

# n-표면 거칠기가 형성된 AlGaInP 수직형 적색 발광다이오드의 광추출효율 증가

서재원<sup>a</sup>, 오화섭<sup>a</sup>, 송현돈<sup>b</sup>, 박경욱<sup>b</sup>, 유성욱<sup>b</sup>, 박영호<sup>b</sup>, 박해성<sup>b</sup>, 곽준섭<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>국립순천대학교 재료금속공학과, 순천 540-742

<sup>b</sup>에피플러스(주) 소자공정팀, 평택 451-833

(2008년 6월 2일 받음, 2008년 7월 9일 수정, 2008년 7월 9일 확정)

AlGaInP 기반 수직형 적색 LED (Light Emitting Diode)의 광추출효율을 증가시키기 위하여 화학적 etching 기술을 이용하여 n-AlGaInP 표면에 삼각꼴 모양의 거칠기를 형성하였다. Etching은 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 계의 용액을 이용하여 화학적 etching을 진행 하였다. AlGaInP etching은 광추출효율의 증가와 밀접한 관련을 갖고 있으며 AFM (Atomic Force Microscope)을 이용하여 AlGaInP 표면을 분석하여 약 44 nm의 RMS (root-mean-square) 거칠기가 형성됨을 알 수 있었다. 광추출효율은 기존 수직형 적색 LED보다 거칠기가 형성된 수직형 적색 LED에서 41%의 높은 발광 효율을 보임으로써 고효율 수직형 적색 LED의 가능성을 보였다.

주제어 : AlGaInP, Roughness, Vertical red LED, Chemical wet etching

## I. 서론

III-V 화합물 반도체 및 관련 이종접합 구조는 가시광에서부터 자외선에 이르는 광범위한 광전소자와 고효율-고주파수 전자소자에 아주 유용한 물질로 잘 알려져 있다 [1]. 이에 기초한 LED는 고효율의 빛이 재현됨에 따라 실내, 실외 인테리어, 신호등, 자동차 전조등을 포함한 다양한 분야에서 개발되어지고 있다[2]. 특히 GaAs 기판을 이용한 AlGaInP 기반의 고효율 LED는 적색에서 청색 영역까지의 다양한 빛의 재현이 가능하다. 양자소자 구현을 위한 양자구조 현상은 일반적으로 분자선 에피택시(molecular beam epitaxy, MBE)나 금속 유기 화학 증착법(metal organic chemical vapor deposition, MOCVD)과 같은 방법을 사용해서 이루어지는데[3] 에피 기술의 진보와 더불어 AlGaInP 기반의 LED는 100%에 가까운 내부 양자 효율을 보이고 있다[4]. 현재 가장 중요한 문제는 활성층 영역에서 발생하는 빛을 어떻게 외부로 빠져나오게 할 수 있는지가 큰 문제로 대두되고 있다. AlGaInP 기반의 고효율 적색 LED소자 제작은 GaAs 기판이 적색 영역에서 상당한 양의 빛을 흡수하는 문제와 내부 반사로 인하여 어려움을 겪고

있다[5]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 DBR (distributed Bragg relector) 구조가 제안 되었지만[6-7] DBR 구조는 직선으로 오는 빛에 한정되어 반사되기 때문에 광 효율 향상에 제한되어 있다[8]. GaAs 기판의 빛 흡수 문제를 해결하기 위하여 제안된 GaP 기판을 이용한 웨이퍼 본딩 방법은 높은 신뢰성과 효율을 갖는다고 보고된 바 있다[9-12]. 하지만 이 방법 또한 1시간 이상의 열처리 과정과 600°C의 고온에서 취급되어야 하는 단점을 갖는다 [13]. 외부양자효율을 높이기 위한 또 다른 방법으로는 AlGaInP 표면의 화학적 etching이나 일정한 패턴을 형성하여 광추출효율을 높이는 방법이 제시되고 있다[14-15]. 본 연구에서는 Si 기판을 이용한 325°C의 낮은 온도의 웨이퍼 본딩 과정을 통하여 GaAs 기판의 빛 흡수 문제를 해결하고 DBR 반사막 보다 높은 효율을 보인다고 보고된 바 있는 금속 반사막을 이용하여 반사효율을 높임과 동시에 n-AlGaInP 표면의 화학적 etching 과정을 통하여 거칠기를 형성하고 광추출을 높이는 실험을 진행하고자 한다.

