

LED의 고출력화를 위한 멀티 칩 설계 연구

정학근, 정봉만, 한수빈, 송유진, 박석인
한국에너지기술연구원

A Study on the Multi-chip Design for the High Power Package

Jeong Hak Geun, Jung Bong Man, Han Soo Bin, Song Yujin, Park Sukin
Korea Institute of Energy Research

1. 서론

LED는 1960년대 초에 적색 LED가 처음으로 개발된 이후 약 40년이 지난 지금은 빛의 삼원색인 적색, 녹색, 청색뿐만 아니라, 모든 가시광선 영역의 LED를 얻을 수 있게 되었다. 각각의 적색, 녹색, 청색의 LED를 조합하거나, 청색계열의 칩에 형광체를 적용하는 방법, 그리고 자외선 칩에 적색, 녹색, 청색 형광체를 적용하는 방법들을 통하여 백색 LED의 구현이 가능하게 됨에 따라 차세대 조명기기로서의 LED의 응용이 가능하게 되었으나 보편적으로 많이 사용되고 있는 LED는 기본적으로 0.3×0.3 [mm²]의 크기를 갖고 있으며 이에 따른 칩당 출력이 작으므로 조명용 광원으로 사용되기 위해서는 높은 출력을 낼 수 있는 고휘속 및 고출력 LED의 개발이 필요하게 되었다. 이를 위하여 루미네즈(Lumileds)사를 시작으로 많은 기업체 및 연구 기관에서 칩의 크기를 키우는 방법 및 칩의 형상을 변경하는 방법 등으로 고출력화를 이루고자 하였다. 그러나 칩의 크기를 키우는 것과 형상을 변경하는 방법에는 한계가 있고, 또한 칩의 크기를 확대하는 방법에 비해 멀티 칩을 통한 고출력화 방안은 열적으로 보다 안정하여, 효율 및 수명 등에 있어서 보다 유리하기 때문에 본 논문에서는 멀티 칩 개념의 LED 램프 설계기술에 대한 연구를 수행하였다.

2. 멀티 칩 LED 램프의 설계

2.1 LED 칩의 선정

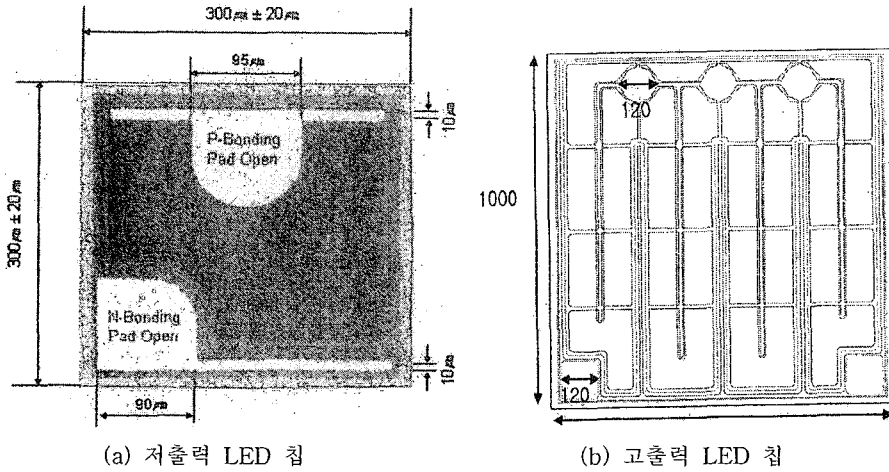
고출력의 멀티 칩 LED 램프를 개발하기 위해서는, 어떠한 칩을 사용하여 시제품을 제작할 것인지를 결정해야 하는데, 현재 LED 칩은 국내외에서 다양하게 생산되고 있으나, 대략적으로 저출력 LED용으로 생산되는 소형의 칩($0.3\text{mm} \times 0.3\text{mm}$)과 고출력용으로 생산되는 대형의 칩($1\text{mm} \times 1\text{mm}$)의 2가지의 형태로 구분할 수 있다.

