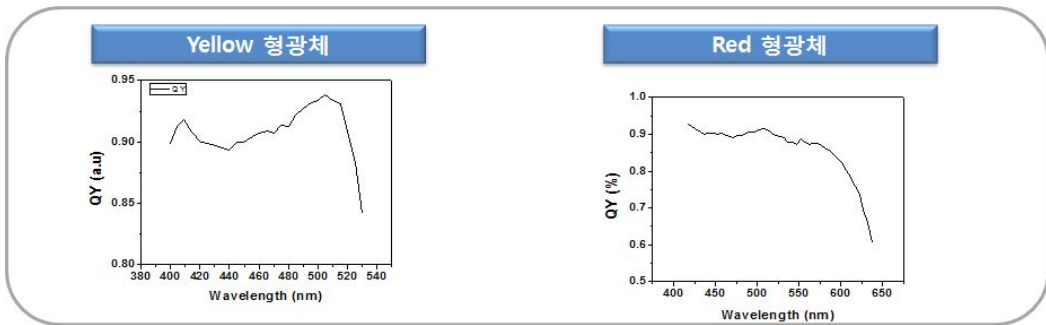
다음으로 측정된 Absorption, QuantumYield, Emission spectrum을 측정하였다. 각 형광체를 파장별로 측정된 결과는 그림 3.10과 같다. Absorption같은 경우 Yellow 형광체의 경우 Blue영역에서 일어나는 것을 확인할 수 있다. 이러한 이유는 가장 대표적으로 쓰이는 Blue파장을 잘 흡수하기 위함이다. 반면 Red 형광체는 파장이 짧아질 수록 흡수가 커짐을 알 수 있다. 청색영역에서 Yellow, red 형광체 모두 80%이상의 높은 흡수율을 보인다. 다음으로 Emission의 경우 각 형광체별 파장에 맞는 값들이 나오는 것을 확인 할 수 있다. 마지막으로 QY의 경우 Yellow 형광체와 Red 형광체가 청색 파장대에서 90%이상의 높은 값을 갖는 것을 확인하였다.



(a)



(b)



(c)

그림. 3.10 (a) Absorption spectrum (b) Emission spectrum (c) QY

4. 형광체 시뮬레이션과 실측 비교

형광체 시뮬레이션에 필요한 5가지 요소를 적용하여 시뮬레이션을 진행 하였다. 시뮬레이션에서는 실제 실험과 동일한 wt%를 사용하였으며, 실험에 사용된 각 스펙트럼의 일치율로 실험의 기준을 잡았다. 그림 3.11은 조성비에 다른 Yellow 형광체를 이용한 시편의 실측데이터와 시뮬레이션 데이터이다. Blue LED의 스펙트럼의 경우 완벽히 일치하였고, 형광체에 의한 Yellow 스펙트럼도 조성비가 증가함에 따라 경향성 있게 증가되는 비슷한 모양을 보였지만 크기에는 약간오차가 발생함을 확인하였다. 오차는 3%미만으로 시뮬레이션 결과가 신뢰성이 있다고 볼 수 있다.

