

The characteristic of InGaN/GaN MQW LED by different diameter in selective area growth method

Seon Min Bae, Hunsoo Jeon, Gang Seok Lee, Se-Gyo Jung, Wi Il Yoon, Kyoung-Hwa Kim, Min Yang, Sam-Nyung Yi, Hyung Soo Ahn[†], Suck-Whan Kim*, Young-Moon Yu** and Hong-Ju Ha***

Department of Applied Sciences, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**Department of Physics, Andong National University, Andong 760-749, Korea*

***Pukyong National University LED-Marine Convergence Technology R&BD Center, Busan 608-739, Korea*

****CS Solution Co., Ltd., Busan 619-961, Korea*

(Received October 12, 2011)

(Revised October 24, 2011)

(Accepted November 11, 2011)

Abstract In general, the fabrications of the LEDs with mesa structure are performed grown by MOCVD method. In order to etch and separate each chips, the LEDs are passed the RIE and scribing processes. The RIE process using plasma dry etching occur some problems such as defects, dislocations and the formation of dangling bond in surface result in decline of device characteristic. The SAG method has attracted considerable interest for the growth of high quality GaN epi layer on the sapphire substrate. In this paper, the SAG method was introduced for simplification and fabrication of the high quality epi layer. And we report that the size of selective area do not affect the characteristics of original LED. The diameter of SAG circle patterns were choose as 2500, 1000, 350, and 200 μm . The SAG-LEDs were measured to obtain the device characteristics using by SEM, EL and I-V. The main emission peaks of 2500, 1000, 350, and 200 μm were 485, 480, 450, and 445 nm respectively. The chips of 350, 200 μm diameter were observed non-uniform surface and resistance was higher than original LED, however, the chips of 2500, 1000 μm diameter had uniform surface and current-voltage characteristics were better than small sizes. Therefore, we suggest that the suitable diameter which do not affect the characteristic of original LED is more than 1000 μm .

Key words Selective area growth, InGaN/GaN, Multi quantum well, MOCVD, Band-filling effect, Screening effect

선택성장영역 크기에 따른 InGaN/GaN 다중양자우물 청색 MOCVD-발광다이오드 소자의 특성

배선민, 전현수, 이강석, 정세교, 윤위일, 김경화, 양민, 이삼녕, 안형수[†], 김석환*, 유영문**, 하흥주***

한국해양대학교 응용과학과, 부산, 606-791

*안동대학교 물리학과, 안동, 760-749

**부경대학교 산학협력단 LED-해양융합기술연구센터, 부산, 608-739

***CSsol(주), 부산, 619-961

(2011년 10월 12일 접수)

(2011년 10월 24일 심사완료)

(2011년 11월 11일 게재확정)

요약 일반적으로 mesa 구조의 발광다이오드 제작은 MOCVD법으로 수행되고 있다. 특히 개개의 발광다이오드 칩을 식각하고 분리하기 위해서 발광다이오드는 반응성이온식각(RIE)공정과 절단(scribing) 공정을 거치게 된다. 플라즈마를 이용한 건식식각공정인 RIE 공정은 결함, 전위, 표면의 땀글링 본드 형성과 같은 몇 가지 문제점을 유발하고, 이러한 이유로 인해 소자 특성을 저하시킨다. 선택영역성장법은 사파이어 기판 위에 고품질의 GaN 에피층을 성장시키는 방법으로써 주목 받고 있다. 본 논문에서는 고품질의 막을 제작하고 공정을 간소화하기 위해서 선택영역성장법을 도입하였고, 기존의 발광다이오드 특성에 영향을 주지 않는 선택영역의 크기를 규정하고자 한다. 실험에 사용된 원형의 선택성장영역의 직경크기는

