

마이크로솔더링을 이용한 정전류다이오드 회로 자외선 LED 광원모듈 제작

박종민, 유순재^a, 카완 안일

선문대학교 전자공학과

Fabrication Of Ultraviolet LED Light Source Module Of Current Limiting Diode Circuit By Using Flip Chip Micro Soldering

Jong-Min Park, Soon Jae Yu^a, and Anil Kawan

Department of Electronics Engineering, Sunmoon University, Asan 31460, Korea

(Received February 5, 2016; Revised March 20, 2016; Accepted March 24, 2016)

Abstract: The improvement of irradiation intensity and irradiation uniformity is essential for large area and high power UVA light source application. In this study, large number of chips bonded by micro soldering technique were driven by low current, and current limiting diodes were configured to supply constant current to parallel circuits consisting of large number of series strings. The dimension of light source module circuit board was $350 \times 90 \text{ mm}^2$ and 16,650 numbers of 385 nm flip chip LEDs were used with a configuration of 90 parallel and 185 series strings. The space between LEDs in parallel and series strings were maintained at 1.9 mm and 1.0 mm distance, respectively. The size of the flip chip was $750 \times 750 \mu\text{m}^2$ were used with contact pads of $260 \times 669 \mu\text{m}^2$ size, and SAC (96.5 Sn/3.0 Ag/0.5 Cu) solder was used for flip chip bonding. The fabricated light source module with 7.5 mA supply current showed temperature rise of 66°C , whereas irradiation was measured to be 300 mW/cm^2 . In addition, 0.23% variation of the constant current in each series string was demonstrated.

Keywords: Flip-chip LED, UV light source, Micro-soldering, CLD

1. 서론

UVA (자외선 A) 영역 LED (light emitting diode) 광원은 실링, 몰딩, 접합, 건조, 코팅, 검사 등의 공정 및 산업 생산, 특히 각종 디스플레이 기기 생산 공정에 비 발열, 원격 공정, 정밀조사 특성으로의 이용에 대한 관심이 증가되고 있다. 그러나 광 출력 (조사밀도) 고출력화 및 조사밀도의 균일성 특성의 문제로 대면

적 고출력 특성 기기 응용에는 많은 특성의 개선이 요구되고 있다. 특히 고출력 특성을 얻기 위해서는 에너지효율을 향상시키거나 열 방출 문제를 개선해야 한다. 또 조사밀도의 고 균일성을 얻기 위해서는 렌즈의 저 효율 문제를 개선해야만 한다.

본 개발에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 다수의 칩을 배치하여 저 전류에서 구동하는 광원 모듈을 제안한다. 플립칩을 이용하여 다수의 직병렬회로를 구성하고, 정전류다이오드 (CLD)를 이용하여 다수의 직렬 스트링에 정전류를 안정적으로 공급하도록 한다 [1]. 또 마이크로솔더링 기술을 이용하여 칩을 용착하여 열저항 및 신뢰성 특성을 개선하도록 하였다.

a. Corresponding author; sjy@sunmoon.ac.kr

2. 실험 방법

조사기 광원은 모두 5개의 모듈로 구성되는데, 광원의 한 모듈은 $350 \times 90 \text{ mm}^2$ 의 회로기판 크기에 16,650개의 꼭지 파장 385 nm 플립칩 LED를 가로방향 190 μm , 세로방향 100 μm 간격을 가지도록 배치하여 90 병렬 185 직렬로 구성하였다. 이 때 각 직렬 스트링에 7.5 mA 전류로 구동하는 경우, 조사밀도 300 mW/cm^2 , 조사밀도 균일성 99%로 계산되었다.

플립칩은 $750 \times 750 \mu\text{m}^2$ 크기로 하여, $260 \times 150 \mu\text{m}^2$ 로 크기의 전극 패드를 설치하였다. 정전류 다이오드는 10 mA 정격전류 특성을 가지며 무릎 전압 (V_k) 3.5 V, 항복전압(V_b) 50 V인 SMD를 사용하였으며, 용착은 SAC (96.5 Sn/3.0 Ag/0.5 Cu) 솔더를 사용하였다. 광원모듈은 각 병렬스트링의 정전류 안정성, 접착강도 (shear test), 조사밀도 균일성을 조사하였다.

