

논문 21-1-13

Top-GaP 상부에 나노 크기의 Roughness 처리에 의한 AlGaInP 고휘도 LED의 휘도 향상

Improvement of Brightness for AlGaInP High-brightness LEDs with Nano-scale Roughness on Top-GaP Surface

소순진¹, 하현성¹, 박춘배^{2,3}

(Soon-Jin So¹, Hun-Sung Ha¹, and Choon-Bae Park^{2,a})

Abstract

AlGaInP high-brightness LEDs(HB-LEDs) have gained importance a variety of application operating in the red, orange, yellow and yellow-green wavelength. The light generated from inside LED chips should be emitted to the air through the surfaces of the chips. However, because of the differences between the semiconductor and air or epoxy's refractive index, some of the light was blocked so that caused lowering external quantum efficiency. In this study, nano-scale roughness on the top-GaP layer of AlGaInP epitaxial wafer was fabricated to improve the brightness of AlGaInP LEDs. Nano-scale roughness was made by ICP dry etcher. Our AlGaInP LEDs with nano-scale roughness has higher brightness (about 28.5 %) than standard AlGaInP LEDs.

Key Words : AlGaInP, LED(Light-emitting diode), Surface roughness, ICP(Inductively coupled plasma), Dry etching

1. 서론

650 nm의 적색에서부터 560 nm 연두색까지의 가시광 영역에 대한 고휘도 AlGaInP 발광 다이오드는 1990년대 MOCVD(Metal-Organic Chemical Vapor Deposition) 방법을 이용해 발광 다이오드의 epitaxial layer가 성장되고 소자로 실현되면서 현재까지 많은 수요를 가지고 있다[1]. 최근 AlGaInP 발광 다이오드는 휘도 및 효율의 개선을 통해 자동차, 실내·외의 조명 및 인테리어 조명 등의 응용 범위가 확대되고 있다[2,3].

최근 수년 동안, AlGaInP의 epitaxial 성장에 대한 관심과 기술적 성과를 통해 AlGaInP 발광 다이

오드의 내부 양자효율은 거의 100 %까지 도달되었다[4]. 때문에 최근 발광 다이오드의 휘도 개선을 위해 외부 양자효율의 개선이 큰 이슈로 등장하였다. AlGaInP 발광 다이오드의 외부 양자효율을 향상시키기 위한 방법으로 가시광을 흡수하는 GaAs 기판을 제거하고 특정 carrier를 붙이는 wafer-bonding 기술이 양산에 적용되고 있으며, 발광 다이오드 칩 표면에 광 결정(Photonic Crystal)을 제작하는 등 많은 진보가 있었다[5-8]. 그러나 이러한 기술은 기존의 AlGaInP 발광 다이오드 제조 기술에 추가로 높은 수준의 기술이 더해지면서 수율 저하 및 제조비용의 상승 등 생산성의 문제를 야기하게 되었다. 따라서 LED 제조 공정에서는 반도체 표면의 wet etching을 통한 표면의 roughness나 texture 구조를 형성하여 외부 양자효율을 높이는 방법을 적용하고 있다[9].

본 연구에서는 비교적 공정상 간단하면서도 경제적인 방법으로 외부 양자효율을 향상시키기 위해 AlGaInP 발광 다이오드의 칩 표면인 top-GaP

1. (주) 나리지*온
2. 원광대학교 전기전자 및 정보공학부
(전북 익산시 신룡동 344-2)
a. Corresponding Author : cbpark@wonkwang.ac.kr
접수일자 : 2007. 8. 21
1차 심사 : 2007. 11. 13
심사완료 : 2007. 12. 21

layer 위에 ICP (Inductively Coupled Plasma) 건식 식각 공정을 실시하여 나노 크기의 불규칙적인 roughness를 제작하였다. 이렇게 제작된 나노 크기의 roughness가 전기적·광학적 특성에 미치는 영향을 분석하기 위해 $300\ \mu\text{m}\times 300\ \mu\text{m}$ 크기의 AlGaInP 발광 다이오드 칩을 제작하였다. 그리고 제작된 AlGaInP 발광 다이오드 칩은 보편적으로 사용되는 5 mm 지름의 램프 상태로 패키징하였다. 본 연구에서 제작된 나노 크기의 표면 roughness를 갖는 AlGaInP 발광 다이오드는 20 mA의 인가전압에서 기존의 발광 다이오드에 비해 휘도가 약 28.5 % 향상되었다.