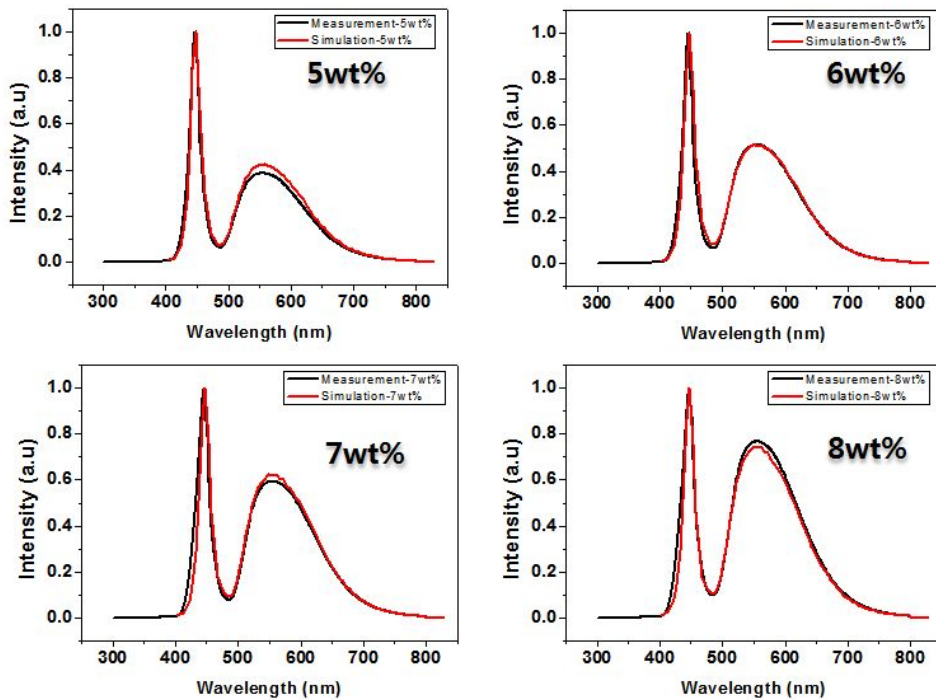


그림 3.11 Yellow 형광체 wt%별 LED들의 스펙트럼 비교

그림 3.12은 Red형광체를 이용한 LED 시편의 발광 스펙트럼을 보여준다. Yellow형광체를 이용한 LED 시편의 경우와 비슷하게 Blue LED의 Peak는 완벽히 일치하였지만, 형광체부분에서 조성비가 증가함에 따라 경향성 있게 증가되었고 약간의 오차가 발생하였다. 이러한 원인은 형광체의 함량이 증가함에 따라 형광체 도포시 위치의 불균일성, 크기의 불균일성 등으로 판단된다. 추후 좀 더 정확한 시뮬레이션이 요구된다.

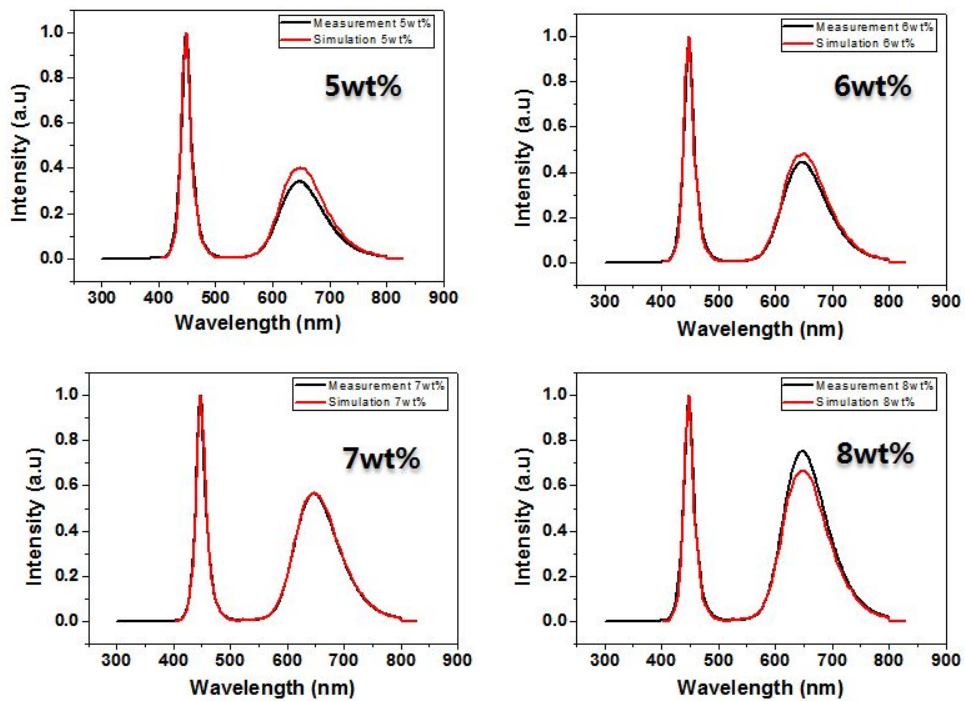


그림 3.12 Red 형광체 wt%별 LED 시편들의 스펙트럼 비교

5. 형광체 배합에 의한 색의 특성 제어

최종 목적인 형광체 배합에 의한 연색성 및 색온도를 제어하기 위해 앞서 설계된 Yellow 및 Red 형광체의 배합에 따른 시뮬레이션 결과이다. Yellow 형광체는 6wt%로 고정 한 후 Red 형광체의 비율을 1 ~ 4 wt%로 증가를 시키며 시뮬레이션을 진행하였다. 그 결과 Red 형광체의 비율이 증가할 수록 CCT 값은 낮아지고, Ra 값은 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 기존 LED 와 다르게 85이상의 높은 Ra값이 확보된 것은 물론 4067 ~ 2317K로 다양한 색온도의 제어가 가능함을 확인 하였다. Red 형광체의 비율이 증가 할 수록 CCT는 낮아지고, 연색성은 높아지는 것을 확인 할 수 있다. CCT가 낮아지는 이유는 Red 형광체가 증가함에 따라 낮은 색온도 특성인 붉은 빛을 띄기 때문이고, 연색성이 증가하는 이유는 Red 파장이 Blue 파장보다 상대적으로 증가함에 따라 좀 더 자연광 스펙트럼과 유사해지기 때문이다. 추후 시편은 제작하여 예측결과와 실측결과가 일치 하는지를 확인할 것 이다.