제작한 광원모듈은 핀 길이 5 mm, 높이 30 mm, 간격 10 mm인 $40 \times 20 \text{ cm}^2$ 크기의 방열판에 부착하여 구동하였다.

3. 결과 및 고찰

LED 대형 조사기 광원에서 조사밀도 균일성 및 방열문제를 수반하지 않고 고효율 특성을 얻을 수 있는 방안으로 다수의 LED 칩을 사용하는 방법이 있다 [2]. 보통 저 전류 영역에서 구동하는 LED에서 발광효율은 전류밀도가 감소함에 따라 지수 함수적으로 증가하는 것이 알려져 있다 [3]. LED 칩의 접합 면적을 비슷하게 하여, 즉 한 개의 $0.6 \times 0.6 \text{ mm}^2$ 의 칩과 세 개의 $0.35 \times 0.35 \text{ mm}^2$ 칩 들을 제작하여, 각각 60 mA와 20 mA로 구동할 때, 동일 면적으로 환산하면, 출력광속이 후자의 경우에서 18 lm, 전자의 경우 13.5 lm으로 나타나 후자의 세 개의 작은 칩을 구동하는 경우 약 33% 발광효율의 증가가 생긴다 [2]. 여기에서는 다수의 칩을 회로기판에 용착 (솔더링/공정 본딩)하기 위해 신뢰성을 고려하여 $750 \times 750 \mu\text{m}^2$ 크기의 플립칩 [4]을 제작하였다.

표 1에 마이크로솔더링 법으로 회로기판에 용착하기 위해 제작한, 꼭지파장 (W_p) 385 nm 플립칩의 발광 특성을 나타내었다.

한 모듈에 16,650개의 칩을 사용하였으며, 다수 병렬회로에서 전류 안정성을 확보하기 위해 가능한 동작 전압 (V_f) 값의 편차가 작은 칩들을 사용하였다.

Table 1. Optical properties of the fabricated 385 nm wavelength flip chip LED.

Min	V_f		P_o	$\Theta_{1/2}$	W_p	W_d
	Avg	Max				
3.19	3.19	3.20	61.72	137	389.65	441.69

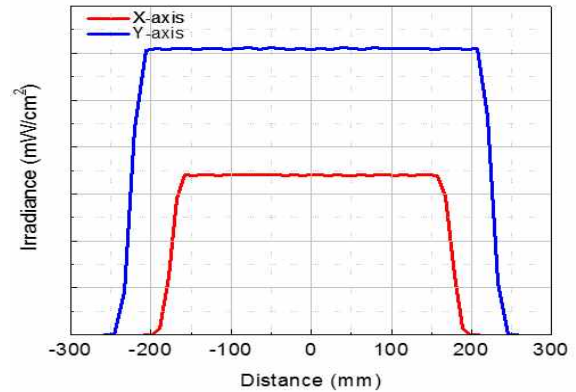


Fig. 1. Uniformity analysis of light source module using light tools simulation.

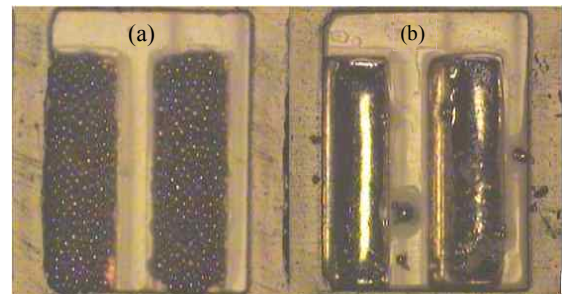


Fig. 2. Microscope image of SAC solder (a) after screen printing and (b) reflow at 235°C for 180 sec.