[†]Corresponding author

Tel: +82-51-410-4781

Fax: +82-51-404-3986

E-mail: ahnhs@hhu.ac.kr

2500, 1000, 350, 200 μm 이고, 선택성장 된 발광다이오드의 소자 특성을 얻고자 SEM, EL, I-V 측정을 시행하였다. 주된 발광파장의 위치는 직경크기 2500, 1000, 350, 200 μm 에서 각각 485, 480, 450, 445 nm로 측정되었다. 직경 350, 200 μm 에서는 불규칙한 표면과 기존 발광다이오드보다 높은 저항 값을 얻을 수 있었지만, 직경 2500, 1000 μm 에서는 평탄한 표면과 앞서 말한 350, 200 μm 의 특성보다 우수한 전류-전압 특성을 얻을 수 있었다. 이러한 결과들로 기존 발광다이오드의 특성에 영향을 주지 않는 적당한 선택성장 직경크기는 1000 μm 이상임을 확인하였다.

1. 서 론

III-V족 질화물 반도체는 widegap 반도체로써 넓은 띠틈 간격을 갖는 반도체이다. 응용 범위는 제작한 발광수광 소자의 허용파장 범위는 1.9에서 6.2 eV까지로, 가시광의 녹색, 청색, 보라색 그리고 자외선 영역을 구현할 수 있다[1-5]. 질화물 반도체의 주된 응용분야인 발광다이오드의 제작과정은 일반적으로 에피성장, 칩공정, 패키징, 모듈공정으로 분류가 가능하다. 에피성장공정은 주로 유기금속화합물증착법(Metal Organic Chemical Vapor Deposition)을 사용하고, 칩공정에서는 성장된 발광다이오드 에피층을 개개의 칩으로 나누기 위해 반응성이온식각(Reactive Ion Etching) 등의 과정을 거친다. 반응성이온식각은 플라즈마에 의해 결합, 전위, 표면의 덩글링 본드형성 등의 여러 가지 요인을 가지고 소자의 특성 저하와 직접적인 관계가 있다고 보고되고 있다[6].

일반적으로 GaN 기반의 발광다이오드 제작에는 사파이어 기판을 사용하는데, 기판과의 격자부정합으로 인하여 GaN 에피층의 결정결함, 열적 스트레스로부터 결함이 발생 혹은 웨이퍼가 휘는 현상이 발생되기 때문에 칩의 활성층에 10^8cm^{-2} 이상의 큰 전위밀도를 야기한다 [7]. 이러한 결함은 이종접합간의 변형을 초래하여, 소자 특성과 공정수율이 나빠지게 된다.

고품질의 박막을 성장하기 위해 격자 부정합 구조의 기판으로 인한 결정결함을 해결하고자 제시된 성장방법 들에는 여러가지가 있다. 그 중 대표적인 것은 epitaxial lateral over growth(ELOG), 선택영역성장(selective area growth, SAG) 등이다. ELOG 기술은 이미 성장된 약 1~2 μm 의 GaN 위에 부분적으로 얇은 SiO_2 , Si_3N_4 등을 패터닝하여 초기성장단계에서 발생하는 전위의 수직 전파를 막는 방법이다. 본 논문에서 사용 된 선택영역성장법(selective area growth)은 전위밀도와 층간의 휨 현상을 줄여주는 방법으로 알려져 화합물반도체 결정성장 에서 즐겨 사용되던 기술로써 [8, 9], 앞서 언급한 ELOG 성장 기술과 비교했을 때 패터닝 모양에 차이를 두고 있을 뿐 성장과정은 거의 비슷하다. 선택성장법을 이용 한다면 건식 식각으로 인한 플라즈마에 의한 손상의 염려 없이 공정을 단순화 하여 양질의 에피층을 갖는 발광다이오드를 성장 할 수 있다. 그리고 양자점, 양자선 과 같은 미소구조의 소자구현이 가능해지는 장점 또한

가지고 있다[10]. 본 논문에서는 건식식각의 단점을 보완하고 공정을 단순화시킬 수 있는 선택영역성장법을 도입하여 유기금속화합물증착법으로 발광다이오드구조 제작 시 선택 성장되는 영역크기에 변화를 주어 기존의 발광다이오드 특성에 영향을 주지 않는 소자크기를 분석하였다.