2. 실험

2.1 실험 방법

본 연구에 사용된 AlGaInP 발광 다이오드의 epitaxial wafer는 MOCVD에 의해 성장되었다. epitaxial wafer는 (100) n-GaAs 기판 위에 GaAs-AlGaAs의 DBR(distributed Bragg reflector)이 놓였으며, 그 위로 n-AlInP cladding layer, undoped AlInP-AlGaInP MQW(Multi-quantum Well), p-AlInP cladding layer와 약 4~6 μm 두께의 p-GaP의 top layer 순으로 구성되었다.

AlGaInP LED 칩의 제작을 위해 먼저 유기 용제를 사용하여 초기 세척을 진행한 후, lift-off를 위한 포토 공정을 진행하였다. p-오믹 및 본딩 전극을 위한 금속화 공정의 전처리리를 위해 HF 희석 용액에 1분간 흔들고 DI에 10분 동안 린스한 후 질소 가스로 건조하였다. 금속 증착은 Au/AuBe/Au 구조의 전형적인 가시광 발광 다이오드의 오믹 전극형태를 가졌다. 금속 증착 이후, lift-off 공정을 진행하였으며 금속과 top-GaP 사이의 오믹을 위해 RTA(Rapid Thermal Annealing)를 이용해 450도에서 30초 동안 열처리되었다. 이렇게 전반 공정이 진행된 후, ICP 건식 식각 장비를 통해 top-GaP 표면 위에 나노 크기의 roughness를 형성하였다. 이때 사용된 ICP 건식 식각 공정 조건이 표 1에 정리되었다. 본 연구에서는 웨이퍼 간 휘도 편차 없이 순수한 roughness의 영향을 분석하기 위해 1매를 이동분하였으며, roughness를 형성한 것과 형성하지 않을 것을 각각 제작하였다.

후반 공정으로 이번의 GaAs 기판 부분을 180 μm 의 두께를 갖도록 lapping 하였고, 세척과 전처리 공정을 진행한 후 이번의 AuGe/Au 금속화 공정이 진행되었다. 마지막 이번 오믹을 위해 300도에서 열처리 한 후, dicing 공정을 통해 칩이 분리

표 1. Top-GaP 표면 위에 나노 크기의 roughness 제작을 위한 ICP 공정 조건.

Table 1. Process condition of ICP to fabricate nano-scale roughness on top-GaP layer.

파라미터	roughness 공정 조건	
초기 압력	5.0×10^{-5} Torr	
작업 압력	30 mTorr	
식각 가스	Ar	30 sccm
	N ₂	10 sccm
	Cl ₂	5 sccm
	BCl ₃	5 sccm
식각 시간	30 sec	
기판 온도	24 °C	

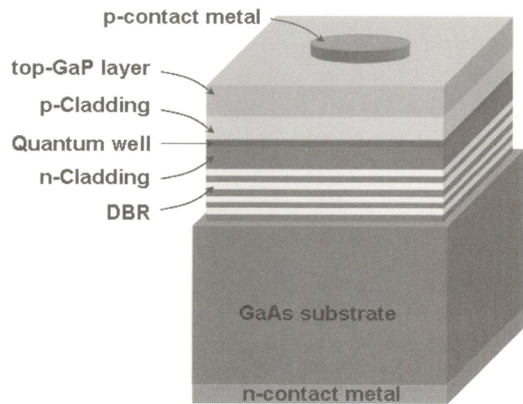


그림 1. 본 연구에서 제작된 발광 다이오드 칩의 구조.

Fig. 1. Structure of LED chip fabricated in this study.

