

LED 방열 효율 향상용 사파이어 기판 나노 패터닝 연구

The study of nano patterning on sapphire substrate for LED thermal efficiency

*강호주¹, #정명영¹

*H. J. Kang¹, #M. Y. Jeong(myjeong@pusan.ac.kr)¹

¹부산대학교 인지메카트로닉스공학과

Key words : LED, NIL, Thermal extraction efficiency, Nano pattern

1. 서론

조명으로 LED를 사용시에 가장 큰 문제는 LED의 가격이 기존 조명 대비 20배 이상 비싸 가정 및 사무실용으로는 사용되는데 경제적인 부담이 있다는 것이다. 저비용의 고효율 LED를 구현하여 조명용 LED를 개발 하기 위해서는 광 효율 개선 및 그 방열 시스템 연구 개발에 주력해야 한다.^{1,2}

LED의 효율을 높이기 위해 많은 연구가 진행되어 왔으며 그 중에서 PSS(Patterned Sapphire Substrate)는 광 추출 효율 증대뿐 아니라, 사파이어 기판 위에 에피층 성장 시 결함 감소 현상에 의한 내부 양자 효율의 증대 효과도 얻을 수 있다는 연구결과가 나와있다.^{1,2,3}

본 연구에서는 방열 효율을 높이고자 사파이어 기판의 하부에 패턴을 형성하는 구조를 제안하였으며, 방열 효율의 향상 정도를 알아보기 위해서 Comsol의 Heat transfer 시뮬레이션을 이용하여 사파이어 기판의 하부 패턴으로 인한 방열 효율의 특성을 파악하였다. 설계된 패턴을 대면적 공정에 유리한 나노 임프린트 리소그래피 방법을 이용하여 사파이어 기판에 패턴을 형성하는 공정을 연구하고 실제 LED 샘플을 제작하여 효율 향상 정도를 알아보았다.

2. Simulation

현재 주류를 이루고 있는 LED 램프들은 대부분 surface mount technology(SMT:표면실장기술) 공정을 적용하고 있는데, SMD(surface mount device:표면실장부품)형 LED 램프가 MCPCB(metal core printed circuit board:금속기반회로기판) 기판 위에 부착된 구조를 들 수 있다. 이 구조는 현재 주로 사용되고 있는 고효율 LED 패키지 구조의 일반적

인 형태 중 하나라고 할 수 있는데, 열해석을 위해서는 Fig. 1에 보인 바와 같이 좀더 단순화 시킨 구조를 사용하였다. Comsol의 Heat transfer module을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였고 시뮬레이션에 사용된 LED 소자의 크기는 300 μ m \times 300 μ m 이며, 1W의 발열체로 가정하였다. 또한 MCPCB의 사이즈는 40mm(가로) \times 40mm(세로) 금속의 두께는 1.5mm로 설정하였다. LED에서 일반적인 냉각 방법인 자연 대류에 의한 영향을 고려하여 LED 소자 표면과 대기(atmosphere) 사이의 자연대류를 가정하여 10 W/m² \cdot k의 열전달계수를 설정하였다.

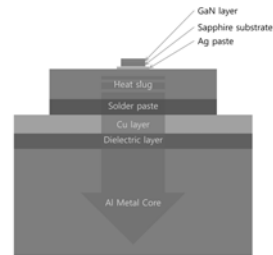


Fig.1 LED의 단순화 모식도

패턴이 없는 일반적인 LED 소자의 열 특성으로 130.34 $^{\circ}$ C까지 온도가 상승한 것을 볼 수 있으며 사파이어 기판의 하부에 패턴을 형성한 LED 소자의 경우 128.58 $^{\circ}$ C로서 약 1.7 $^{\circ}$ C의 온도차가 발생하는 것을 알 수 있다. 이것은 300 μ m \times 300 μ m의 작은 크기의 LED 소자임을 감안할 때 대면적화에 의한 패턴의 열 소산 특성 향상 정도가 더욱 커질 것으로 예상된다.

3. Nano Imprint Lithography

NIL(Nano imprint lithography)방법을 이용하여 설계된 패턴을 사파이어 기판에 형성하였다. NIL 공정은 Thermal과 UV resist를 이용하여 수행하였

으며, 레지스트(resist)는 스핀 코팅(spin coating) 공정을 통해 3000~6000rpm의 속도로 도포를 하였다. NIL 공정 압력으로 3~60bar를 주었다. Demolding 온도로서 70°C로 식힌 후에 스탬프를 제거 하였다. 사용된 스탬프는 600nm직경에 300nm의 깊이를 가진 원기둥형 패턴을 가진 Si 몰드(mold)와 이를 전사한 PDMS 몰드, 2가지를 사용하여 공정을 진행 하였다.

