

FR4 PCB의 Via hole 구성에 따른 LED 패키지의 열적 광학적 특성 분석

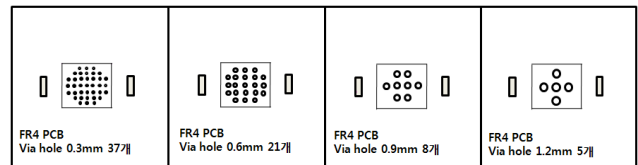
이세일, 이승민, 양종경, 김우영, 박대희
원광대학교

The Analysis of Thermal & Optical Properties in LED Package by the Formation of FR4 PCB

Se-Il Lee, Seung-Min Lee, Jong-Kyung Yang, Woo-young Kim and Dae-Hee Park
Wonkwang University

Abstract - 접합온도의 증가는 PN 접합 부분에서 생성된 열이 외부로 원활하게 방출되는 것을 저하시키고, 칩 내부에 남은 열이 전자와 정공의 비발광 재결합을 증가시켜 LED의 신뢰성과 내구성에 큰 영향을 미친다. 본 논문에서는 PMS-50과 KEITHLEY 2430을 이용하여 FR4 PCB의 Via hole 구성에 따른 LED 패키지의 열적 광학적 특성을 분석하였다. Via hole 0.6 [mm]일 때 열특성과 광 출력 특성이 가장 우수하였으며 Via hole 1.2 [mm]는 열 특성, 광 특성이 가장 떨어졌고, 열 특성은 곧바로 광 특성에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

식적으로 나타내었다.



〈그림 1〉 다른 형태의 PCB 구성

1. 서 론

발광다이오드(Light Emitting Diode : LED)는 1962년 GaAsP 화합물 반도체를 이용하여 처음 소개되었으며 초창기 LED는 낮은 광 효율로 적색의 단순한 색상을 내었으며, 주로 표시용 소자로 사용되었다[1]. 1990년도 후반에 들어서 나카무라 슈지 박사에 의해 GaN 기반의 청색 LED가 개발되었고, 고휘도 청색 LED가 상용화 이루어 짐에 따라, 하나의 칩에 형광체를 접목시키는 방법으로 청색 LED로부터 발산하는 청색광과 그 빛의 일부를 이용해서 Y₃Al₅O₁₂:Ce³⁺(YAG:Ce)형광체를 여기시켜 얻어지는 황색광(560nm)을 사용함으로써 백색을 발산하는 백색 LED가 처음으로 등장하게 되었다[2]. 현재 LED는 실외조명과 광색가변 및 색온도 제어 감성조명 및 경관조명, 다리조명, 분수조명 등 장식용 조명으로 광범위 받고 있으며, 일부 실내조명용 10W 이내의 MR16이나 PAR 형태의 광원과 도로조명의 가로등 및 보안등에 적용 개발되고 있는 실정이다. 그러나 고효율 LED의 경우 인가된 에너지에 대해 통상적으로 20 [%]정도의 광출력과 80 [%] 정도의 열로 전환되며, 그 열에 의한 문제로 인해 고효율 LED의 수명 저하 및 광출력에 직접적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[3]. 특히, LED의 접합온도는 LED 패키지의 열적 성능에 크게 영향을 미치며, 광 출력 또한 접합온도와 밀접한 관련이 있다. 접합온도의 증가는 PN 접합 부분에서 생성된 열이 외부로 원활하게 방출되는 것을 저하시키고, 칩 내부에 남은 열이 전자와 정공의 비발광 재결합을 증가시켜 LED의 신뢰성과 내구성에 큰 영향을 미친다[4].

따라서 본 연구에서는 FR4 PCB에 Via hole을 형성하고 그 구조를 변형시킴으로써 그 성능을 개선하고자 하였다.

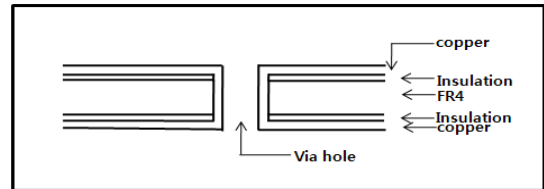
2. 본 론

2.1 실험장치

본 논문에서는 FR4PCB Via hole의 구조에 따른 열적 광학적 특성을 측정하기 위해 적분구 PMS-50과 KEITHLEY 2430을 이용하여 실험 장치를 구성하였다. 적분구를 사용하여 LED 패키지의 광학적 특성을 측정하였으며, KEITHLEY 2430을 통해 정전류 350 [mA]를 인가함으로써 전기적 특성을 측정하였다. 실험에 사용된 LED PKG는 typical Luminous Flux가 105 [lm] at 350 [mA]인 OSRAM사의 Golden Dragon PKG를 사용하였고, LED의 경우 칩생성 과정의 제약으로 인해 소자별 전기적 특성이 다르기 때문에 하나의 LED PKG를 사용해 30분씩 각각의 PCB 모델에 적용하였다. 실험온도는 25 [°C]로 일정하게 유지하였으며 LED PKG의 탈부착시 열 스트레스를 감안하여 LED PKG 부착 후 1시간의 시간적 여유를 두고 실험하였다.

