

## 질화계 발광다이오드의 측면 형상화를 이용한 광 추출 효율 향상

### Improvement of Light Extraction Efficiency by Side Surface Texturing in Nitride-based Light-Emitting Diodes

장동현, 심종인

한양대학교 전자컴퓨터공학부

jdh@giga.hanyang.ac.kr, jishim@giga.hanyang.ac.kr

#### ABSTRACT

We theoretically investigated the influence of side surface texturing on the light extraction efficiency in nitride-based light-emitting diodes (LEDs). The light extraction efficiency was expected as 1.2 times larger in a LED with textured surfaces compared to without ones.

#### 서 론

최근 질화계 반도체는 녹색, 청색, 그리고 자외선 영역의 발광소자로 이용되면서 많은 주목을 받고 있다. 하지만 질화물계 반도체와 대기와 높은 굴절률차로 인하여 광 추출 효율이 크게 제한받고 있다<sup>(1)</sup>. 이를 극복하기 위하여 표면 형상화, 패턴 된 사파이어 기판 (PSS), 투명전극, 광 결정 구조 등을 이용한 다양한 방법들이 연구되고 있다. 그러나 이러한 연구들은 발광다이오드의 기판과 평행한 방향인 윗면 혹은 아랫면에 패턴을 주어 형상화한 구조들이다<sup>(2)</sup>. 본 논문에서는 추가적인 공정이 필요 없으면서 또는 간단한 추가적인 공정으로 발광 다이오드의 측면의 형상화하여 광 추출 효율을 높일 수 있는 구조를 제안하였으며, 이를 광선 추적 방법을 통해 광 추출 효율을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

#### 본 론

그림 1은 본 연구에 이용된  $300\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$  크기의 InGaN/GaN 다중양자우물을 갖는 일반적인 발광다이오드의 구조를 나타내고 있다. 광 추출 효율을 해석 시 사용한 물질 상수들을 표 1에 정리하여 놓았다<sup>(3)</sup>. 해석 시에는 다중양자우물은  $1000\text{cm}^{-1}$ 의 흡수계수를 갖는 단일층으로 하였으며, 전극은 완전 흡수체, 투명전극 (ITO)은 완전 투과체로 가정하였다. 발광다이오드의 광 추출 효율을 향상시키기 위해 그림 2와 같이 그림 1을 기본구조로 하는 두 가지 구조를 고려하였다. 그림 2(a)는 메사의 깊이와 동일한  $1\mu\text{m}$  깊이를 갖는 톱니 모양을 측면에 형상화한 다이오드의 구조를 나타내고 있다. 그림 2(b)는 발광다이오드의 맨 위층 영역부터 사파이어 기판까지 그림 2(a)와 동일하게 톱니모양으로 식각한 구조를 나타내고 있다. 이때 그림 2(a) 구조는 메사 구조를 형성할 때 동일하게 진행할 수 있으며, 그림 2(b)는 간단한 추가적인 식각 공정을 통해 형상화 할 수 있다.

시뮬레이션 결과 일반적인 구조의 발광다이오드는 23%의 광 추출 효율을 가지며, 그림 2(a) 구조는 24%, 그림 2(b) 구조는 28%의 광 추출 효율을 각각 가짐을 알 수 있었다. 이는 일반적인 구조에 비하여 톱니방향으로 나오는 빛이 증가하기 때문이며, 2(b)의 구조가 그림 2(a)의 구조에 비해 빛이 방출할 수 있는 면적이 상대적으로 넓으며, 또한 사파이어까지 식각 되어 사파이어와 대기와 굴절률 차는

GaN과 대기와의 굴절률 차보다 작기 때문에 상대적으로 많은 빛이 방출된다. 그림 3은 일반적인 발광다이오드, 그림 2(a), 그리고 그림 2(b) 구조에 대한 원격장과 방출된 빛의 상대적인 세기를 나타내고 있다. 그림 2(a)와 (b)는 일반적인 발광다이오드에 비해 많은 빛을 방출하며 방출된 빛의 세기는 최대 1.2배가 됨을 알 수 있다.

**결 론**

본 논문에서는 추가적인 공정이 없이 또는 간단한 공정을 통해 발광다이오드의 측면의 형상화하여 광 추출 효율을 높일 수 있는 구조를 제안하였으며 이를 광선 추적 방법을 통해 확인하였다. 제안된 구조는 일반적인 발광다이오드에 대해 최대 1.2배의 광 추출 효율의 향상을 가짐을 알 수 있다.

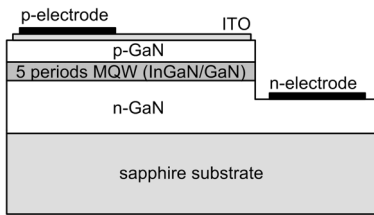


그림 1. 300 $\mu$ m X 300 $\mu$ m InGaN/GaN 다중 양자 우물을 갖는 발광다이오드

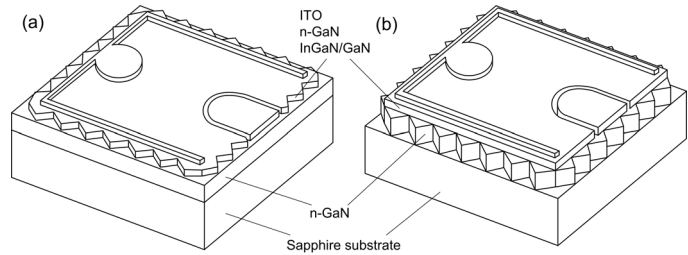


그림 2. (a) 메사의 깊이와 동일한 두께로 측면을 톱니모양으로 형상화된 발광다이오드와 (b) 사파이어 기판까지 측면 형상화된 발광다이오드의 구조

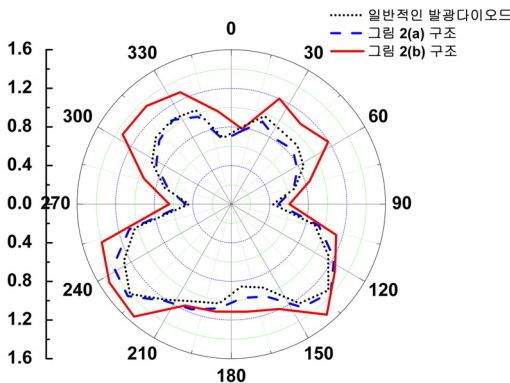


그림 3. 일반적인 발광다이오드와 그림 2(a)와 (b) 구조의 원격장과 빛의 상대적 세기

표 1. 발광다이오드의 물질상수

	두께	흡수계수( $\text{cm}^{-1}$ )	굴절률
사파이어	80 $\mu$ m	0.01	1.76
N형 GaN	5 $\mu$ m	0.01	2.5
InGaN/GaN	2.5/12.5nm	1000	2.5
P형 GaN	0.13 $\mu$ m	0.01	2.5
ITO	0.3 $\mu$ m	0	2.0

**감사의글**

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.R0120070002004802007)

**참고문헌**

1. S. Nakamura, Introduction to Nitride Semiconductor Blue Lasers and Light Emitting Diodes, New York, (2000)
2. C. F. Shen, *et al*, Nitride-Based High-Power Flip-Chip LED with Double-Side Patterned Sapphire Substrate, IEEE Photonics Tech. Lett. **19**, 780 (2007)
3. Mandy M. Y. Leung *et al*, Refractive index of InGaN/GaN quantum well, J. Appl. Phys., **84**, 8312 (1998)