변형된 칩 구조를 이용한 LED에서의 발광효율 개선

Efficiency Improvement in LEDs Based on Geometrically Deformed Chip Structures

송석원, 이성재
충남대학교 전자공학과
e-mail주소 : sjlee@hanbat.chungnam.ac.kr

요 약

일본의 Nichia Chemical사에 의해 고휘도 청색 LED(Light Emitting Diode)가 개발된 이후, 현재 고휘도 LED는 옥외용 대형 전광판 등에 대량으로 사용되고 있으며 최근에는 이를 이용한 교통 신호등이 가시화되고 있다. 기존의 LED 칩들은 대부분 그림 1(a)에 보인 바와 같은 정방형 칩 구조를 그 기본으로 하고 있는데, 칩의 단면 구조는 그림 1(b)에 보인 바와 같다. 기존의 고휘도 LED에서는 칩 내부에서

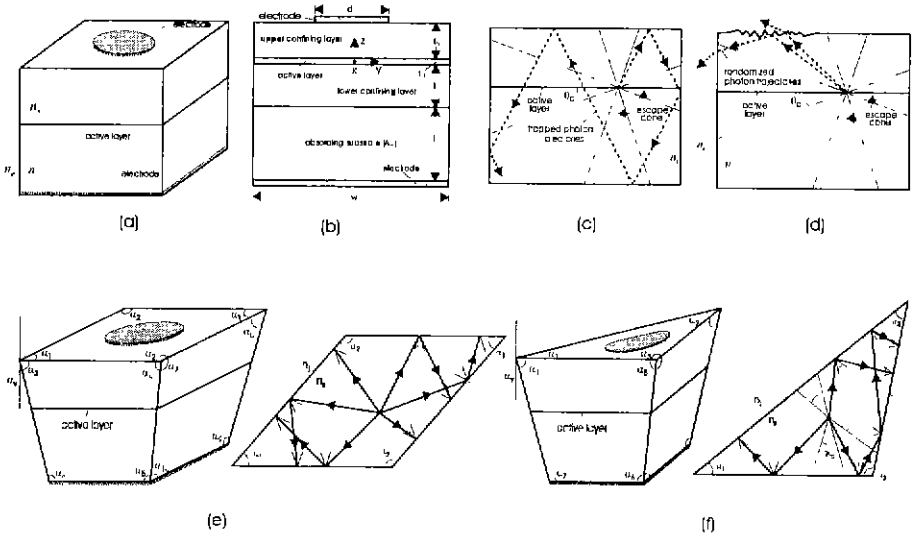

그림 1. LED의 칩 구조

의 손실을 최소화하기 위하여 보통 손실이 심각한 흡수기판(absorbing substrate, AS)을 투명기판(transparent substrate, TS)으로 대체[1]하는 동시에 상부 및 하부 전하 집속층(confining layer)의 두께를 증가시킴으로써 측면 방향으로 방출된 광자에 대한 전극의 차폐효과를 감소시킨다[2].

기존의 정방형 구조가 갖는 가장 큰 문제점은 그림 1(c)에 보인 바와 같이, 전반사에 대한 임계각 θ_c의 2배에 해당되는 꼭지각을 갖는 escape cone 밖으로 방출된 광자들이 칩 벽면으로부터의 연속적인 전반사를 거치게 됨으로써 결국 칩 내부에서 흡수된다는 점이다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위한 잘 알려진 방안의 하나는 그림 1(d)에 보인 바와 같이 칩 벽면을 texturing시키는 것이다. Texturing된 벽면은 광자 진행 경로의 랜덤화 현상[3]을 야기시킴으로써 진행 광자가 직접 또는 다음 단계에서 칩 밖으로 빠져나올 수 있게 된다. 하지만 이러한 texturing 기술은 일반적으로 난해한 process로 알려지고 있으며 광자의 출력결합효율을 개선시키는 데에도 한계가 있는 것으로 판단된다.