2. 실험방법

1.5 μm 높이의 반구형의 패턴을 가지는 사파이어 기판을 세척과 N_2 건조과정을 거친 후 유기금속화합물증착 장비에 장착하였다. 사파이어 기판과의 격자부정합으로 인한 결함을 줄이고 양질의 GaN template를 얻기 위하여 $5.0 \times 10^2 \text{mbar}$, 600°C 에서 저온 GaN 버퍼층을 성장한 후 $2.5 \times 10^2 \text{mbar}$, 1280°C 로 성장조건을 바꾸어 Si이 도핑 된 n형 GaN template를 성장하였다. RF-sputter 장비를 이용하여 Ar 분위기에서 약 3000 Å의 SiO_2 을 증착 한 후, 1차 포토리소그래피 공정을 통하여 2500, 1000, 350, 200 μm 의 4가지 직경의 선택성장 패턴을 완성하였다. 패턴이 형성된 시료를 유기금속화합물증착 장비에 장착하여 발광다이오드 에피층을 성장하였다. 발광다이오드 에피층의 구조는 Si이 도핑 된 n-AlGaIn 층, InGaIn/GaN 다중양자우물 활성층, Mg이 도핑된 p-GaN 층의 순서로 적층하였고 수송가스는 N_2 와 H_2 를 사용하였다. 발광다이오드 에피층의 성장이 끝난 후, 전극 형성

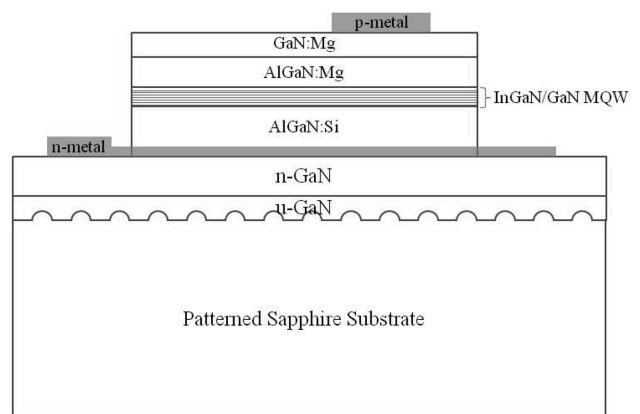


Fig. 1. The schematic of the InGaIn/GaN MQW-SAG LED.

을 위해 2차 포토리소그래피 공정을 통하여 금속패턴을 형성하고, e-beam evaporator를 이용하여 p형과 n형 전극으로 모두 사용할 수 있는 Cr/Ni/Au를 각각 150/150/500 Å 두께로 증착하였다. Fig. 1은 제작된 InGaN/GaN 발광다이오드의 구조도이다. 오믹접촉을 위하여 N₂ 분위기 600°C에서 5분간 열처리를 실시하였다. 제작된 선택 성장 발광다이오드는 SEM(scanning electron microscope), EL(electroluminescence), 전류-전압 특성곡선의 측정을 통하여 구조적, 광학적, 전기적 특성을 분석하였다.

3. 실험결과 및 논의

유기금속화합물증착법으로 성장한 2500, 1000, 350, 200 μm의 4가지 직경크기를 갖는 선택성장 발광다이오드의 표면, 측면, 단면의 특징을 관찰하기 위하여 SEM 측정을 하였다. Fig. 2은 각각 선택성장 직경크기에 따른 표면과 사면 SEM 사진이다. 두 사진을 함께 관찰한 결과 직경 2500와 직경 1000 μm의 에피면은 대체로 평탄하고 균일한 반면에 직경 350 μm과 직경 200 μm의 에