## II. 실험방법

\* [전자우편] jskwak@sunchon.ac.kr

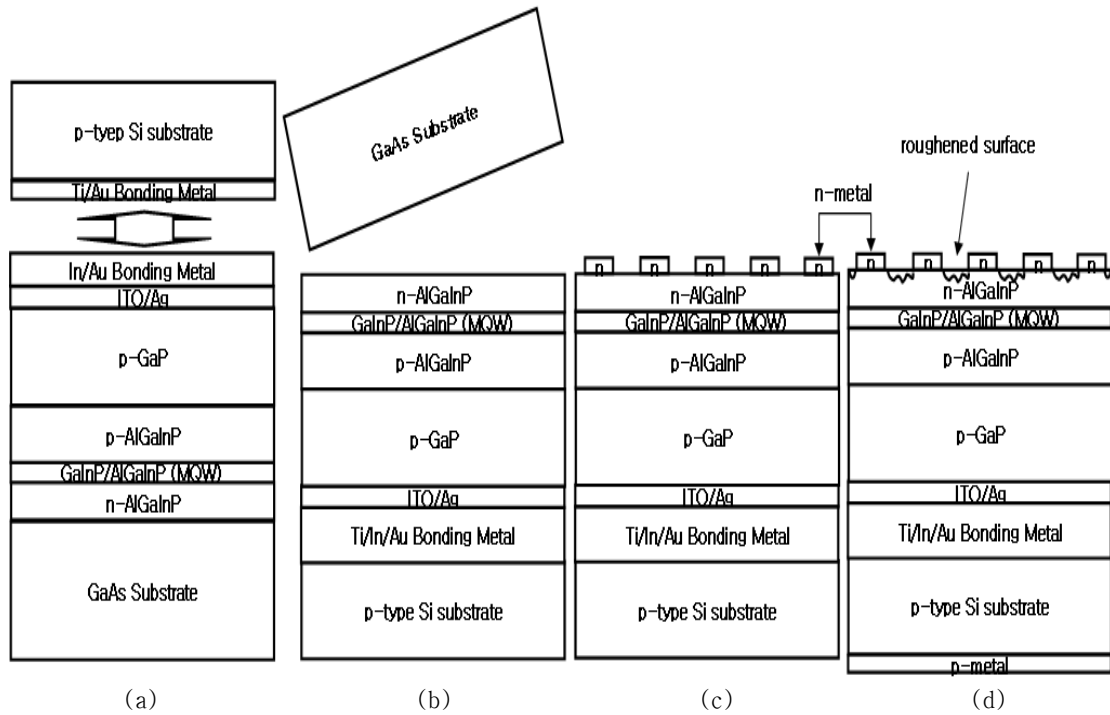


Fig. 1. Schematic diagram of wafer bonding process.

(a) wafer bonding (b) GaAs substrate removal (c) n-electrodes and roughening formation (d) p-electrodes formation