본 연구를 통해 직접 실험을 진행하지 않고 형광체 배합에 따라 색온도 및 연색성을 예측할 수 있다는 것을 확인 하였다.

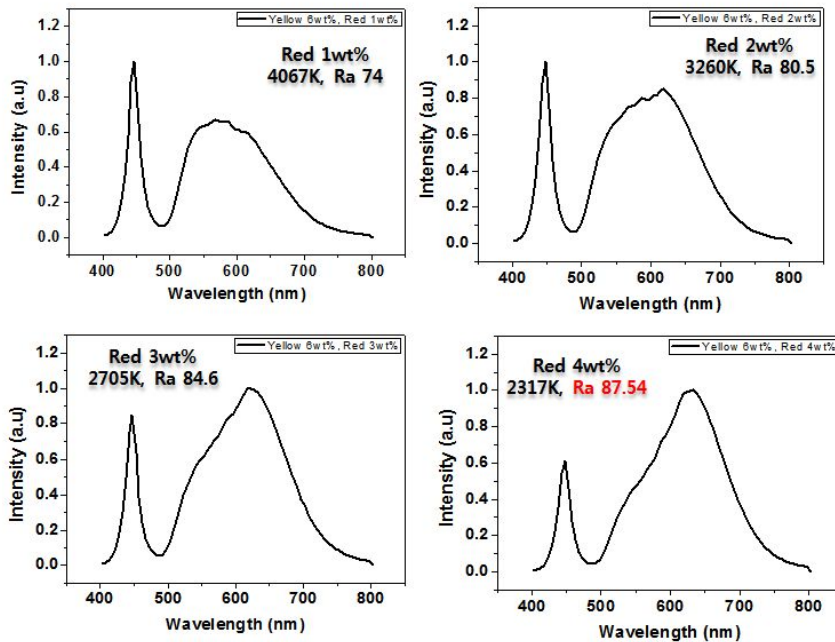


그림 3.13 Red 형광체 비율에 따른 LED 의 스펙트럼

제4장 결론

본 논문에서는 Lighttools 광학 설계에 기반을 둔 정확한 Chip모델링과 형광체 시뮬레이션을 통해 형광체 실험에 들어가는 비용과 시간을 단축하고자 연구를 진행 하였다. 정확한 Chip모델링은 기존방식은 Apodization방식을 조금 변형시켜 각 면에 대한 배광을 측정하여 수평형 Chip 모델링한 후 실제 PKG에 적용하고 비교한 결과 약 1%이하의 낮은 오차를 보임을 확인 하였다. 다음 형광체의 정확한 광학 설계를 위하여 Mean free path, Intensity distribution of unconverted rays 및 양자효율측정장비를 활용한 Absorption, Quantum Yield, Emission Spectru 을 측정 하였다. 이렇게 측정된 값을 이용하여 각 형광체의 wt% 별 시뮬레이션을 진행 하여 실제 제작된 PKG와의 스펙트럼 비교를 하였다. 그 결과 R, Y 형광체의 wt% 로 정확한 스펙트럼의 세기가 증가되는 모습은 실측과 비슷한 경향성을 보이는 것을 확인하였다. 마지막으로 두 형광체를 섞어 CCT와 CRI 의 변화 값을 확인해 보았다.

이러한 시뮬레이션을 이용한다면, 실험에 들어가는 비용과 시간을 절약할 수 있는 장점이 있으며, 다양한 형광체를 섞어 다양한 색온도를 갖는 백색광 구현에 있어 좀 더 쉬운 접근이 가능할 것으로 보인다. 또한 조금 더 정확도 있는 시뮬레이션 진행을 위하여 형광체의 광학 특성을 좀 더 정확하게 분석 할 필요가 있다.