그림 1은 실험에 사용된 샘플로서 FR4 PCB의 Via hole의 구성을 보여주는 것으로서 0.3 [mm] 37개, 0.6 [mm] 23개, 0.9 [mm] 8개, 1.2 [mm] 5개로 구성된 FR4 PCB였다.

그림 2는 FR4 PCB의 구조를 나타내며 Via hole의 형성도



〈그림2〉 FR4 PCB의 via hole 구조

2.2 열 저항

LED를 포함한 전자소자에서 정확하게 열 저항을 측정하는 것은 PKG소자의 열 특성 평가에 있어 가장 중요한 요소이다. 열 저항은 패키지 내부의 반도체 접합부에서 열을 외부로 방출시키는 열전달 능력을 나타낸다. 고효율 LED를 포함한 반도체 소자의 열 저항은 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$R_{\theta JX} = \frac{T_J - T_X}{P_H} \quad (1)$$

여기서 T_J는 안정 상태의 접합부분의 온도를 나타내며, T_X는 반도체 디바이스의 외부 온도, 그리고 P_H는 디바이스에 인가되는 전기적 에너지를 나타낸다. 따라서 열 저항 R_{θJX}는 접합온도와 외부에서의 온도차와 인가되어지는 전기적 에너지의 비율을 나타내며 단위는 [°C/W]이다.

안정상태의 접합부분의 온도 T_J는 식(2)와 같이 정의할 수 있으며 단위는 [°C]이다.

$$T_J = T_{J0} + \Delta T_J \quad (2)$$

여기서 T_{J0}는 디바이스에 전기적 에너지를 인가하기 전의 접합온도를 나타내고, 인가된 전기적 에너지에 의해 변화된 접합부분의 온도를 ΔT_J로 나타내며, 단위는 [°C]로 나타낸다.

열전이 방법에서는 온도 감응 계수를 사용하여 LED에 전기적 에너지가 인가되는 동안 접합온도의 변화를 식(3)과 같이 측정할 수 있다.

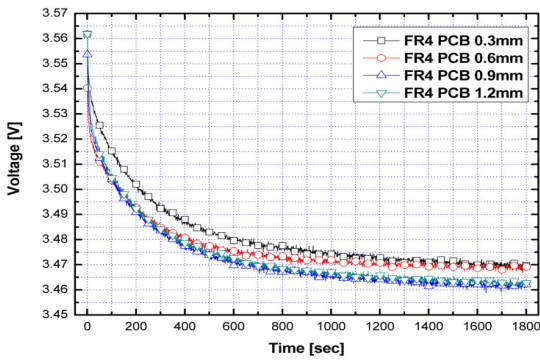
$$T_J = K \times \Delta TSP \quad (3)$$

ΔTSP는 순방향 전압차이를 나타내며 K는 순방향 전압과 소자의 온도에 따른 일정한 비례관계의 기울기를 나타내며 단위는 [°C/mV]이다.

2.3 실험결과 및 고찰

30분간의 전압변화를 측정된 값을 그림3으로 나타내었다. Via hole 0.3 [mm]에서는 3.562 [V]에서 3.470 [V]로, Via hole 0.6 [mm]에서는 3.540 [V]에서 3.470 [V]로, Via hole 0.9 [mm]에서

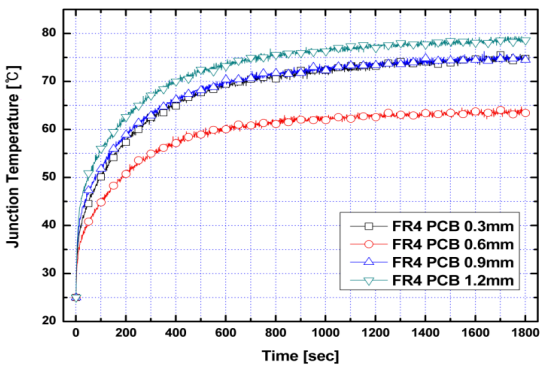
는 3.554 [V]에서 3.462 [V]로, Via hole 1.2 [mm]에서는 3.562 [V]에서 3.463 [V]로 전압이 감소되었다. 이때의 LED PKG의 전압차인 ΔTSP 는 표1로 나타내었다.