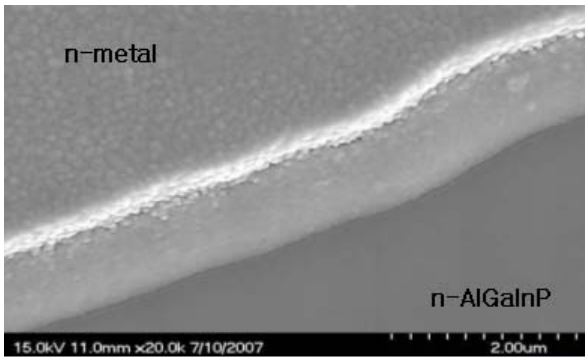
웨이퍼 본딩 구조의 LED 소자 제작을 위하여 GaAs 기판에 MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition)를 이용하여 620 nm AlGaInP 기반의 에피를 성장 하였다. 성장된 기판은 아세톤 유기 세정 후 BOE에 30초 산화막 제거 후 DI 세정을 10분간 진행 하였다. 웨이퍼 본딩 구조의 소자 제작은 Fig. 1에 간략히 제작 과정을 소개 하였다. Fig. 1의 (a)과정은 기판 표면의 p-GaP에 ITO를 sputtering하여 약 300 Å의 두께로 증착 하였고 열처리는 아르곤가스 30 sccm과 산소 1 sccm의 분위기에서 450 °C 열처리를 진행 하였다. 반사막 및 Si 기판 본딩을 위한 금속 증착은 Ag, In, Au등을 전자선 증착기를 이용하여 금속을 증착 하였고 본딩을 위하여 Si 기판위에 Ti, Au의 금속을 전자선 증착 후 BNP science사의 wafer bonder를 이용하여 325 °C 온도에서 본딩 작업을 수행하였다. Fig. 1 (b)과정의 GaAs 기판은 1.4 eV의 작은 에너지 band gap을 가지고 있으므로 620 nm의 영역에서도 상당한 양의 빛 흡수가 일어나기 때문에 GaAs 기판을 NH<sub>4</sub>OH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 계의 용액을 이용하여 GaAs 기판 제거작업을 진행하였다. Fig. 1의 (c)과정은 Ge (200 Å), Au (2000 Å)등의

metal을 이용하여 n-ohmic을 형성 하였고 Bonding pad metal은 Ti, Au를 전자선 증착 하였다. Fig. 1의 (d)과정은 HCL, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>등을 이용하여 웨이퍼 표면에 화학적 etching을 통한 거칠기를 형성하였고 etching 깊이는 약 7000 Å의 두께에 맞게 etching을 진행하였다. 웨이퍼의 낮은 저항을 위하여 Si 기판 위에 Ti (1000 Å), Au (2000 Å)를 증착하여 350°C 열처리를 하여 최종 수직형 LED 제작을 완성 하였다.

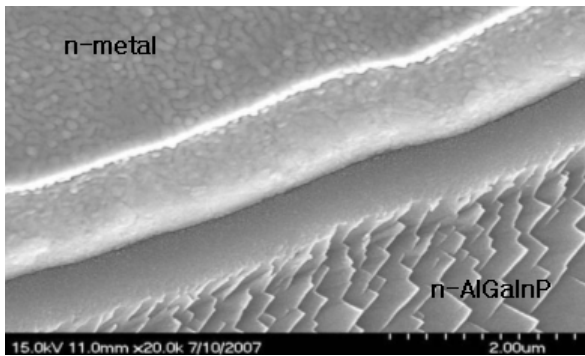
LED 소자의 전기적 특성은 ECOPIA 사의 EPS-100 모델을 이용하여 I-V curve를 측정하였고 전기적, 광학적 특성은 QMC 사의 LEP 2040 모델을 이용하여 probing 측정을 하였다.

### III. 결과 및 고찰

Fig. 2는 n-AlGaInP 표면의 거칠기가 형성된 LED와 거칠기가 형성되지 않은 LED의 SEM (Scanning Electron Microscope) 사진을 나타내었다. Fig. 2-(a)의 AlGaInP



(a)



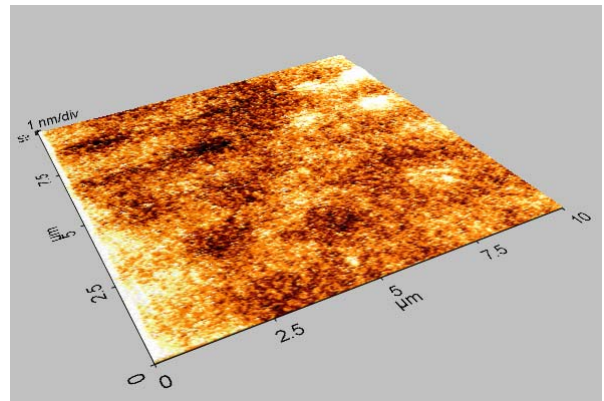
(b)

