

칩구조와 칩마운트에 따른 InGaN LED의 광추출효율

이주희, 홍대운*, 강의정**, 이성재***

충남대학교 전자공학과, 대전시 유성구 궁동 220번지 305-764

e-mail: ggu00@cnu.ac.kr

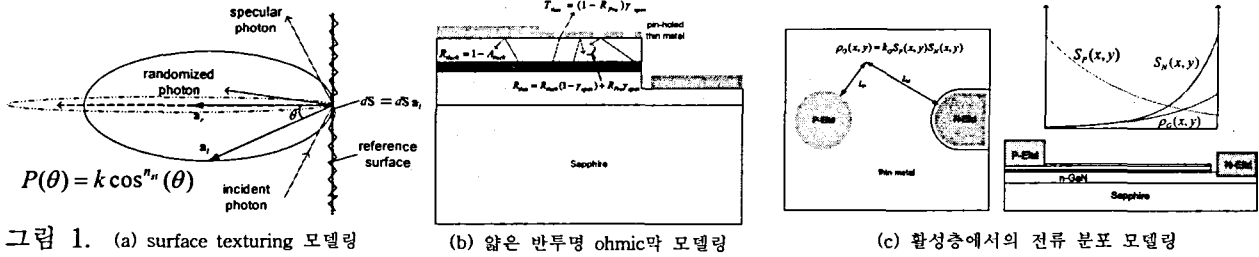
Monte Carlo photon simulation 기법을 사용하여 광추출효율 관점에서 InGaN LED를 분석하였다. InGaN/sapphire 칩의 경우, AlInGaP나 InGaN/SiC 칩에서와는 달리, 칩의 측면을 기울여 주는데서 오는 광추출효율 개선 효과는 매우 미미하였다. 이는 InGaN/sapphire 칩의 경우 사파이어 기판의 굴절률 상대적으로 작아서 활성층으로부터 생성된 광자들의 상당량이 기판으로 넘어갈 때 전반사현상으로 말미암아 기판으로 넘어가지 못하고 상대적으로 두께가 매우 얇은 에피택시 층에 갇히기 때문으로 파악되었다. 이와 같은 효과는 epitaxial side down mount의 광추출효율이 크게 개선되지 못하는 원인으로도 작용하게 되는데, epitaxial side down mount의 잠재력을 살릴 수 있는 방안의 하나는 texture된 기판 위에 결정층을 성장시키는 것이라고 할 수 있다.

I. 광추출 이론

InGaN LED는 현재 가시광 영역에서 가장 중요한 LED라고 할 수 있는데, sapphire 기판에 성장된 InGaN/sapphire 칩과 SiC 기판에 성장된 InGaN/SiC 칩으로 구분된다. InGaN LED 칩은, 기존의 InGaAlP 칩에 비하여, 커다란 차이점을 갖고 있다. 예를 들어, p-GaN 상부전하집속층 약 0.2 μ m 정도로 매우 얇다는 사실을 들 수 있으며, 얇은 상부전하집속층의 전도도 특성을 보완하기 위해 보통 200Å 정도로 매우 얇은 반투명 특성을 갖는 p-전극막이 칩의 상부 표면 위에 도포된다.