[참고문헌]

- [1] Hardy, K. R., Olsson, M. S., Sanderson, J. R., Steeves, K. A., Lakin, B. P., Simmons, J. E., Weber, P. A., "High Brightness Light Emitting Diodes for Ocean Applications", IEEE Conference Oceans, (2007)
- [2] Hyeung-Sik Choi, Jong-Su Yoon, Tae-Woo Lim, Hea-Yong Seo, "Temperature Control for LED with fan circulated air-cooling system", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol.34,, pp.1100-1106, November. (2010).
- [3] Borbély, A., A. Sámson, and J. Schanda. "The Concept of Correlated Color Temperature Revisited,"Color Research & Application pp.450 , 26(6).(2001)
- [4] P. Pinho, E. Tetri and L. Halonen, "Synergies of controller-based LED drivers and quality solid-state lighting," in Proceedings of the 2nd Conference on Ph.D. Research in Micro Electronics and Electronics - pp. 405. PRIME (2006),
- [5] Dupuis, R. D. and Krames, M. R., "History, Development, and Applications of High Brightness Visible Light-Emitting Diodes", Journal of Lightwave Technology, Vol. 26, pp.1154, (2008).
- [6] X. Luo, W. Cao, and F. Sun, "The Development of Silicate Matrix Phosphors with Broad Excitation Band for Phosphorconverted White LED," Chin. Sci. Bull., 53 [19] 2923-30 (2008).
- [7] C. H. Lu and R. Jagannathan, "Cerium-ion-doped Yttrium Aluminum Garnet Nano-phosphors Prepared through Sol-gel Pyrolysis for Luminescent Lighting," Appl. Phys. Lett., 80 [19] 3608-10 (2002).
- [8] Xiaohui Qu, Siu-Chung Wong, Chi K. Tse, "Temperature Measurement Technique for Stabilizing the Light Output of RGB LED Lamps "IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, Vol.59, March. (2010).

- [9] Schubert, E.F., Kim, J.K., "Solid-State Light Sources Getting Smart", Science, Vol. 308, pp.1274, (2005).
- [10] S. Nakamura, T. Mukai, and M. Senoh, "Candela-class High-brightness InGaN/AlGaIn Double-heterostructure Blue-light-emitting Diodes," Appl. Phys. Lett., 64 [13] pp.1687 (1994).
- [11] J. K. Park, K. J. Choi, K. N. Kim, and C. H. Kim, "Investigation of Strontium Silicate Yellow Phosphors for white Light Emitting Diodes from a Combinatorial Chemistry," Appl. Phys. Lett., 87 031108-031108-3 (2005).
- [12] Narendran, N., Gu, Y., "Life of LED-Based White Light Sources", IEEE/OSA Journal of Display Technology, Vol. 1, pp.167, (2005)
- [13] Meneghini, M., Tazzoli, A., Mura, G., Meneghesso, G., Zanoni, E., "A Review on the Physical Mechanisms That Limit the Reliability of GaN-Based LEDs", IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 57, pp. 108-118, (2010).
- [14] Yun Shuai, Yongzhi He, Nguyen T. Tran, and Frank G. Shi, Senior Member, "Angular CCT Uniformity of Phosphor Converted White LEDs: Effects of Phosphor Materials and Packaging Structures", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 23, FEBRUARY 1, (2011).
- [15] L. Zhu, Student Member, IEEE, X. H. Wang, P. T. Lai, Senior Member, IEEE, and H. W. Choi, Senior Member, IEEE, "Angularly Uniform White Light-Emitting Diodes Using an Integrated Reflector Cup" IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 22, APRIL 1, (2010).
- [16] J. Kim "LED의 이슈 및 기술 동향" ETRI 전자통신동향분석 Vol. 24, December (2009).
- [17] 임용빈, 박성현, 안병진, 김영일, "실용적인 실험계획법". 자유아카데미, (2008).

[18] 신무환, 김재필, “LED 패키징기술 입문”. 북스힐, (2008).

[감사의 글]

2010년 2학기 저는 평범하게 학부 생활을 하고 있었습니다. 그러던 중 권민기 교수님 실험실에서 연구실 학생을 뽑는다는 소식을 접하게 되었습니다. 그 당시 저는 석사보다 취업에 많은 고민을 하고 있는 상황이라 크게 신경을 쓰지 않았 습니다. 하지만, 이런 고민을 교수님과의 상담을 통해 지금 준비되지 않은 상황 에 취업을 하는 것보다 석사생활을 통해 좀 더 준비할 시간을 갖자 라고 생각 했습니다. 그렇게 학석사 연계를 통해 석사과정을 준비 하였고, 지금 이렇게 졸 업을 앞두고 있습니다. 석사 과정을 진행 하는 중 저는 많은 분들께 도움을 받았 습니다. 그분들을 생각 하며 부족하지만 이렇게 지면으로나마 감사의 인사를 드 리고자 합니다.