Fig. 2. SEM image of the n-side-up surface morphology of the AlGaInP

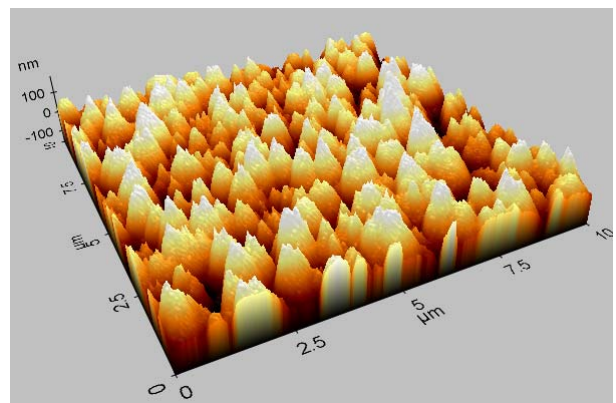
LED. (a) Flat n-side surface LED image. (b) n-side roughened surface LED image.

표면은  $H_3PO_4$  계의 화학적 etching 용액에 의하여 6분간 etching 되었으며 etching 후 Fig. 2-(b)의 삼각꼴 형태의 표면을 나타내었다. AlGaInP 표면에 거칠기를 형성한 Fig. 2-(b) 전극 주변의 AlGaInP 표면은 삼각꼴 모양 거칠기가 특정한 한쪽 방향으로 불규칙하게 형성되어있는 것을 볼 수 있다. 거칠기의 방향이 일정한 방향으로 기울어져 나타나는 것은 GaAs 기판의 성장 방향에 따라 표면 거칠기가 형성된 것이고 삼각꼴 모양의 형성은 AlGaInP 표면의 극성과 관련 되어 있다[15]. 이러한 현상은 GaN LED에서도 비슷한 현상이 보고된 바 있다[16].

Fig. 3은 AlGaInP 표면의 거칠기 형성 유, 무에 따른 AFM 사진을 나타내었다. AlGaInP etching 후의 AlGaInP etching 깊이는  $\alpha$ -step 측정 결과 약 7000 Å의 AlGaInP 표면이 화학적 etching 되었다. Fig. 3-(a)는 거칠기 형성 전의 평평한 AlGaInP 표면을 측정하여 평균 0.3 nm의 RMS (Root Mean Square)를 가졌고 Fig. 3-(b)의 거칠기



(a)



(b)

Fig. 3. AFM image of the n-side-up surface morphology of the AlGaInP

LED. (a) Flat n-side surface LED image. (b) n-side roughened surface LED image.

가 형성된 AlGaInP 표면은 약 440 Å의 거칠기가 형성됨을 알 수 있었다. Fig. 3-(b)의 입체 사진에서도 보이듯이 AlGaInP 표면은  $H_3PO_4$  계의 화학적 etching 용액에 의하여 매우 불균일하고 날카로운 모양의 거칠기가 고르게 분포하고 있는 것을 볼 수 있다.

Fig. 4는 수직형 적색 LED chip의 거칠기 형성 유, 무에 따른 광학 현미경 사진과 20 mA의 전류를 인가했을 때 나타나는 chip 발광 사진을 나타내었다. LED chip 표면은 Fig. 4의 광학 현미경 사진에서 보이듯이 표면 거칠기가 형성된 Fig. 4-(b)의 수직형 LED chip에서 AlGaInP 표면에 거칠기가 형성됨에 따라 빛이 반사되어 어두운 모습을 보였고 20 mA 전류 인가 후 발광 사진에서도 거칠기가 형성된 LED chip에서 눈에 띄게 밝은 사진이 관찰 되었다.