되었다. 이렇게 제작된 칩의 구조는 $300\ \mu\text{m}\times 300\ \mu\text{m}$ 크기에 두께는 180 μm 로 이루어졌으며 칩 표면의 본딩 전극의 크기는 지름을 100 μm 로 하였다. 그림 1은 본 연구에서 제작된 발광 다이오드 칩의 구조를 보여주고 있다. 이렇게 제작된 AlGaInP 발광 다이오드 칩은 실제 응용분야에 적용되는 lamp 상태에서의 전기적·광학적 특성을 분석하기 위해 지름이 5 mm 크기인 램프 상태로 조립되었다.

2.2 특성 분석

Top-GaP 표면 위에 ICP 건식 식각을 이용한 나노 크기의 roughness 제작에 대한 미세구조 분

석은 전자현미경을 이용하였고 이때 발생하는 식각 깊이는 Alpha-step을 이용하여 측정하였다. 제작된 AlGaInP 발광 다이오드 램프의 전기적·광학적 특성은 KEITHLEY 2400 Source Meter로 구성된 광 계측 장비를 이용하여 분석되었다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 top-GaP 표면 위에 나노 크기의 roughness를 형성하기 위해 ICP 장비를 이용해 표면은 식각 후, 전자현미경으로 미세구조를 분석한 사진이다. 그림 1(a)는 저배율(X5000)에서 분석된 것으로 전체적인 균일한 roughness를 보이고 있다. 그림 1(b)는 고배율(X25000)로 분석된 것으로 약 100~300 nm 크기의 불규칙적인 roughness가 잘 형성된 것을 보여주고 있다. 본 연구에서 수행된 ICP 식각은 추가적인 포토 공정을 사용하지 않고 표면에 직접 식각한 것이다. Alpha step 장비를 이용해 식각 깊이를 측정된 결과, 식각 깊이는 약 0.4~0.6 μm 로 매우 얇게 나타났다. 결과적으로 top-GaP 표면 위에서 1 μm 깊이 이내에서 100~300 nm 크기의 roughness가 균일하게 형성되어 있음을 알 수 있다.

Top-GaP 표면 위에 형성된 나노 크기의 roughness가 실제 사용되는 발광 다이오드 패키지 상태에서 어떠한 특성의 변화를 보이는지 알아보기 위해 지름 5 mm의 발광 다이오드 램프로 제작하였다. 그림 3은 이렇게 제작된 발광 다이오드 램프에 대해 순방향 전류 인가에 따른 전압과 발광 휘도의 곡선을 나타낸 것이다. 순방향 전류가 증가함에 따라 ICP에 의해 식각되어 표면에 나노 크기의 roughness를 가진 발광 다이오드 램프의 전압이 기존 칩의 램프에 비해 약간 높게 나타났으며 20 mA에서는 약 0.08 V (= 2.17 V - 2.09 V) 상승하였다. 이는 top-GaP layer가 발광 다이오드 칩 표면에 전류를 퍼지도록 하는 전류 spreading layer로 작용하는데, 표면 위에 나노 크기의 roughness를 제작하기 위해 식각됨으로써 전류의 퍼짐이 다소 떨어지면서 상승된 것으로 사료된다. 그러나 630 nm 영역의 발광 다이오드 램프가 일반적으로 20 mA에서 2.4 V 이하의 구동되는 것이 스펙으로 되어있기 때문에 제품화시키는 것은 문제가 될 수준은 아니다. 또한, 이러한 문제는 top-GaP의 두께 및 도핑 농도의 증가로 개선될 수 있을 것으로 기대한다. 그러나 그림 2의 인가 전류에 따른 발광 휘도 분석에서 표면에 나노 크기의 roughness를 가진 발광 다이오드 램프의 휘도가 기존 칩의 램프에 비해 현저히 증가한 것을 나타내고 있다. 20 mA의 순방향 전류에서