먼저 저의 따뜻한 배려로 학부의 졸업이 아닌 또 다른 배움의 기회를 주신 권 민기 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 학교가 아닌 광 기술원에서 저에 게 많은 배움의 기회를 주신 김재필 박사님께 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 교 수님과 박사님이 저에게 주신 기회를 잘살려 현재 금호HT라는 회사의 일원이 되었습니다.

또한, 학부생활과 대학원 과정동안 훌륭한 가르침을 주신 김진태 교수님, 김현 수 교수님, 박종락 교수님, 안태정 교수님, 주기남 교수님께 깊은 감사드립니다. 교수님들의 수업을 들으면서 광학의 기초부터 튼튼하게 다질 수 있습니다.

석사생활 동안 한국 광 기술원 과전을 보내주신 교수님께 다시 한번 감사드리 며, 한 없이 부족한 저를 받아주시고 가르침을 주신 전시욱 박사님께도 감사드립니다. 즐거운 결혼생활 잘 유지 하시고 이쁘고 귀여운 딸 순산하시길 기원 하겠 습니다.

학부 시절부터 석사까지 꾸준히 함께한 선배 호준이형 형도 결혼하셔야죠 빨리 준비하시구요, 항상 분위기를 띄우시고 굴러온 돌이라고 웃음을 주시는 용진이 형 여자 친구 빨리 만드시길 바라겠습니다. 학부 시절부터 공부도 잘하고 놀기도 좋아하는 판주 이제 그만 놀아도 될 것 같다, 저를 석사생활로 인도하게 된 인도 자 승중이형 결혼 축하드리고요 형수님은 제가 따로 뵈겠습니다. 광기술원에 과 견나가 열심히 배우고 있는 종현이 너도 그만 놀아도 될 것 같다 열심히 공부해 서 꼭 좋은곳으로 가길 바란다. 고등학교 후배라고 항상 술 사달라며 조르는 두 형이 년 항상 지켜보고 있다 열심히 공부해라. 마지막으로 몸짱 선율이 학부시절

부터 몸이 좋은건 알았는데 이렇게 까지 좋은지 몰랐다. 석사 과정 하면서 많은 걸 배우길 바라며 Lighttools 물어보면 항상 답해줄게 내가 아는 한에서 언제든지 연락해라. 정말 소중한 우리 연구실 인원들 내가 말을 못하고 연락도 안해도 먼저 연락 해주세요. 여러분들이 있어 항상 든든하고 고맙습니다.

한국 광 기술원 광원소재연구센터 선후배님 들께도 감사의 마음을 전합니다. 먼저 항상 분위기를 주도하시는 김기현 박사님, 다방면으로 많은 도움을 주신 김완호 선임님, 기술원에 오래 있었고 많은 장비 사용법을 가르쳐 준 민석이형과 영래형, 센터의 살림을 맡고 있는 친절한 영화누나, 같이 기술원에 입사한 승배형, 석사를 졸업하고 들어온 민호형, 항상 말을 걸어주고 연락 해주는 유성이형, 그리고 짧은 시간밖에 같이 있지 못했지만 주말마다 열심히 하시는 제영이형과 주현씨 모두 감사합니다. 좋은 추억과 많은 도움을 평생 가슴속에 새기며 살겠습니다. 그리고, 회사 생활을 하면서 졸업논문을 쓸 수 있게 배려해주신 김상기 이사님과 정병진 선임님, 그 배려심에 맞게 앞으로 열심히 보답하겠습니다.

언제 어디서나 저를 걱정해주는 부모님 감사합니다. 언제나 부모님의 마음을 모르는 건 아니지만, 제가 피곤하다는 이유로 항상 짜증만 내서 정말 죄송합니다. 저보다 더 고된 일을 하시고도 아무런 말씀도 안하시고 다 받아 주셔서 감사하고 사랑합니다.

마지막으로 결혼을 약속한 김희영 학부 시절부터 만나 지금 졸업을 앞둔 지금 까지 항상 힘이 돼줘서 고맙고 지금처럼 항상 즐겁고 행복하게 살자 사랑한다.

모든 분들의 애정 어린 가르침과 지원 감사합니다. 앞으로 사회의 한 일원으로 열심히 노력하겠습니다. 감사합니다.

2013 年 12 月

崔 有 珉