두 가지 형태의 칩들 중에서 어떤 형태의 칩을 사용하여 멀티 칩으로 집적하는 것이 유리한지에 대하여 평가할 필요가 있다. 그 이유는 LED는 열적인 특성에 따라서 효율, 수명 등의 문제가 많이 발생하므로 어떤 칩을 사용하는 것이 이러한 문제에 가장 적합한지를 평가하는 것은 고출력 LED 램프의 설계 및 제작에 있어서 중요한 설계기준이 된다.

두 가지 형태의 칩의 발열 및 광학특성을 평가하기 위해서는 먼저 동일 조건의 칩을 선정하는 것이 중요하였다. 이러한 조건의 칩을 얻기 위하여 유기금속 화학 기상 증착법(Metal-Organic Chemical Vapor Deposition)을 통해 동일한 공정으로 460nm의 청색 LED를 국내의 반도체 생산업체를 통하여 제작하였고, 이 웨이퍼를 통하여 $0.3\text{mm} \times 0.3\text{mm}$ 의 크기의 칩과 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 의 칩을 구하였다.

저출력용의 소형 칩은 [그림 1]의 (a)에서 보는 것과 같이 가로와 세로가 $300\mu\text{m} \pm 20\mu\text{m}$ 이고, 고출력용 대형 칩인 [그림 1]의 (b)는 가로와 세로가 각각 $1000\mu\text{m} \pm 20\mu\text{m}$ 로 제작되었다.

그리고 각각의 칩의 두께 및 전극의 재질 등은 <표 1>에 정리하였다.



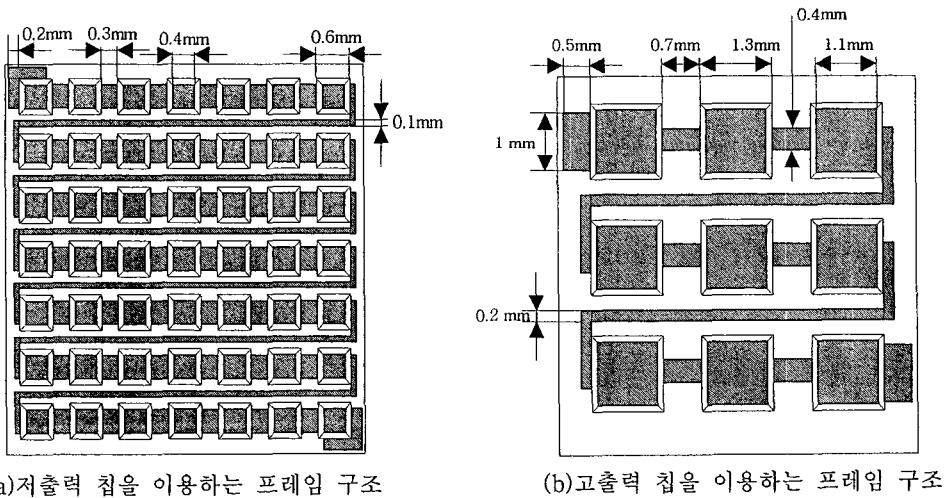
[그림 1] LED 칩의 구조

<표 1> LED 칩의 사양 및 스펙

구분	Chip Size	Chip Thickness	P-Bonding Pad	N-Bonding Pad
소형 칩	300µm±20µm	80µm±20µm	Gold, 95µm	Gold, 95µm
대형 칩	1000µm±20µm	80µm±20µm	Gold, 120µm	Gold, 120µm

2.2 리드 프레임의 설계 및 제작

동일 패키징 조건에서 멀티 칩 LED의 특성을 비교하기 위하여 반도체 제조 공정을 통하여 실리콘 웨이퍼를 가공하고, 직·병렬 패턴의 전극을 형성한 리드 프레임을 [그림 2]와 같이 설계하고 제작하였다.