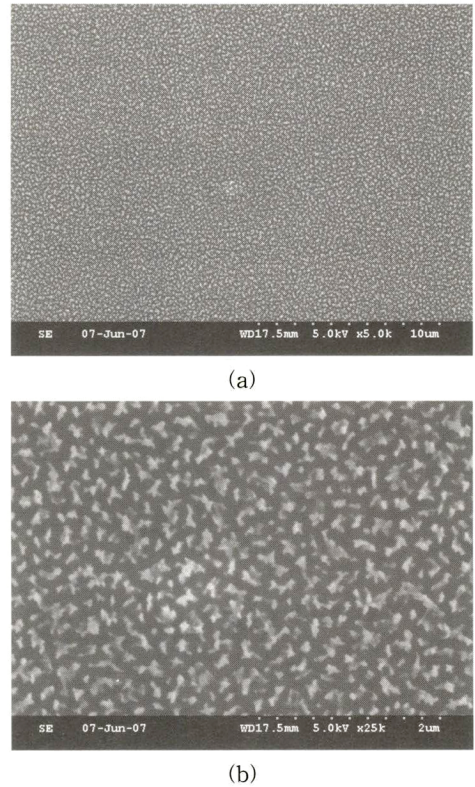


그림 2. ICP에 의해 식각된 top-GaP 표면의 미세구조 (a)X5000, (b)X25000.

Fig. 2. Microstructure of top-GaP surface etched ICP (a)X5000, (b)X25000.

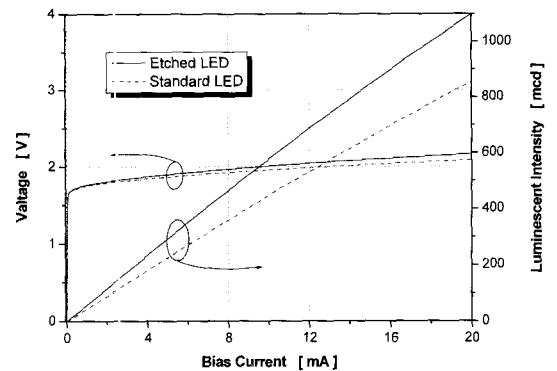


그림 3. 식각된 칩과 기존 칩으로 제작된 AlGaInP 발광 다이오드 램프에 대한 휘도-전류-전압 특성 곡선.

Fig. 3. L-I-V curves for AlGaInP LED lamps made of etched LED chips and standard chips.

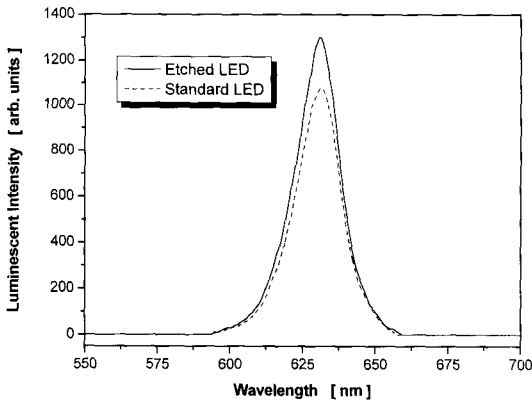


그림 4. 20 mA에서 식각된 칩과 기존 칩으로 제작된 AlGaInP 발광 다이오드 램프의 발광 스펙트럼.

Fig. 4. Luminescent spectrum of AlGaInP LED lamps made of etched LED chips and standard chips at 20 mA.

휘도의 개선은 약 28.5 % $(=(1098.8-853.5)/853.5)$ 로 나타났다. 이는 발광 다이오드 칩 표면과 램프 패키지 재료인 에폭시 사이에 나노 크기의 roughness가 존재함으로써 외부 양자효율이 개선됨으로써 휘도의 개선된 것으로 사료된다.

그림 4는 순방향 전류 20 mA에서 표면에 나노 크기의 roughness를 가진 발광 다이오드 램프와 기존 칩의 램프에 대한 발광 스펙트럼을 보여주고 있다. 그림 3의 인가 전류에 따른 휘도 곡선에서와 같이 나노 크기의 roughness를 가진 에칭된 발광 다이오드 칩의 램프가 기존 칩의 램프에 비해 높은 발광 세기를 나타내고 있다. 이러한 휘도 개선은 있지만 발광되는 파장의 변화는 보이고 있지 않다. 두 램프 모두 peak 파장이 약 631 nm를 보여, 발광 다이오드 칩 표면의 나노 크기의 roughness를 통해 파장의 변화 없이 휘도가 개선됨을 확인하였다.