그림 1은 균일성을 확보하기 위한 시뮬레이션 결과를 나타내었다. $350 \times 450 \text{ mm}^2$ 크기의 회로기판에 가로방향 190 μm , 세로방향 100 μm 간격을 가지도록 16,650개의 플립칩 LED를 90 병렬 185 직렬로 배치하여 'LightTools 5.1.0'을 이용하여 조사밀도의 세기 및 균일성을 조사하였으며, 조사밀도 99%의 균일성을 가지도록 설계하였다. 이 때 각 직렬 스트링에 7.5 mA 전류로 구동되었으며, 조사밀도 300 mW/cm^2 를 나타냈다.

그림 2에 마이크로 솔더링법으로 플립칩을 용착하기 위해 회로기판에 제작한 솔더볼 사진을 나타내었다. 솔더 랜드는 p, n 전극패드 크기 $260 \times 150 \mu\text{m}^2$ 와 동일하게 제작하였으며, 솔더 볼의 크기는 $260 \times 150 \times 50 \mu\text{m}^3$ 로,

Table 2. Result of the measured shear test for SAC solder paste and Ag paste.

	Sample 1 (kgf)	Sample 2 (kgf)	Sample 3 (kgf)	Average (kgf)
SAC	3.934	4.102	4.086	4.040
Ag paste	1.610	1.493	1.497	1.533

스크린프린팅 후 235°C에서 180 초 동안 열처리하여 형성하고, 플립칩은 다시 235°C에서 180 초 동안 열처리하여 용착하였다. 칩 본딩 실장의 정밀도가 μm 단위의 오차를 가지는데 비하여, 열처리 과정에서 자기정렬 특성으로 매우 정밀한 장착되었으며, 실장 칩의 균일도는 95%를 나타냈다.

표 2에 SAC Solder Paste의 접착 강도를 나타내는 절단력(휰어) 측정값을 나타내었다. 비교를 위해 일반적으로 사용하고 있는 Ag Paste의 절단력을 동시에 측정하였다. SAC Solder의 절단력은 4.040 kgf로 측정되었으며, Ag Paste 접착에서는 1.533 kgf로 비교적 낮은 값이 측정되었다. 또 다른 접착재료로서 Au/Sn이 사용되는데 절단력 시험에서 2.495 kgf의 세기를 가지는 것으로 평가되었다 [4]. 따라서 비용에 비하여 접착 강도는 열등하다는 점을 알 수 있으며, SAC Solder Paste는 사용이 편리하고 또 용이하다는 이점이 있으며, 접착강도 또한 Ag Paste의 2.7배로 매우 우수함을 알 수 있다 [6].

Solder Paste의 열특성을 조사하기 위하여 Al 금속 회로기판에 SAC Solder Paste와 비교를 위하여 Ag Paste로 광원모듈을 제작하였다. 그림 3은 각각의 광원모듈의 열저항 특성을 측정된 것이다. 열저항 특성은 'T3ster' 장치를 이용하였다. SAC Solder Paste의 열저항은 4.55 K/W로 측정되었는데, SMD (표면실장소자) 리드프레임 실장 방법에 일반적으로 사용되고 있는 Ag Paste가 11.9 K/W를 나타내므로, 약 2.6배 낮은 열저항을 가지는 것을 알 수 있다.

정전류 다이오드를 이용하는 정전류 회로 광원모듈의 전기적 특성을 조사하였다. 많은 수의 칩을 장착하여 직병렬 회로를 구성하는 경우, 보통 비용상의 정전류 구동의 어려움이 있다. 각각의 많은 수의 병렬 라인을 동일한 값의 정전류로 구동하기 위해서는 많은 수의 정전류 전원이 필요하기 때문이다. 여기에서는 225개 병렬 라인에 15개의 LED를 직렬로 연결하여 36 mA로 구동하는 회로와, 14개의 병렬 라인에 79개의 LED를 직렬로 연결하여 각 라인에 평균 105 mA로

