

광경로 시뮬레이션을 이용한 GaN-LED 칩의 광추출 효율 분석

이진복*, 윤상호, 김동운, 최창환
삼성전기 중앙연구소

Analysis of the extraction efficiency in GaN-light emitting diodes using ray tracing simulation

Jin-Bock Lee*, Sang-Ho Yoon, Dong-Woohn Kim, Chang-Wan Choi
Central R&D Institute
Samsung electro-mechanics CO.,LTD
E-mail : *dia75.lee@samsung.com

Abstract

It was analyzed qualitatively the light extraction in GaN-on-sapphire LEDs based on a simple model. The light extraction efficiency in the LEDs is simulated numerically by using ray tracing method. In the present study, the extraction efficiency was simulated on three different types of LEDs, which have a different patterned sapphire substrate. And, the role of the patterned sapphire substrate are analyzed and discussed. Based on the analysis, the improvements of extraction efficiency in the LED structures were discussed and these analyses are helpful in the design of high brightness GaN LEDs.

I. 서론

LED(light-emitting diode)는 p-n 접합 다이오드의 일종으로, 순방향으로 전압이 걸릴 경우, 단파장광(monochromatic light)이 방출되는 전기발광(electroluminescence) 효과를 이용한 반도체 소자이다. 특히, 지난 수년간 GaN 를 이용한 LED 는 널리 연구되어 왔다. 그러나, LED 의 내부 양자 효율은 상당한 수준으로 향상시켰음에도 불구하고, 광추출효율은 아직 미비한 수준으로 알려져 있다.[1-2] 이는 이미 알려진 바와 같이 MQW 로부터 방출된 광자(photon)는 칩의 표면 경계면에 인접한 다른 재료의 굴절률 차이에 의해서 LED 칩 외부로 방출되는 것이 어렵다. 이것이 LED 에서 광추출효율을 크게 저해되는 원인이다. 따라서, 칩의 방출 효율을 증가시키기 위한 많은 연구가 활발하게 진행되고 있다. 또한, 광추출효율 향상을 위한 칩 구조를 설계

하기 위해서는 photon 의 경로해석을 통하여 LED 칩의 형상에 따른 photon 의 거동에 대한 분석이 필요하다. 특히, sapphire 기판을 사용한 LED 의 경우, 내부양자효율과 광추출효율을 향상시키기 위해서 기판에 요철구조를 형성시킨 LED 구조에 대한 연구결과가 보고되었으나,[3-4] 실제 이러한 요철구조가 LED 광추출효율에 미치는 영향에 대한 분석은 아직 명확하지 않을 실정이다.

II. 본론

본 연구에서는 GaN-LED 칩 내부 MQW 에서 발생한 photon 이 어떠한 경로를 통해서 외부로 방출하는지를 규명하기 위해서 광경로 시뮬레이션을 수행하였다. 우선 LED 칩 내부에서의 광경로 시뮬레이션을 위하여 기존의 sapphire 기판 위에 GaN 에피층으로 구성되어 있는 LED 칩구조를 그림 1 과 같이 모델링 하였다. 그림에 나타난 바와 같이 MQW 로부터 방출되는 photon 은 GaN-air 혹은 GaN-sapphire-air 의 경로를 통해 외부로 방출된다. 또한, 이러한 경로로 방출되는 photon 을 외부에서 감지하기 위해서 전체(far-field receiver), 상부(top receiver), 하부(bottom receiver)를 detector 를 설치하였고, 이를 통하여 각각의 방향으로 방출되는 photon 을 검출하여 photon 의 탈출 경로를 해석하고자 하였다. 이에 MQW 내의 InGaN QW 에 의한 재흡수 및 photon recycling 효과는 고려하지 않았다. 그림 2 에 나타난 바와 같이, 본 연구에서는 세가지 경우의 LED 구조에 대해서 시뮬레이션을 수행하였