본 논문에서는 LED의 발광효율을 획기적으로 개선하기 위한 새로운 칩 구조로서, 그림 1(e)와 그림

1(f)에 보인 바와 같이 수평 단면이 마름모 또는 삼각형 형태이며 동시에 칩의 측 벽면이 적당한 각도로 경사진 변형된 칩 구조를 제안한다. 이러한 변형된 형태의 칩 구조에서는 그림 1(e)와 1(f)에 보인 바와 같이 칩 벽면으로부터 광자가 반사될 때마다 광자의 진행 방향이 점진적으로 바뀌게 되어 연속적인 전반사가 크게 억제된다. 그 결과로 칩 내부에 trap되는 광자의 비율이 현저히 감소되어 광자의 평균출력결합효율이 크게 개선된다.

보통 LED의 구조 해석을 위한 기법으로 escape cone 개념이 많이 사용되고 있으나, 그림 1(e)와 1(f)에 보인 바와 같은 변형된 칩 구조에 적용하는데는 많은 문제점을 갖고 있는 것으로 판단된다. 본 연구에서는 Monte Carlo 기법에 근거하여 구조 해석을 시도하였다. 이 기법에서는 충분히 많은 수의 광자들을 활성층의 임의의 지점에서 랜덤한 방향으로 방출시킨 후 각 광자들의 진행 과정을 통계적으로 추적하게 되는데, 특히 각 층 및 전극 영역에서의 손실과 surface texturing으로 인한 칩 벽면에서의 진행 경로의 랜덤화 현상도 함께 고려하였다.

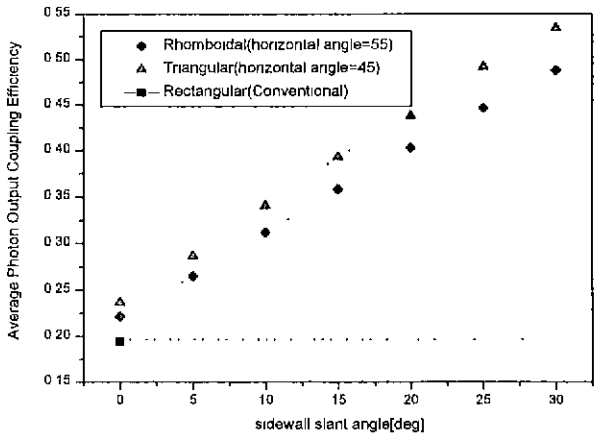

그림 2. Sidewall slant angle 변화에 따른 평균출력결합효율의 변화

그림 2는 Monte Carlo 기법을 적용시킨 칩 구조 해석 결과의 한 예를 보여주고 있다. 정방형 구조에 비하여 마름모 또는 삼각형 구조에서 출력결합효율이 크게 개선되며, 특히 이들 구조에서 칩의 측면 경사 각도가 커질수록 출력결합효율이 크게 향상된다는 사실을 알 수 있다. 일례로 칩 사이즈가 300 μm, 상부 및 하부 전하 집속층의 두께가 각각 60과 120 μm, 상부 전극의 직경이 100 μm인 경우, 정방형 칩 LED에서 계산된 평균출력결합효율은 약 19% 정도였다. 한편 수평각 α_l이 55°, 수직 방향에 대한 측면 벽의 경사각 α_v가 25° 인 마름모 구조(그림(e))에서는 평균출력결합효율이 약 45% 로서 정방형 구조에 비해 약 120%의 효율 개선이 이루어짐을 확인할 수 있었다. 끝으로 마름모 및 삼각형 형태의 칩은 초고휘도(super-bright) integrated LED 램프를 제작하는 데에도 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

TC

참고 문헌

1. F. A. Kish, F. M. Steranka, et al, "Very high-efficiency semiconductor wafer-bonded transparent-substrate $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$/GaP light-emitting diodes", Appl. Phys. Lett., vol. 64, no. 21, 2839-2841 (1994).

2. K. H. Huang and J. G. Yu, et al, "Twofold efficiency improvement in high performance AlGaInP light emitting diodes in the 555-620nm spectral region using a thick GaP window layer", Appl. Phys. Lett. vol. 61, no. 9, 1045-1047 (1992).

3. I. Schnitzer and E. Yablonovitch, et al, "30% external quantum efficiency from surface textured, thin-film light-emitting diodes", Appl. Phys. Lett., vol. 63, no. 16, 2174-2176 (1993).