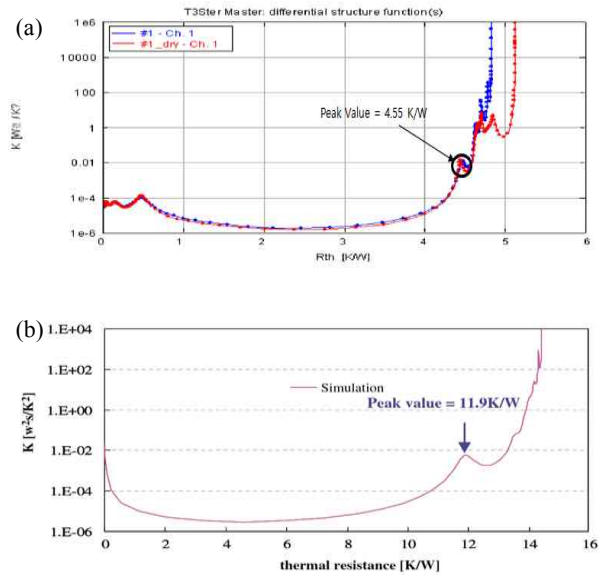


Fig. 3. Thermal resistance of (a) SAC solder paste (b) Ag paste.

구동되도록 설계한 각각 두 개의 회로모듈을 제작하였다. 전자에서는 각각의 병렬 라인에 정격 18 mA의 정전류 다이오드를 두 개씩 병렬로 연결하여 36 mA 정전류 회로를 다시 LED에 직렬로 연결하였다.

그림 4에는 각 제작한 회로에서 전류, 전압 및 온도 특성을 나타내었다. 각각의 광원 회로모듈은 12 V-530 mA에서 490 RPM으로 동작하는 $80 \times 80 \text{ mm}^2$, 두께 38 mm 크기의 팬으로 각각 3 개가 방열에 사용되었다. 그림에서 알 수 있듯이 정전류다이오드를 이용하는 광원 회로모듈 4-a에서 전류 및 온도의 변화가 안정적인데 비하여, 정전압으로 구동하는 4-b의 회로에서 전류 및 온도가 계속적으로 변하며, 또 변화가 폭이 4-a 정전류다이오드 회로에 비하여 크다는 점을 알 수 있다. 이 때 각각 구동전력은 4-a 광원회로에서 $59.4 \text{ V} \times 6,700 \text{ mA}$, 398.3 W, 4-b 광원회로 모듈에서 $266.5 \text{ V} \times 1,517.5 \text{ mA}$, 404.4 W를 나타내었다. 온도 변화량을 정확하게 측정하기 위해, 측정 조건을 동일하게 별도의 10회 정도의 정밀한 온도변화량을 측정된 결과, 4(a) 광원이 1°C 내외의 온도변화를 보이는데 비하여 4(b)에서는 4°C 정도의 온도 변화폭을 나타내었다. 또 4(a) 광원회로에서 사용한 정전류 다이오드는 V_k 와 I_p 는 각각 4.6 V, 18 mA이다. LED와 같은 점광원 특성을 가지는 광소자를 사용하여 대면적의 광원 및 고 출력밀도, 고 균일성 특성을 얻기 위한 좋은 방법으로 저 전류-고효율 특성 및 다수 칩 실장기술을