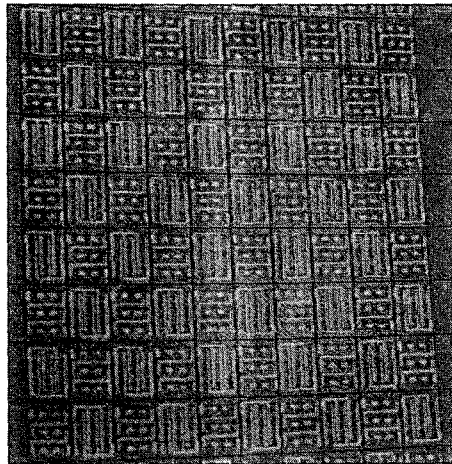
[그림 2] 멀티 칩용 리드 프레임 설계 사양

[그림 2]에서 보면 녹색으로 표시된 부분은 LED 칩이 마운트되는 부분이고, 옅은 검정색으로 패턴을 형성하고 있는 부분이 금(Gold)으로 형성된 전극의 모습이다. 프레임의 전체 크기는 가로와 세로 모두 6.5mm이고, 칩이 마운트 되는 부분은 100 μ m 깊이로 파여져 있고, 전체 두께는 500 μ m로 <표 2>의 공정 순서로 제작하였다.

<표 2> 리프 프레임의 제작 공정

순서	사용장비	공정조건	비고
1	Wet Station	Clearing	
2	Aligner (MA-6)	Mask 1	메탈 라인 형상화
3	Metal deposition	Ti/Au = 500/5000 A	
4	Wet Station	Lift-Off	
5	TEOS dep.(P5000)	1 μ m	Deep etch mask용
6	Aligner (MA-6)	Mask 2	Si 구조 형상화
7	TEOS dep.(P5000)	1 μ m	Deep etch mask 형성
8	Asher(V-15G)	PR ashing	PR 제거
9	Deep si etcher	100 μ m	Si 구조 형성
10	TEOS dep.(P5000)	1 μ m	TEOS 제거

멀티 칩 LED 램프의 제작을 위한 리드 프레임은 [그림 2]의 (a)의 형태로 설계된 저출력 칩을 사용하는 멀티 칩 램프용 리드 프레임은 최대 49개의 칩을 마운트할 수 있도록 한 구조이고, [그림 2]의 (b)는 고출력 칩을 사용하는 멀티 칩 램프용 리드 프레임으로 최대 9개를 집적할 수 있도록 하였다. [그림 3]은 <표 2>의 공정을 통하여 실리콘 웨이퍼에 제작된 리드 프레임의 사진이다.

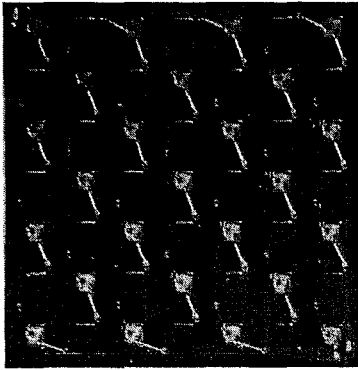


[그림 3] 멀티 칩용 LED 리드 프레임의 사진

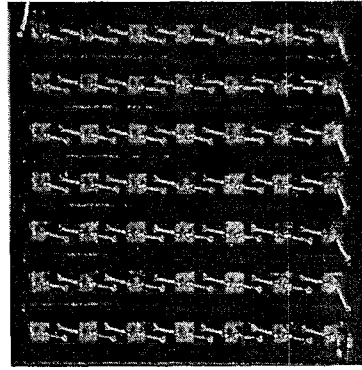
3. 시제품 제작 및 성능평가

3.1 멀티 칩 LED 램프의 제작

동일한 조건으로 제작된 LED 칩과 반도체 제조 공정을 통하여 제작한 실리콘 리드 프레임을 이용하여 LED 램프를 제작하였다. 소형 칩을 이용한 LED 램프는 최대 49개까지 집적될 수 있는 구조로 제작되어 있어, 25개 와 49개 두 가지 형태의 램프를 제작하였다.