Fig. 5는 전기적 특성을 알아보기 위하여 20 mA의 전류

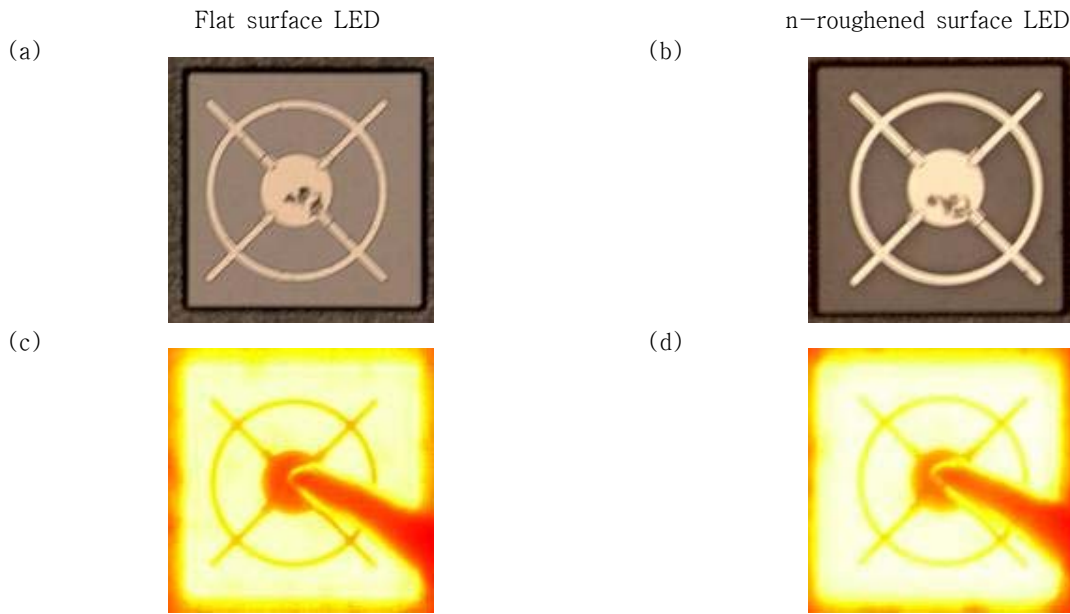


Fig. 4. Micrograph of AlGaInP LED with (a) flat n-side surface and (b) n-roughened surface. (c) and (d) are the corresponding filtered micrographs of the AlGaInP LED driven at dc current of 20 mA

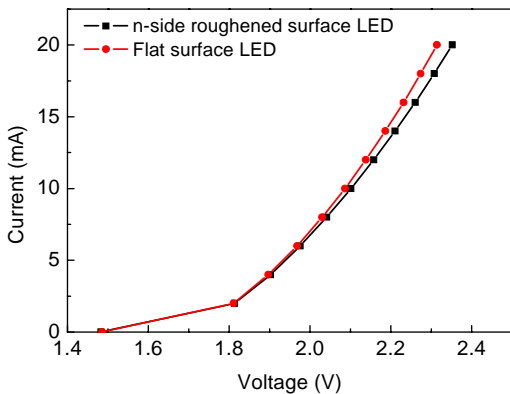


Fig. 5. I-V characteristics of flat surface LED and n-side roughened surface LED

를 인가 후 거칠기 형성 유, 무에 따른 I-V 곡선을 나타낸 그래프이다. 전류가 증가함에 따라 LED 소자의 전압 또한 비슷하게 증가 하였다. 하지만 거칠기가 형성된 수직형 LED의 소자는 20 mA에서 2.35 V의 voltage가 측정 되었고 거칠기가 형성되지 않은 수직형 LED 소자에서는 2.31 V를 나타내며 전압이 조금 낮은 경향을 보였다. 거칠기 형성 후의 voltage가 더 높게 측정되는 이유는 AlGaInP 표면 거칠기 형성 시 사용되는  $HPO_4$  계 화학적 etching 용액에 의한 것으로 사료 된다. AlGaInP 표면의 etching 깊이는 약 7000 Å으로 etching 시 용액의 전극 표면 및 전극 밑 부분의 AlGaInP 부분을 etching 시켜 전류의 흐름에 미세하게