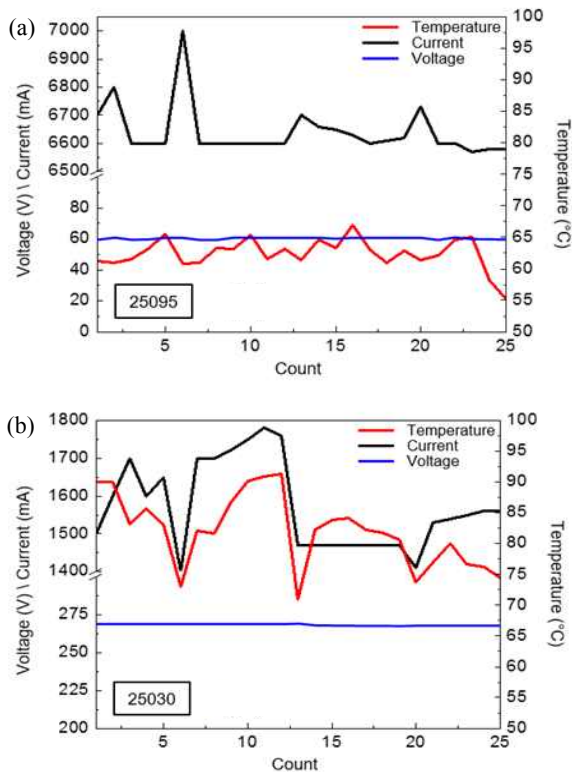


Fig. 4. Electrical characteristics of (a) constant current supply circuit module using CLD and (b) constant voltage supply circuit module.



Fig. 5. Fabricated $350 \times 90 \text{ mm}^2$ size light source module in operation.

이용하는 방법이 매우 유리하다는 점을 알 수 있다. 또 다수의 정전류 전원을 필요로 하는 경우, 정전류 다이오드를 이용하는 광원 회로모듈은 제작비용을 감안하면 쉽게 대체할 수 있는 기술로 생각된다.

그림 5에 제작한 광원모듈의 구동 사진을 나타내었다. 7.5 mA 구동에서 66°C 를 나타냈으며, 이때 조사 밀도는 300 mW/cm^2 로 측정되었다. 조사밀도 강도의 균일성은 95%를 나타내었다. 또 각 직렬 LED 스트링에 정전류 값의 편차는 0.23%를 나타내었다.

4. 결론

300 mW/cm^2 고출력 조사밀도 및 95% 조사밀도의 균일성 특성을 가지는 대면적의 UVA 영역 LED 조사기 광원모듈 제작하였다. 조사밀도 균일성 특성을 개선하기 위하여 다수 칩 실장 방법을 고안하여, 저전류에서 구동하여 에너지 효율을 개선하고 열 문제의 개선하였다. 또 마이크로 솔더링법을 이용하여 플립칩을 제작하고, 정전류 다이오드를 이용하는 병렬회로를 구성하는 광원을 제작하였다.

제작한 $350 \times 90 \text{ mm}^2$ 의 광원모듈에서 조사밀도 300 mW/cm^2 의 조사밀도와 조사밀도 균일성 95% 특성을 얻었다.

$750 \times 750 \mu\text{m}^2$ 크기에 전극패드의 크기 $260 \times 150 \mu\text{m}^2$ 크기의 플립칩을 SAC 마이크로 솔더링으로, 절단력 4 kgf의 매우 높은 값을 나타내었으며, 이 때 열저항 특성은 4.55 K/W을 얻을 수 있었다. 광원모듈의 열특성은 16,650개 칩을 7.5 mA로 구동하는 광원모듈에서 66°C 를 나타냈다.

정전류다이오드를 이용한 225 라인 병렬회로에 36 mA로 구동하는 광원모듈의 전기적 특성은 정전압으로 구동하는 회로에 비하여 전류 및 온도가 더 안정적으로 작동하는 점을 알 수 있다.

REFERENCES

- [1] H. J. Park, S. J. Yu, J. M. Park, and Y. J. Kim, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **26**, 488 (2012). [DOI: <http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2013.26.6.488>]
- [2] S. J. Yu, D. H. Kim, Y. S. Choi, and H. T. Kim, *Journal of Information Display*, **10**, 49 (2009).
- [3] N. Yamada, *Applied Physics*, **68**, 139 (1999).
- [4] H. H. Kim, S. H. Choi, S. H. Shin, Y. K. Lee, S. M. Choi, and S. Yi, *Microelectronics Reliability*, **48**, 445 (2008). [DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.microrel.2007.08.009>]
- [5] H. J. Park, S. J. Yu, K. Anil, Y. G. Yi, J. H. Kim, and T. S. Han, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **25**, 723 (2012). [DOI: <http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2012.25.9.723>]
- [6] J. L. Aw, S. C. Chong, D. I. Cereno, K. H. Teo, V. S. Rao, *Electronics Packaging Technology Conference IEEE*, **15**, 219 (2013).