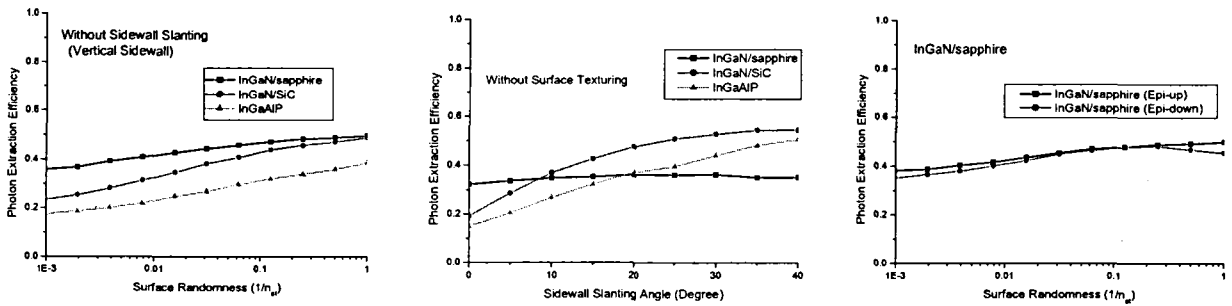
현재 사용되고 대부분의 LED 칩은 정방형 구조를 갖고 있는데, 이와 같은 정방형의 칩 구조가 갖는 가장 큰 문제점은 칩 벽면에서의 연속되는 전반사현상으로 말미암아 생성된 광자들의 상당한 비율이 칩 내에 갇히게 되고 결국은 흡수되고 만다는 사실이다. 칩 내에 갇힌 광자들의 비율은 반도체 재료에 따라 달라지는데, InGaAlP, InGaN/sapphire, InGaN/SiC의 경우 각각 70%, 40%, 50% 정도로 매우 높게 나타난다. 이와 같이 높은 비율의 칩 내에 갇힌 광자들을 효과적으로 뽑아낼 수 있는 방안이 마련되지 않는 한 LED의 발광효율을 획기적으로 개선시키는 것은 불가능하다고 할 수 있는데, 보통 surface texturing 기법과 sidewall slanting 기법이 많이 사용되어 왔다. 즉 칩의 표면을 flat한 표면 대신에 거친 표면(textured surface)으로 만들어 주거나 칩의 측 벽면을 수직방향으로부터 적당히 기울여 주게 되면, 광자들이 반사를 할 때 경로가 불규칙하게 바뀌게 되면서 다음 단계에서 칩 밖으로 빠져 나올 수 있는 기회를 갖게 되고 그 결과 광추출효율이 획기적으로 개선되어진다. 한편 광추출효율은 칩을 reflector에 mount하는 방식, 즉 성장된 박막층을 위쪽으로 향하도록 부착시키는 epitaxial side up mount와 아래쪽으로 향하도록 부착시키는 epitaxial side down mount에 따라서 크게 달라진다. 칩 구조나 칩 mount 방식이 광추출효율에 미치는 영향에 대해서 일반적인 개념을 확립하는 것은 새로운 칩 구조나 mount 구조를 개발하는 데에 하나의 길잡이 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

그림 1은 LED 칩을 해석하기 위해 사용된, textured surface model, 반투명 특성을 갖는 얇은 p-전극막 model 및 활성층에서의 광자의 생성밀도 model을 각각 보여 주고 있다.



III. 시뮬레이션 결과

그림2.(a)는 surface texturing 기법이 광추출효율에 미치는 영향을 보여 주고 있는데, 칩의 표면이 거칠수록 광추출효율이 개선된다는 것을 알 수 있는데, 칩 내에 갇혀 있는 광자들의 비율이 상대적으로 작은 InGaN/sapphire의 경우, 개선효과가 상대적으로 미미하다는 것을 알 수 있다. 그림2.(b)는 sidewall slanting 기법이 광추출효율에 미치는 영향을 보여주고 있는데, 특히 InGaN /sapphire의 경우 다른 구조들에 비해 개선효과가 매우 미미하다는 것이다. 이는 InGaN/sapphire 칩의 경우 사파이어 기판의 굴절률이 상대적으로 작아서 활성층으로부터 생성된 광자들의 상당량이 기판으로 넘어갈 때 전반사현상으로 말미암아 기판으로 넘어가지 못하고 상대적으로 두께가 매우 얇은 에피택시 층에 갇히기 때문으로 파악되었다. 이와 같은 효과는 그림2.(c)에 보인 바와 같이 epitaxial side down mount의 광추출효율이 크게 개선되지 못하는 원인으로도 작용하게 된다.



IV. 결론

Monte Carlo 광자 시뮬레이션 해석에 의한 중요한 결론들 중 하나는 칩 내에 갇혀 있는 광자들을 칩 밖으로 뽑아내어 광추출효율을 개선시키기 위한 방안으로는 sidewall slanting 기법이 surface texturing 기법 보다 더 효과적이라는 것이다. 그러나 InGaN/sapphire LED에서만은 광추출효율개선 정도가 매우 미미하다는 사실은 특기할 만하다. 이는 InGaN/sapphire LED에서 생성된 광자들이 기판으로 원활하게 넘어가지 못하는 현상에 기인되는데, 이와 같은 현상은 Epi-down 방식의 광추출효율에도 부정적인 영향을 미치게 된다. 그럼에도 불구하고 Epi-down방식은 광추출효율면에서 잠재력을 갖고 있는 것으로 판단되는데, 이 잠재력을 살리기 위한 방안의 하나는 기판과 박막결정층 사이의 계면에 texturing을 하는 것이다. 이 경우 texturing 된 계면에 광자들이 도달하게 되면, 광자들이 진행방향에 무관하게 광자들의 경로가 바뀌면서 사파이어 기판으로 다량 넘어갈 수 있게 되어 특히 기판에 대한 차폐가 전혀 없는 epitaxial side down mount 방식에서 광추출효율이 크게 개선되어질 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. S. J. Lee, "Analysis of lightemitting diodes by Monte Carlo photon simulation," Appl. Opt., 40(9), 1427-1437 (2001)
2. S. J. Lee, "Analysis of InGaN highlightemitting diodes," Jpn. J. Appl. Phys.,37(11), 5990-5993(1998)

TP