

광결정과 마이크로 공진기를 이용한 질화물계 발광다이오드의 높은 광추출효율 개선

High Enhancement of Extraction Efficiency of GaN-based Photonic Crystal Microcavity Light Emitting diodes

조민수, 문기원, 한연호, 정은아, 임미현, 한해욱

포항공과대학교 전자전기공학과
mandark@postech.ac.kr

윤지수, 임종호, 신종근, 정인재

LG, Phillips LCD LED TASK

최근 질화물계 발광다이오드는 신호등, 옥외 광고판, 실내외 조명, 액정 디스플레이(LCD)의 backlight unit 등으로 활용되고 있으며, 그 활용 범위가 더욱 넓어지고 있다. 그러나 질화물계 발광다이오드(GaN-based LED) 내에서 발생하는 대부분의 빛은 높은 유전율을 갖는 질화물계 반도체와 공기 사이에서 발생하는 전반사에 의해 LED 칩 안에 구속되어 밖으로 나가지 못하게 된다. 따라서 발생된 대부분의 빛은 공기/GaN/사파이어로 이루어진 도파로에 속박 모드로 존재하게 되고, 흡수손실에 의해 사라지게 된다. 이러한 이유로 유전율이 2.4인 GaN-based LED는 공기/GaN 계면에서 $\sim 4\%$ 정도의 낮은 광추출효율을 갖게 된다. 이러한 낮은 광추출효율을 개선하기 위해서 광결정(photonic crystal; PC)효과⁽¹⁾, 마이크로 공진기(microcavity; MC)효과⁽²⁾ 등을 이용한 구조가 제안되었다.

본 논문에서는 광결정효과와 마이크로 공진기효과를 동시에 이용할 수 있는 질화물계 광결정 마이크로 공진기 발광다이오드(GaN-based PCMC-LED) 소자를 제안하고 그 계산 결과에 대하여 논의하고자 한다. 시간영역 유한차분법(finite difference time domain; FDTD)을 이용하여 기존의 LED와 PCMC-LED의 광추출효율을 계산하였고, PCMC-LED가 기존의 LED에 비하여 매우 높은 광추출효율을 갖는 것을 확인하였다.

광추출효율의 개선효과를 비교하기 위하여 기존의 LED, 광결정 발광다이오드(PC-LED), 마이크로 공진기 발광다이오드(MC-LED), 그리고 PCMC-LED에 대한 광추출효율을 각각 계산하였다. 각각의 LED는 주어진 구조에서 활성층(Quantum well)의 위치, LED 층의 두께, 광결정의 주기 및 크기 등을 변화시켜 광추출효율을 최적화하였다. LED의 광추출효율에 대한 계산을 위해 상용 프로그램인 Lumerical사의 FDTD 프로그램을 사용하였다. 각 LED의 활성층을 하나의 쌍극자(dipole) 광원으로 가정하였고, 주기 경계조건(periodic boundary condition)과 흡수(perfect matched layer) 경계조건을 이용하여 계산하였다. 광원의 중심 파장은 450 nm이고 밴드 폭은 70 nm로 설정하였다. 질화물(GaN)의 물질 손실은 300 cm^{-1} 로 설정하였고, MC-LED와 PCMC-LED에서 사용된 p-metal은 450 nm 파장에서 높은 반사율을 갖는 은(Ag)을 사용하였다.

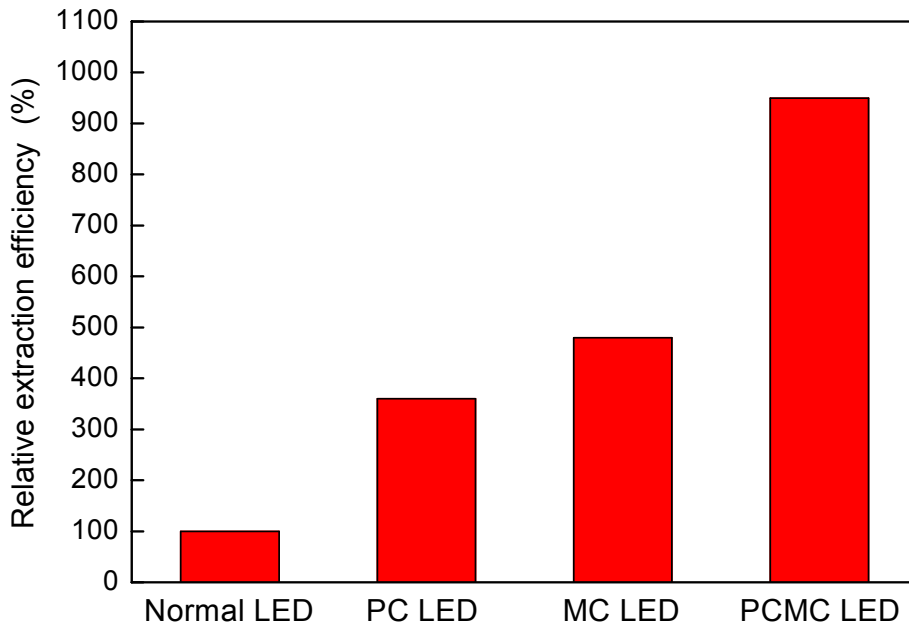


그림 1. LED 구조에 따른 상대적인 광추출효율의 개선

네 종류의 LED에 대한 계산 결과는 그림 1과 같다. PC-LED와 MC-LED의 광추출효율은 기존 LED에 비하여 각각 3.5배와 4.5배 증가하였다. 광결정효과와 마이크로 공진기효과가 LED의 광추출효율을 크게 개선시키고 있으며 이는 이미 보고된 기존의 결과와 일치한다. 광추출효율을 개선시키는 이 두 가지 효과를 동시에 이용하는 PCMC-LED의 광추출효율은 기존의 LED 보다 9.5배 증가되었다. 이러한 계산 결과는 광결정효과와 마이크로 공진기효과를 동시에 고려하여 광추출효율을 최적화하여 얻어진 것으로 기존에 알고 있는 어떤 결과들보다도 높은 광추출효율을 나타내고 있다.

본 논문에서는 광결정효과와 마이크로 공진기효과를 결합함으로써 매우 높은 광추출효율을 갖는 GaN-based LED를 제작할 수 있음을 이론적으로 확인하였다. 이러한 광결정효과와 마이크로 공진기효과를 이용한 구조는 새로운 고효율의 LED 제작을 가능하게 하며, 나아가 다른 고체 광원이나 유기 LED에도 활용될 수 있을 것이다.

본 연구는 한국과학재단의 NRL(National Research Laboratory) 프로그램과 POSTECH에 있는 DTRC(Display Technology Research Center)를 통하여 LG. Phillips LCD에서 연구비를 지원받아 수행되었습니다.

1. D. Kim, C. Cho, Y. Roh, H. Jeon and Y. Park, "Enhanced light extraction from GaN-based light-emitting diodes with holographically generated two-dimensional photonic crystal patterns", Appl. Phys. Lett., 88, 203508 (2006).
2. P. M. Pattison, A. David, R. Sharma, C. Weisbuch, S. DenBaars and S. Nakamura, "Gallium nitride based microcavity light emitting diodes with 2λ effective cavity thickness," Appl. Phys. Lett., 90, 031111 (2007).