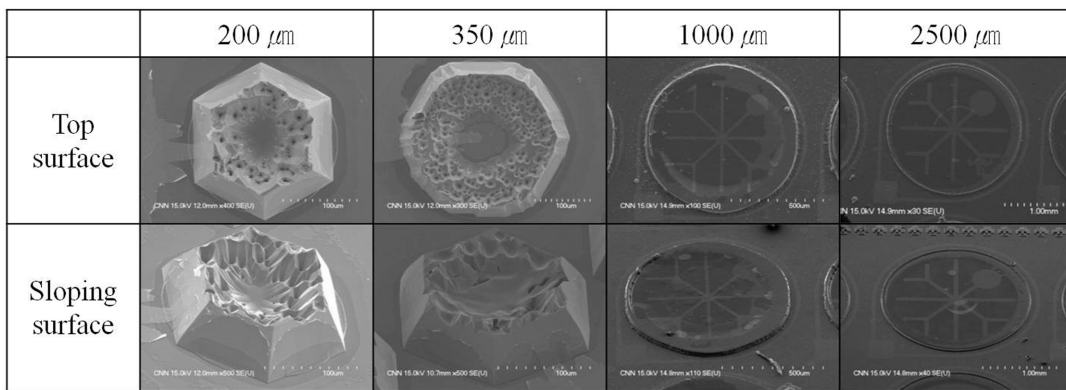


Fig. 2. The top and sloping surface SEM images of the InGaN/GaN MQW-SAG LEDs.

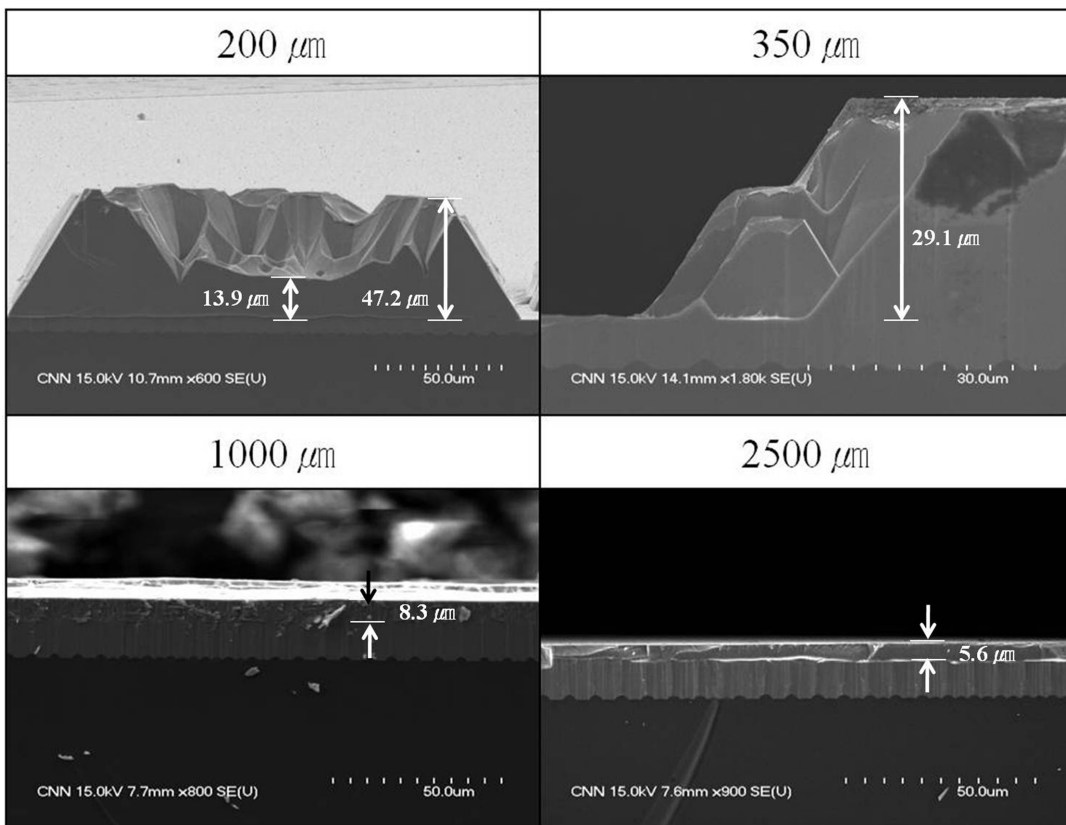


Fig. 3. The cross-sectional SEM images of the InGaN/GaN MQW-SAG LEDs.