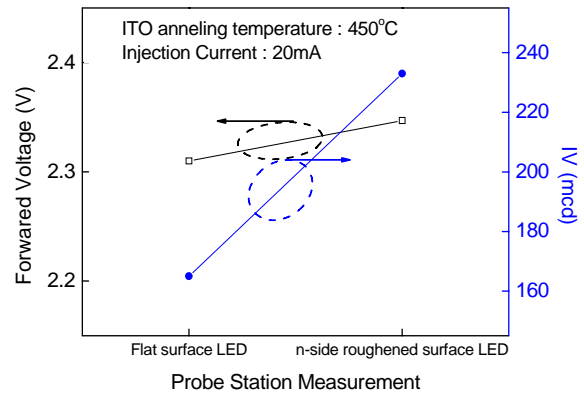


Fig. 6. Forward voltage and Brightness of flat surface AlGaInP LED and n-side roughened surface LED

영향을 준 것으로 판단된다.

Fig. 6은 수직형 적색 LED chip의 20 mA 전류 인가 시 전기적, 광학적 특성을 probe 장비를 이용하여 측정한 그래프이다. 거칠기가 형성되지 않은 수직형 적색 LED에서 2.31 V의 전압이 측정 되었고 거칠기가 형성된 수직형 LED는 2.34 V를 보이며 거칠기가 형성됨에 따라 약 0.03 V의 전압 상승을 보였다. 이는 Fig. 5에서 언급되었듯이 AlGaInP 표면이  $HPO_4$  계 용액에 etching 되는 과정에서 전극 및 전극 밑의 AlGaInP 부분이 etching 되면서 전류 흐름을 방해하는 것이 원인으로 보인다. 20 mA 전류 인가 시 나타나는 휘도는 표면 거칠기가 형성되지 않은 수직형 적

색 LED에서 165 mcd가 측정 되었고 표면 거칠기가 형성된 수직형 LED는 233 mcd가 측정 되었다. 휘도는 평평한 기판의 LED보다 거칠기가 형성된 LED에서 약 41%의 발광 효율을 나타내었다. 이로써 기존의 평평한 수직형 LED보다 n-AlGaInP 표면에 거칠기를 형성하여 임계각에서 빛이 나갈 수 있는 범위를 넓혀 줌으로써 광추출효율을 높일 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 광추출효율 증가를 위하여 AlGaInP 기반 수직형 적색 LED에 거칠기를 형성하였다. n-AlGaInP etching은  $\text{HPO}_4$  계 화학적 etching 용액을 이용하였고 6분 30초간 etching하여 약 7000 Å의 표면을 etching 하였다. SEM 측정 결과 n-AlGaInP 표면은 세모꼴모양을 형성하였고 GaAs 기판의 성장 방향에 따라 일정한 방향으로 etching 됨을 알 수 있었다. 또한 거칠기는 AFM 측정 결과 평균 440 Å의 삼각꼴 높이의 불균일한 거칠기가 형성됨을 알 수 있었다. 소자의 전기적 특성은 20 mA 전류 인가 시 거칠기 형성된 수직형 LED에서 2.34 V를 보이며 거칠기가 형성됨에 따라 약 0.03 V의 전압이 상승됨을 알 수 있었다. 거칠기가 형성된 수직형 LED의 휘도는 기존 수직형 LED보다 41%의 휘도 증가를 보이며 고휘도의 AlGaInP 기반의 LED 형성의 가능성을 보였다.

#### 감사의 글

본 과제는 교육인적자원부·산업자원부 출연금으로 수행한 산학협력중심대학 육성사업의 연구결과물입니다.

