

질화물계 발광다이오드에서 광 추출 효율의 패턴 기판 의존성

Dependency of Light Extraction Efficiency on Sapphire Substrate Pattern Shapes in Light Emitting Diodes

장동현, 심종인

한양대학교 전자 및 통신공학

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

ABSTRACT

The light extraction efficiencies of GaN-based light-emitting diodes (LEDs) grown on differently patterned sapphire substrates were investigated by using the ray tracing method. It was found that angle of the pattern surface against the sapphire surface, the number of pattern per unit area were important structural factors for high extraction efficiency.

서 론

최근 질화물계 반도체는 녹색, 청색 그리고 자외선 영역의 발광소자로 이용되면서 매우 큰 주목을 받고 있다. 하지만 LED의 활성층에서 방출된 빛은 질화물계 반도체와 대기와의 높은 굴절률차에 기인한 전반사 및 재흡수 과정을 통하여 광 추출 효율이 제한되는 문제점이 있다⁽¹⁾. 이에 광 추출 효율을 향상시키는 방법으로 패턴 된 사파이어 기판을 이용한 방법이 많이 활용되고 있다. 그러나 아직 사파이어 기판에 형성된 패턴 모양이 광 추출에 미치는 영향에 관한 연구가 제대로 알려져 있지 않고 있고 있다⁽²⁾. 본 논문에서는 공정이 가능한 패턴들에 대해서 패턴의 종류, 크기, 그리고 밀집도와 광 추출 효율의 상관관계를 광선 추적 방법을 통하여 이론적으로 해석하여, 광 추출 효율을 극대화를 위하여 적합한 패턴모양을 제시하고자 한다.

본 론

그림 1은 해석 시 이용한 $300\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ InGaN/GaN 다중양자우물을 갖는 질화물계 반도체 발광 다이오드의 구조이다. 패턴 된 사파이어 기판의 모양으로서는 원기둥형, 원추형, 반구형 패턴을 가정하였다. 발광 다이오드를 모델링함에 있어 표 1과 같이 기판을 포함한 에피층의 굴절률, 흡수계수, 두께를 나타내고 있다⁽³⁾. 활성층 영역의 흡수계수는 10^3cm^{-1} , 진극은 완전 흡수체로 가정하였다. 광 추출 효율은 활성층 영역에서 방출된 빛의 세기에 대한 발광 다이오드의 외부로 빠져나온 빛의 세기의 비로 정의된다. 그림 2는 원기둥형, 원추형, 그리고 반구형 패턴을 갖는 발광 다이오드에 대해서 패턴의 높이에 따른 광 추출 효율을 나타내고 있다. 패턴의 높이가 0인 경우는 평평한 사파이어 기판을 가진 발광 다이오드를 나타내며 패턴 된 사파이어 기판을 이용한 경우 일반적인 사파이어 기판을 이용한 경우보다 광 추출 효율이 1.7배에서 2.5배정도 향상됨을 알 수 있다. 또한 반구형 패턴의 높이가 $1.5\mu\text{m}$ 일 때 광 추출 효율이 약 60%로 가장 높게 나타났으며, 원추형, 원기둥형 순으로 광 추출 효율이 높게 나타났다. 그림 3는 원추형 패턴의 밀변의 지름을 $4.5\mu\text{m}$ 으로 고정하고 높이의 변화에 따른 광 추출 효율을 나타내고 있다. 높이가 증가할수록 기판과 원추형 패턴의 표면과의 이루는 각이 증가함을 알 수 있으며, 약 55° 에서 가장 높은 광 추출 효율을 가짐을 알 수 있다. 그림 2과 3의 결과로부터 기판과 패턴이 이루는 각도가 발광 다이오드의 광 추출 효율에 있어 매우 중요한 요소임을 알 수 있었다. 그림 4는 반구형 패

턴에서 밑변의 지름과 높이의 비를 1:3으로 고정하고 지름의 길이의 변화에 대한 광 추출 효율을 나타내고 있다. 지름과 높이를 고정함으로써 반구형 패턴의 지름이 커질수록 단위 면적당 패턴의 수는 적어지게 됨을 알 수 있으며, 단위 면적당 패턴의 수가 적어짐에 따라 광 추출 효율이 증가함을 알 수 있었다.

결론

본 논문에서는 발광다이오드를 모델링하여 광선 추적 방법을 이용한 이론적인 방법으로 광 추출 효율을 계산하였으며, 광 추출 효율의 패턴 된 기관에 대한 상관관계를 알아보았다. 해석 결과 밑변의 반지름이 $4.5\mu\text{m}$, 높이가 $1.5\mu\text{m}$ 인 반구형으로 패턴 된 사파이어 기관을 가진 발광다이오드의 광 추출 효율이 60%로 평평한 기관을 이용하였을 경우에 비해 2.5배 증가함을 알 수 있었다.

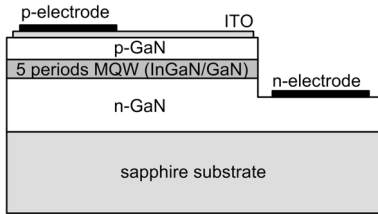


그림 1. $300\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ InGaN/GaN 다중양자우물을 갖는 발광다이오드

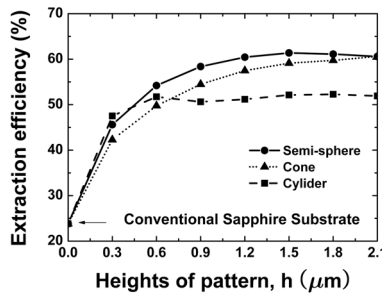


그림 2. 원기둥형, 원추형, 그리고 반구형 패턴의 높이의 변화에 따른 광 추출 효율

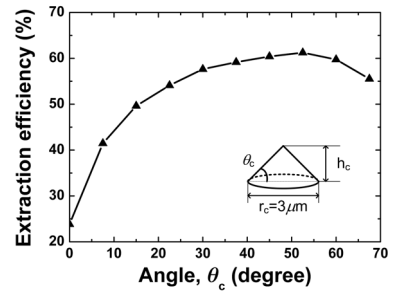


그림 3. 원추형 패턴의 각도의 변화에 따른 광 추출 효율

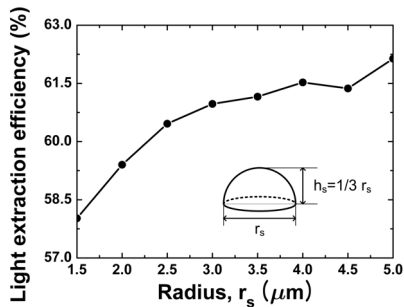


그림 4. 반구형 패턴의 단위 면적당 패턴의 수에 따른 광 추출 효율

표 1. 발광다이오드의 물질상수

레이어	두께	굴절률	흡수계수 (cm^{-1})
사파이어 기관	$80\mu\text{m}$	1.76	0.1
n-GaN	$5\mu\text{m}$	2.5	0.1
활성층	2.5/12.5nm	2.5	10^3
p-GaN	$0.13\mu\text{m}$	2.5	0.1
(투명전극)	$0.3\mu\text{m}$	2.0	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)