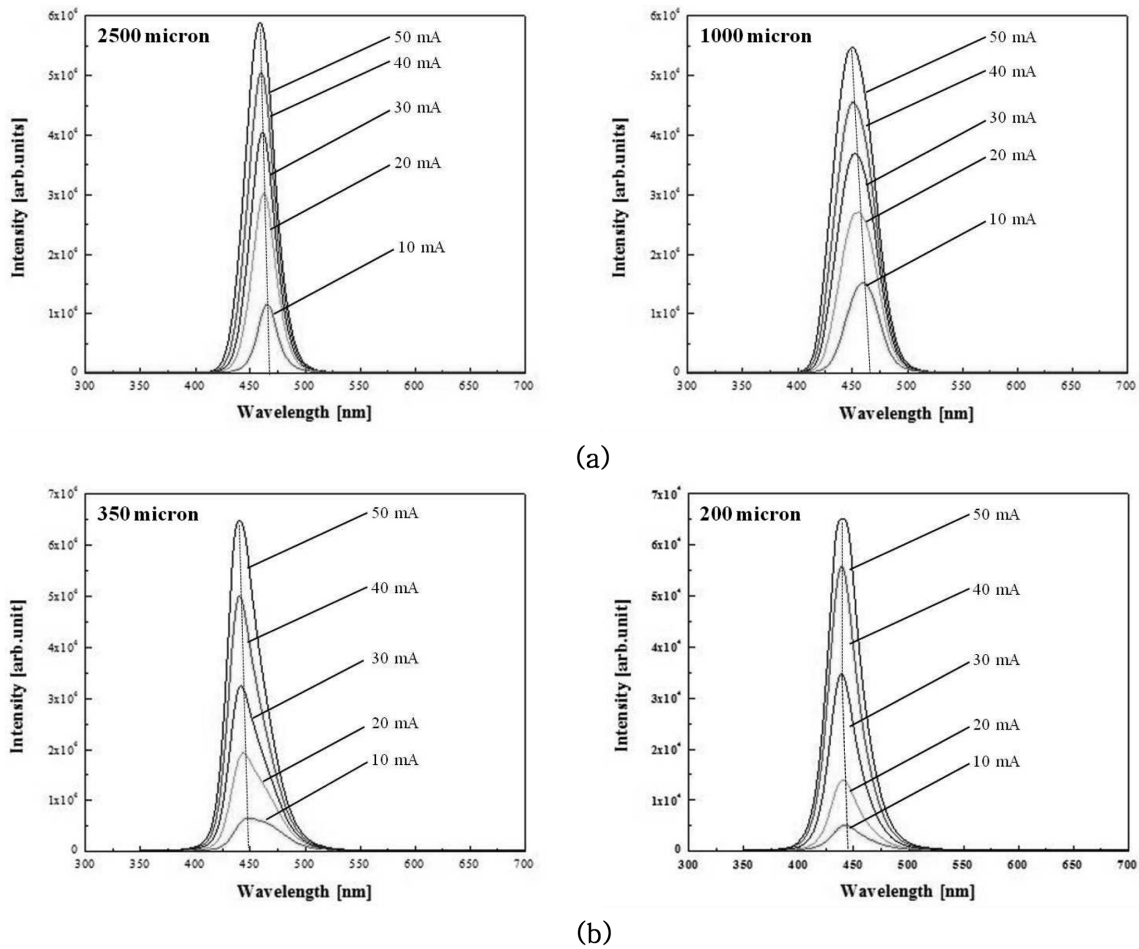


Fig. 4. Room-temperature electroluminescence (EL) spectra of the InGaN/GaN MQW-SAG LEDs at different injection current.