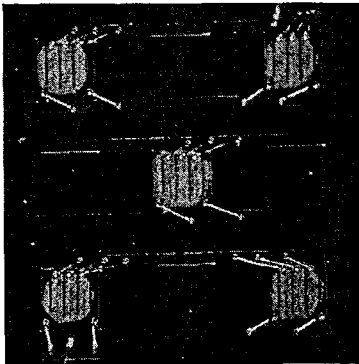
(a) 25개 LED 램프



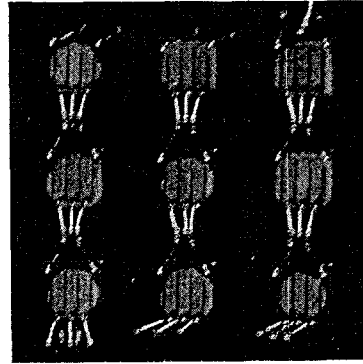
(b) 49개 LED 램프

[그림 4] 소형 칩이 리드 프레임에 장착된 모습

고출력으로 제작된 대형 칩을 이용한 LED 램프는 5개, 9개 두 가지 형태의 램프를 제작하였다. 칩과 전원을 공급하는 리드를 가는 와이어로 본딩하였기 때문에 와이어나 리드 프레임에 충격이 가해지면 접착이 끊어 질 우려가 있으므로, 에폭시를 이용하여 견고하게 부착하였다.



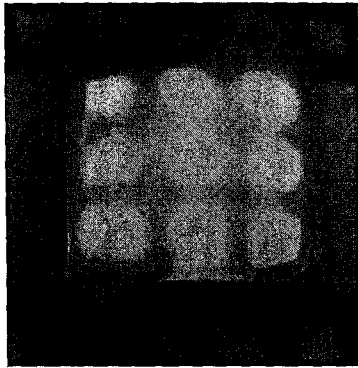
(a) 5개 LED 램프



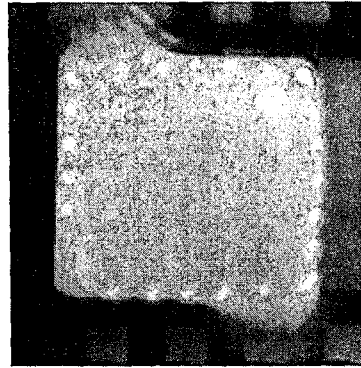
(b) 49개 LED 램프

[그림 5] 대형 칩이 리드 프레임에 장착된 모습

[그림 6]은 최종적으로 제작된 다양한 LED 램프 시제품의 모습으로, 빛을 최대한 흐리게 하여 사진을 촬영한 모습이다. [그림 6]의 (a)는 고출력용으로 사용되는 대형 칩이 사용된 램프로, 9개의 칩이 집적된 LED 램프이다. [그림 6]의 (b)는 저출력용으로 사용되는 소형 칩을 사용하여 49개의 칩을 집적한 램프의 모습이다.



(a) 9개 칩 LED 램프



(b) 49개 칩 LED 램프

[그림 6] 다양한 형태의 멀티 칩 LED 램프

3.2 LED 램프 시제품의 성능평가

동일 공정에서 만든 칩과 동일 패키징을 적용하여 제작한 다양한 시제품을 전류를 변화시키면서 전압, 소비전력 및 광속을 측정하고 접합면의 온도를 예측하는 과정으로 성능시험을 수행하였다. 시제품의 성능평가는 항온조, 온도계, 광도계 및 전원 공급장치로 구성되는 설비를 이용하여 <표 3>, <표 4>, <표 5> 및 <표 6>에 정리된 것과 같이 각각의 시제품에 대하여 전류, 전압, 전력의 전기적 특성, 광속 및 광효율의 광학적 특성을 먼저 측정하고, LED는 온도에 따라서 전압-전류 특성곡선이 변화되는 성질을 이용하여 LED 칩의 온도를 예측하고, [그림 7]과 같이 정리하였다.

최종적으로 얻고자 하는 결과는 다양한 종류의 시제품 중에서 열적으로 가장 우수한 성능을 나타내는 조건을 찾고자 하는 것이다.