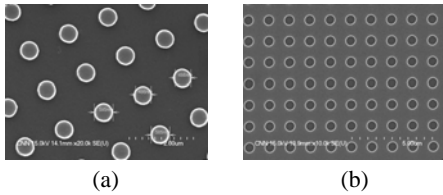


Fig. 2 사파이어 기판의 패턴 SEM 사진 using (a)Si mold (b) PDMS mold

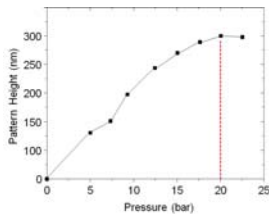


Fig. 3 NIL공정 후 공정 압력에 따른 패턴 높이

원하는 두께의 도포 및 패턴을 성형시키기 위해서 Thermal resist를 300nm두께로 도포한 이후 120°C에서 5분간 가경화 하였으며 200도에서 8분을 경화 시켰고 압력은 Fig. 4에서 보여지듯이 20bar를 주었을 때 Fig.2 (a)과 같이 585nm의 직경을 가진 패턴을 형성할 수 있었다. 양각형태의 패턴을 가진 PDMS 몰드를 이용하여 Fig. 5와 같이 패턴을 형성하였다. UV resist를 300nm로 도포한 이후 80°C에서 4분간 가경화를 하였으며 UV를 60초간 조사를 하였다. 공정 압력은 20bar를 주었고 Demolding 온도로서 70°C로 식힌후 제거 하였다.

Table. 2 LED 샘플의 I/V 특성 및 열저항특성

	입력전압 [V]	입력전류 [mA]	열저항 [W/K]
Normal	3.441	350	27.49
PSS	3.311	350	22.54

패턴이 형성된 사파이어 기판을 ICP를 이용한

식각공정을 거치고 MOCVD, 패키징 공정을 통해 LED 소자 샘플을 제작하여 열 저항값을 측정하였다. Table, 2에서 보여지듯이 열저항에서 약 4.5K/W의 열적 특성이 향상 된 것을 확인 하였다.

4. 결론

패터닝에 의한 LED 기판의 방열 효율을 증가시키기 위한 방법을 모색하고 이를 위해 Comsol의 Heat transfer 시뮬레이션을 이용하였으며 열 소산 특성의 변화를 확인하였다. 350mA 전류를 인가하여 각각의 구동 전압을 측정한 결과 일반적인 LED의 경우 약 3.45V 수준이었으며 패턴이 형성된 LED소자의 경우 약 3.31V 수준의 구동전압을 나타내었다. 패턴의 유무에 따른 발광 출력 특성을 비교한 결과 350mA의 전류에서 열저항 값은 약 27.49 K/W로 나타났으며 사파이어 기판의 하부에 패턴을 형성한 LED 소자의 열저항 값은 22.94 K/W로 나타났다. 두가지 Sample LED 소자를 비교하면 열저항에서 약 4.5 K/W의 열적 특성이 향상된 것을 알 수 있었다. 패턴을 형성하면 그 모양에 따라 접촉면의 표면적이 늘어나 열저항이 줄어드는 것으로 판단된다. 일반적인 LED에 비해 패턴된 LED는 열저항에서 4.5K/W의 열적특성 향상을 보이며 사파이어 기판의 하부 패턴에 의한 LED 효율 향상 효과가 유효함을 확인하였다.

후기

본 연구는 중소기업청한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 세계 수준의 연구중심대학육성사업(WCU)(R31-20004)의 지원을 받아 수행하였음.

참고문헌

1. 강태규, 박성희, 장일순, 김인수, 한동원, "녹색 성장 LED 융합 기술 동향 분석", 전자통신동향 분석, 제24권, 제5호, 30~37, 2009.
2. 백중협, "LED 기술과 산업 동향", 조명, 전기 설비학회지, 제17권, 제5호, 21~30, 2003.
3. J. B. Kim, S. M. Kim, Y. W. Kim, S. K. Kang, S. R. Jeon, N Hwang, Y. J. Choi and microstructure of Mg-doped AlGaIn grown on patterned sapphire, "Light Extraction Enhancement of GaN-Based Light-Emitting Diodes Using Volcano-Shaped Patterned Sapphire Substrates," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 49, 042102, 2010.