기존의 발광 다이오드 칩 제조에 있어 휘도 개선을 위해 일반적으로 칩 표면을 습식 식각 방법을 통해 roughness를 제작하곤 한다. 그러나 이러한 습식 식각 방법은 웨이퍼 내의 roughness의 균일도가 떨어질 뿐만 아니라 일반적으로 roughness의 크기가 수~수십 마이크 수준이기 때문에 AlGaInP 발광 다이오드와 같이 MOCVD로 성장된 epitaxial 층이 얇은 칩에서는 적용할 수 없다. 본 연구에서 개발된 나노 크기의 roughness 공정은 top-GaP 표면에서 1 μm 이내에 만들어지며 이를

통해 외부 양자 효율을 향상시킴으로써 휘도를 개선시킬 수 있었다. 이러한 얇은 식각 깊이 내에서의 roughness 제조 공정은 wafer-bonding 기술과 접목시킬 수 있을 것으로 기대되며 그렇게 될 경우 더 큰 효율 개선을 가질 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 ICP 건식 식각 장비를 이용하여 AlGaInP 발광 다이오드의 top-GaP 표면 위에 나노 크기의 roughness를 제작하였다. 이 나노 크기의 roughness는 top-GaP 표면에서 1 μm 이내에서 형성되었으며, roughness 크기는 약 100~300 nm로 확인되었다. 실제 발광 다이오드 램프 상태에서 나노 크기의 roughness가 전기적·광학적 특성에 미치는 영향을 확인하기 위해 널리 사용되는 지름 5 mm의 램프로 조립하였다. Top-GaP 표면 위에 나노 크기의 roughness를 가진 발광 다이오드 램프는 20 mA에서 구동 전압이 약 0.08 V로 약간 상승되었으나 휘도의 개선은 기존 발광 다이오드 램프에 비해 28.5%로 현저한 상승을 보였다.

감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원사업(I-2004-0-074-0-00)에 의해 작성되었습니다.

참고 문헌

- [1] C. P. Kuo, R. Fletcher, T. Osentowski, M. Lardizabal, M. Craford, and V. Robbins, "High performance AlGaInP visible light-emitting diodes", *App. Phys. Lett.*, Vol. 57, p. 2937, 1990.
- [2] J. Kovac, L. Peternai, and O. Lengyel, "Advanced light emitting diodes structures for optoelectronic applications", *Thin Solid Films*, Vol. 433, p. 22, 2003.
- [3] Th. Gessmann and E. F. Schubert, "High-efficiency AlGaInP light-emitting diodes for solid-state lighting application", *J. Appl. Phys.*, Vol. 95, No. 5, p. 2203, 2004.
- [4] G. B. Stringfellow and M. Gworge Craford, "High brightness light emitting diodes-

- semiconductor and semimetals", New York: Academic, Vol. 48, 1997.
- [5] R. H. Horng, S. H. Huang, D. S. Wu, and Y. Z. Jiang, "Characterization of large-area AlGaInP/Mirror/Si light-emitting diodes fabricated by wafer bonding", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 43, No. 5A, p. 2510, 2004.
- [6] P. C. Liu, C. Y. Hou, and Y. S. Wu, "Wafer bonding for high-brightness light-emitting diodes via indium tin oxide intermediate layers", *Thin Solid Films*, Vol. 478, p. 280, 2005.
- [7] D. H. Kim, C. O. Cho, Y. G. Roh, H. S. Jeon, and Y. S. Park, "Enhanced light extraction from GaN-based light-emitting diodes with holographically generated two-dimensional photonic crystal patterns", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 87, p. 203508 1, 2005.
- [8] T. S. Kim, P. O. Leisher, A. J. Danner, R. Wirth, K. Streubel, and K. D. Choquette, "Photonic crystal structure effect on the enhancement in the external quantum efficiency of a red LED", *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 18, No. 17, p. 1876, 2006.
- [9] R. Windisch, C. Rومان, S. Meinschmidt, P. Kiesel, D. Zipperer, G. H. Döhler, B. Dutta, M. Kuijk, G. Borghs, and P. Heremans, "Impact of texture-enhanced transmission on high-efficiency surface-textured light-emitting diodes", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 79, p. 2315, 2001.