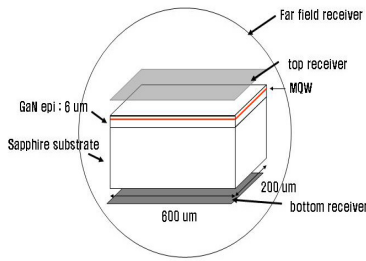


그림.1 시물레이션을 위한 LED 칩구조 모델링

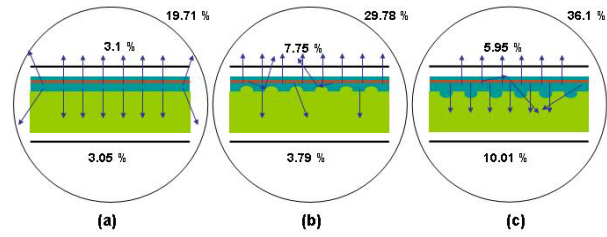


그림.2 계면 요철 구조에 따른 광추출 효율 시물레이션 결과

(a)기본 구조, (b)계면요철 구조, (c)계면역요철 구조

다. (a)의 경우는 광추출 구조를 갖지 않은 전형적인 LED 구조이고 (b)는 sapphire 기판의 pattern 에칭을 통하여 계면 요철 구조가 형성된 구조이고, (c)는 (b)와 반대방향의 계면 역요철 구조이다. 그림 1(a) 과 같은 계면 구조를 갖는 경우에는 MQW 로부터 각각의 방향으로 방출되는 photon 은 한번에 외부로 탈출하지 못하면 아무리 많은 경로를 겪더라도 air 와의 표면에 부딪히는 각이 변화하지 않기 때문에 탈출이 불가하다. 그러나, 그림 2 (b), (c)와 같은 경우는 탈출하지 못하는 photon 들이 계면의 요철구조에 부딪히면서 외부로 탈출하기 위한 각도로 변화될 수 있으며, 반사를 반복할 수록 추출될 수 있는 확률이 커지기 때문에 전체 광 추출효율이 향상된다. 그러나, 그림 2(b)와 (c)에 나타난 바와 같이 두 구조는 서로 다른 경로로 photon 이 이동한다는 것을 알 수 있다. (b)의 요철구조는 계면에서 photon 의 임계각을 변화시키는 역할을 함과 동시에 주로 LED 상부로 반사시키는 역할을 한다. 즉, 주로 난반사를 유도하여 상부로의 방출을 증가시킨다. 한편, 그림 2(c)와 같이 계면 역요철 구조를 갖고 있는 경우는 그림에 묘사된 바와 같이 MQW 로부터 방출된 photon 을 하부로 방출시키는 구조를 갖고 있다. 계면에 의해서 반사된 일부의 photon 이 상부를 통해서 방출될 수 있으나, 방출되지 못한 photon 은 다시 하부의 요철구조로 인해서 투과되는 구조를 갖고 있다. 따라서, 하부로 방출되는 photon 의 양이 다른 구조에 비해서 매우 증가하게 된다.

실제 LED chip 을 제작할 경우에는 패키지가 필요하며, 그러한 경우에는 LED 칩의 기판이 PKG 와 부착되기 때문에, 기판의 하부로 방출되는 photon 은 sapphire 기판 하부의 반사도에 영향을 받는다. 이를 고려하기 위해 각각의 칩에 대해서 반사도가 광추출에

미치는 영향을 분석하였다.

표 1 에 나타난 바와 같이 (a) (b)구조의 경우는 반사막 특성에 의해서 전체와 상부 추출효율의 변화가 상대적으로 (c)의 경우에 비해서 작다. 이는 앞선 광경로 시물레이션에서 예상했던 바와 같이 (b)의 경우는 상부 방출이 하부 방출에 비해서 크기 때문에 하부로 진행되는 photon 의 양이 상대적으로 작고, 따라서 반사막의 영향을 작게 받는 반면, (c)의 경우는 하부 방향으로의 방출이 상대적으로 많기 때문에 반사막 특성에 의한 영향이 큰 것으로 해석 할 수 있다.

표.1 반사막의 반사도에 따른 광추출 효율

(a)기본 구조 (b)계면요철 구조 (c)계면역요철 구조

	reflectance	100 %	90 %	50 %	10 %
(a)	Far field	19.08 %	18.74 %	17.45 %	16.17 %
	Top surface	5.56 %	5.31 %	4.33 %	3.38 %
(b)	Far field	27.97 %	26.66 %	23.73 %	21.62 %
	Top surface	9.76 %	9.29 %	8.13 %	7.18 %
(c)	Far field	31.07 %	29.36 %	24.01 %	21.42 %
	Top surface	10.99 %	9.84 %	6.85 %	4.99 %

참고문헌

- [1] T.Fujii, Y.Gao, R.Sharma, E.L.Hu, S.P.DenBarrs, and S.Nakamura, Appl.Phys.Lett., Vol.84, No.6, 856, 2004
- [2] R.Windisch, P.Heremans, A.Knoblock, P.Kiesel, G.H.Dohler, B.dutta and G.Borghs, Appl.Phys.Lett., Vol.74, No.16, 2256, 1999.
- [3] C.C.Sun, C.Y.Lin, T.X.Lee, T.H.Y, Opt.Eng. 43(8), 1700, 2004.
- [4] H.Kuto, Y.Ohuchi, T.Jyouichi, T.Tsunekawa, H.Okagawa, K.Tadatomo, Y.Sudo, M.Kato, and T.Taguchi, phys.stat.sol.(a) 200, No.1, 95, 2003.