<그림3> 시간에 따른 전압변화

<표 1> LED PKG 전압차인 ΔTSP

Via hole size [mm]	0.3	0.6	0.9	1.2
$\Delta TSP[V]$	0.092	0.071	0.092	0.099



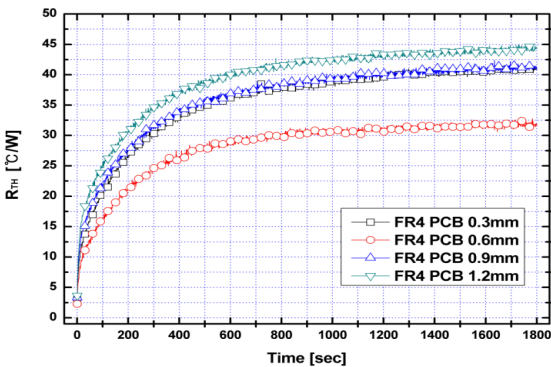
<그림4> 시간에 따른 접합온도 특성

그림 4는 시간에 따른 접합온도의 특성을 나타낸 것으로 식 (3)과 (2)를 통하여 그 특성을 확인하였다. 접합온도는 Via hole 0.6 [mm]에서 63.4 [°C]로 가장 낮은 온도 특성을 보였으며, Via hole 1.2 [mm]는 78.6 [°C]로 가장 높은 온도특성을 나타내었다.

<표 2> FR4 PCB 내부 홀의 Cu 면적

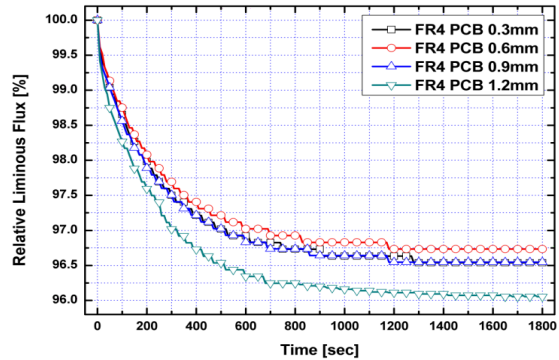
Via hole size [mm]	0.3	0.6	0.9	1.2
Cu Dimension [mm ²]	0.392×10^{-9}	0.445×10^{-9}	0.254×10^{-9}	0.212×10^{-9}

이는 Via hole을 사용한 FR4 PCB의 경우 표 2에서 보는바와 같이 LED PKG의 열이 Via hole의 Cu 표면적 증가를 통해 전도 특성이 개선될 수 있음을 알 수 있다.



<그림5> 시간에 따른 열 저항 특성

그림 5는 시간에 열 저항 특성을 나타낸 것으로 외부온도는 25 [°C]를 기준으로 식(1)을 통해 구할 수 있다. 그림 5에서 보는 바와 같이 Via hole 0.6 [mm]에서 가장 낮은 열저항 특성을 보였다. 따라서 그림 4에서 확인한 것 같이 높은 열저항 특성을 통해 접합온도 특성이 높아짐으로써 열에 의한 스트레스가 증가됨을 알 수 있다.



<그림6> 정규화된 광속 유지율 분포

그림 6에서는 광속유지율에 대해 정규화한 결과이다. 시간에 따라 광속유지율의 경우 지속적으로 감소됨을 확인 할 수 있었다. 결과적으로 열 저항과 비례하여 광출력이 접합온도와 밀접한 관계가 있다는 것을 확인 할 수 있었고, 이는 PN접합 부분에서 생성된 열에 의해 포톤의 생성을 감소시키고 포톤의 생성을 증가시켜 비발광 재결합으로 인해 LED의 효율에 영향을 미치는 것임을 알 수 있다.

3. 결 론

Via hole의 구성에 따른 열적 광학적 특성을 분석하였다. FR4 PCB에 Via hole을 형성하면 Via hole에 둘러 있는 Cu의 면적에 따라 열 특성이 선형적으로 감소하였지만 Air로 채워져 있는 Via hole의 면적에는 직접적인 영향이 없었다. 이는 Air의 열전도도가 Cu의 약 1/100000 밖에 되지 않고 Via Hole과 같이 좁은 공간에서는 대류는 없고 오직 전도도만 열전달이 이루어지기 때문이라 사료된다.

따라서, Cu를 따라 직접적으로 heat sink에 열전달이 되어 Via hole 0.6 [mm]의 경우 열전달 속도가 가장 우수했으며, 이는 우수한 광 출력으로 이어졌다.

[감사의 글]

이 논문은 한국산업기술재단에서 지원하는 "지역혁신인력양성 사업"과 에너지 관리공단에서 주관하는 "에너지 자원기술개발사업"에 의해 지원되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] N. Holonyak Jr. and S. F. Bevaqua, Appl. Phys. Lett, Vol.1, p82 (1962)
- [2] Shuji Nakamura, Takashi Mukai, and Masayuki Senoh, "Candela class high-brightness InGaN/AlGaIn double heterostructure blue light emitting diodes", Applied Physics Letter, 64, p. 1687, (1994)
- [3] Jianzheng Hu, Lianqiao Yang and Moo Whan Shin, "Electrical, optical and thermal degradation of high power GaN/InGaIn light-emitting diodes", J. Phys. D:Appl. Phys. 41 (2008)
- [4] J. D. G. Lacey, D. V. MorGan, Y. H. Aliyu AND H. Thomas. Qual. Reliab. Engng. 16, 45, (2000)