#### 참고문헌

- [1] S. J. Lee, J. O. Kim, C. S. Kim, S. K. Noh, and K. Y. Lim, *J. Kor. Vac. Soc.* **16**, 22 (2007).
- [2] Y. J. Lee, T. C. Lu, H. C. Kuo, S. C. Wang, M. J. Liou, C. W. Chang, T. C. Hsu, M. H. Hsieh, M. J. Jou, and B. J. Lee, *Jpn. J. Appl. Phys.* **45**, 643 (2006).
- [3] K. W. Jung, K. W. Kim, S. P. Ryu, N. K. Cho, S. J. Park, J. D. Song, W. J. Choi, J. Lee, and H. S. Yang, *J. Kor. Vac. Soc.* **16**, 371 (2007).
- [4] G. B. Stringfellow and M. G. Craford, *High Brightness Light Emitting Diodes* (Academic Press, Boston, (1997).
- [5] W. C. Peng and Y. S. Wu, *Appl. Phys. Lett.* **84**, 1841 (2004).
- [6] S. W. Chiou, C. P. Lee, C. K. Huang, and C. W. Chen, *J. Appl. Phys.* **87**, 2052 (2000).
- [7] H. Sugawara, K. Itaya, and G. Hatakoshi, *J. Appl. Phys.* **74**, 3189 (1993).
- [8] R. H. Horng, S. H. Huang, D. S. Wu, and C. Y. Chiu, *Appl. Phys. Lett.* **82**, 4011 (2004).
- [9] F. A. Kish, F. M. Steranka, D. C. DeFevre, D. A. Vanderwater, K. G. Park, C. P. Kuo, T. D. Ostentowski, M. J. Peanasky, J. G. Yu, R. M. Fletcher, D. A. Steigerwald, M. G. Craford, and V. M. Robbins, *Appl. Phys. Lett.* **64**, 2839 (1994).
- [10] G. E. Hofer, D. A. Vanderwater, D. C. DeFevre, F. A. Kish, M. D. Camras, F. M. Steranka, and I.-H. Tan, *Appl. Phys. Lett.* **69**, 803 (1996).
- [11] I. H. Tan, D. A. Vanderwater, J.-W. Huang, G. E. Hofler, F. A. Kish, E. I. Chen, and T. D. Ostentowski, *J. Electron. Mater.* **29**, 188 (2000).
- [12] F. A. Kish, D. A. Vanderwater, M. J. Peanasky, M. J. Ludowise, S. G. Hummel, and S. J. Rosner, *Appl. Phys. Lett.* **67**, 2060 (1995).
- [13] R. H. Horng, D. S. Wu, S. C. Wei, M. F. Huang, K. H. Chang, P. H. Liu, and K. C. Lin, *Appl. Phys. Lett.* **75**, 154 (1999).
- [14] Th. Gessmann and E. F. Schubert, *J. Appl. Phys.* **95**, 2203 (2004).
- [15] Y. J. Lee, T. C. Lua, H. C. Kuo, S. C. Wang, T. C. Hsub, M. H. Hsieh, M. J. Jou, and B. J. Lee, *Mater. Sci. Eng. B.* **138**, 157 (2007).
- [16] Y. Gao, T. Fujii, R. Sharma, K. Fujito, S. P. DenBaars, S. Nakamura, and E. L. Hu, *Jpn. J. Appl. Phys.* **43**, 637 (2004).

## Improved light extraction efficiency of vertical AlGaInP-based LEDs by n-AlGaInP surface roughening

Jae Won Seo<sup>a</sup>, Hwa Sub Oh<sup>a</sup>, Hyun Don Song<sup>b</sup>, Kyung Wook Park<sup>b</sup>, Seong Wook Ryu<sup>b</sup>,  
Yung Ho Park<sup>b</sup>, Hae Sung Park<sup>b</sup>, Joon Seop Kwak<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>*Department of Materials science and Engineering, Suncheon National University, Suncheon 540-742*

<sup>b</sup>*Epiplus Co. Ltd., Pyongtaek 451-833*

(Received June 2 2008, Revised July 9 2008, Accepted July 9 2008)

In order to increase extraction efficiency of AlGaInP-based vertical RED LEDs, chemical wet etching technique was produced by using a roughened surface with triangle-like morphology. A commonly used  $H_3PO_4$ -based solution was applied for chemical wet etching. The light extraction of AlGaInP LED was related to the n-side roughed surface morphology. The morphology of roughed surface is analyzed by the atomic force microscope (AFM). As a result, the roughed surface AlGaInP LED has a root-mean-square (RMS) roughness of 44 nm. The brightness shows 41% increase after roughening n-side surface, as compared to the ordinary flat surface LED.

\* [E-mail] jskwak@sunchon.ac.kr