<표 3> 25개 칩 사용 LED 램프의 성능시험 결과

전류[mA]	전압[V]	광속[pA]	온도[C]	전력[mW]	광효율[pA/mW]
100	3.02	206	67.2	302.0	0.68
120	3.10	237	77.0	371.6	0.64
140	3.19	265	78.2	446.1	0.59
160	3.26	293	87.7	522.1	0.56
180	3.31	317	115.5	595.8	0.53
200	3.39	338	122.2	678.0	0.50

<표 4> 49개 칩 사용 LED 램프의 성능시험 결과

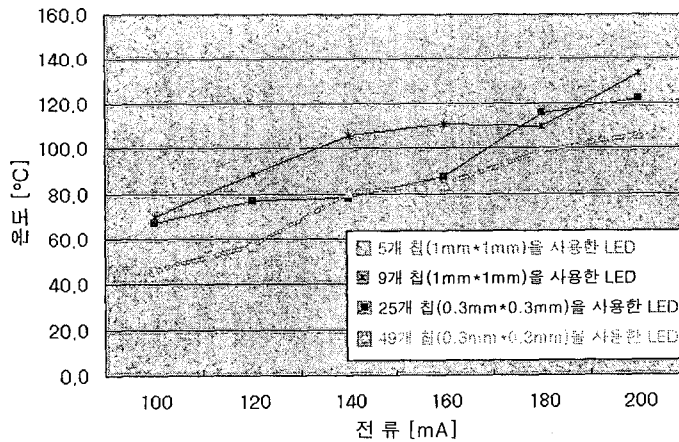
전류[mA]	전압[V]	광도[pA]	온도[C]	전력[mW]	광효율[pA/mW]
100	2.99	188	46.4	298.8	0.63
120	3.06	218	57.2	367.2	0.59
140	3.12	247	80.4	436.1	0.57
160	3.20	271	84.2	511.6	0.53
180	3.27	295	98.6	587.7	0.50
200	3.34	312	105.9	668.5	0.47

<표 5> 5개 칩 사용 LED 램프의 성능시험 결과

전류[mA]	전압[V]	광도[pA]		온도[C]		전력[mW]		광효율[pA/mW]	
100	3.00	285	100%	81.6	100%	299.5	100%	0.95	100%
120	3.03	330	116%	97.7	120%	363.9	122%	0.91	95%
140	3.09	370	130%	102.7	126%	433.0	145%	0.85	90%
160	3.15	410	144%	108.1	132%	504.4	168%	0.81	85%
180	3.17	448	157%	138.9	170%	569.7	190%	0.79	83%
200	3.23	484	170%	145.4	178%	645.0	215%	0.75	79%

<표 6> 9개 칩 사용 LED 램프의 성능시험 결과

전류[mA]	전압[V]	광도[pA]		온도[C]		전력[mW]		광효율[pA/mW]	
100	2.93	281	100%	69.7	100%	292.5	100%	0.96	100%
120	2.94	334	119%	88.5	127%	353.1	121%	0.95	99%
140	2.97	376	134%	105.4	151%	415.1	142%	0.91	95%
160	3.02	421	150%	110.8	159%	482.4	165%	0.87	91%
180	3.08	462	165%	109.6	157%	554.4	190%	0.83	87%
200	3.09	503	179%	132.8	190%	618.5	211%	0.81	85%



[그림 7] 시제품의 접합면의 온도 특성

4. 결론 및 향후 계획

멀티 칩 반도체 광원 개발을 위한 요소기술 확보를 위해 멀티 칩 LED 램프의 시제품 제작 및 성능평가를 통하여 고출력화에 적합한 LED 램프 설계기술을 성공적으로 확보하였다. [그림 7]에서 알 수 있듯이 같은 소비전력의 조건에서 LED 램프의 온도 특성은 고출력용 대형 칩을 이용한 램프보다 저출력용 소형 칩을 이용한 램프의 온도가 낮은 것을 볼 수 있다. 따라서 고출력화를 위한 LED 램프의 설계는 소형 칩을 활용한 멀티 칩 램프를 설계하는 것이 열적으로 우수하다는 결과를 얻을 수 있었다.