피면에서는 불규칙적으로 거칠고 화산분화구와 같은 표면을 볼 수 있었고, 에피의 형태는 육방정계(hexagonal)에 가까운 것을 확인할 수 있었다. 또한 직경크기에 따라 에피층의 두께변화를 알아보기 위하여 4가지 직경크기의 에피층 단면을 측정하였다. 그 결과, Fig. 3처럼 에피층의 두께는 직경 2500, 1000, 350, 200 μm 영역에서 각각 5.6, 8.3, 29.1, 47.2 μm 로 관찰되었다. 선택성장 패턴의 직경크기가 작아질수록 에피층의 두께는 두꺼워지고 1000 μm 이하의 350 μm , 200 μm 크기의 영역에서는 칩의 중심부와 가장자리의 두께차이가 크게 나타나 칩의 중심부보다 가장자리의 두께가 더 두꺼운 것을 확인하였다. 본 실험에서 활성층으로 사용된 InGaN/GaN 다중양자우물 구조는 육방정계 구조로써, 에피층의 최상 단면은 (0001)면이다. (0001)면의 안정적인 결정면 형성을 위해서 전구물질(precursor)의 흡탈착이 균형을 이루어야 한다. 선택성장공정에서 성장영역과 마스크 영역의 선택도는 흡착원자들의 이주 길이가 마스크 영역의 두 배 이하일 때 잘 보존된다[11, 12]. 또한, 마스크 영역의 증가할수록 채움비율(filling ratio)이 감소한다[12]. 이러한 이유로 각각의 선택성장 영역 크기마다 표면특성이

다르게 나타났다고 판단되었다. 하지만 InGaN/GaN 구조의 facet면은 성장온도, TMG 유량과 NH_3 분압에 의해 조절이 가능하므로[13], 직경크기에 따라 성장조건에 변화를 주어 조절한다면 평탄한 에피 표면을 얻을 수 있을 것이다.

선택성장 발광다이오드 구조를 성장하여 전극형성까지 마친 후 발광파장의 특성을 알아보기 위해 EL 스펙트럼을 측정하였다. Fig. 4(a)와 (b)는 선택성장 직경크기 별 주입전류에 따른 EL 스펙트럼으로써 주입전류를 10~50 mA까지 변화시켜 측정하였다. 각 크기 별 중심 발광 파장의 위치는 직경크기 2500 μm 일 때 485 nm로 측정되었고, 직경크기 1000 μm 일 때 480 nm, 직경크기 350 μm 일 때 450 nm, 직경크기 200 μm 일 때 445 nm로 측정되었다. 주입전류가 증가 할수록 스펙트럼의 세기는 증가하였고, 선택성장 직경크기가 작아질수록 청색 이동현상이 나타났다. Fig. 5는 20 mA의 전류를 주입하였을 때, 선택성장 직경에 따른 발광파장의 위치이며, 직경크기가 작아질수록 두드러지는 청색 이동현상을 볼 수 있다. 이러한 청색 이동현상은 실험조건과 방법에 따라 여러 가지 원인이 있는데 본 연구에서 발생한 청색 이동

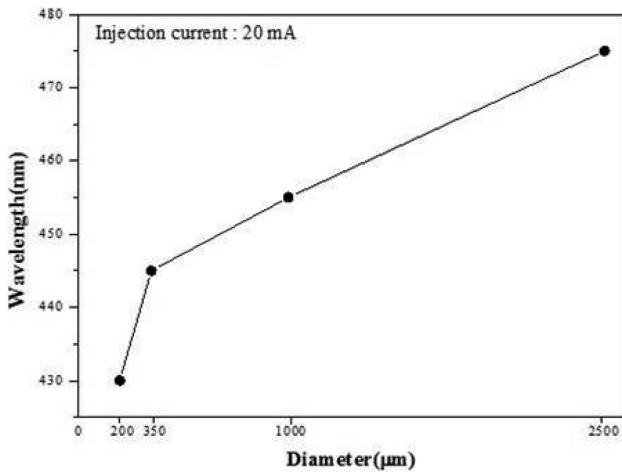


Fig. 5. The electroluminescence main peak positions at different injection current (injection current: 20 mA).

현상은 선택성장 직경크기에 따른 에피표면의 변화에 의한 것으로 판단되었다. 선택영역 크기의 변화로 직경이 작아질수록 에피층의 표면이 불균일하게 되면서 전자 채움효과(filling effect)의 영향을 받은 것으로 판단된다. EL spectrum 측정의 경우 양자우물이 뿔족한 상태에서 캐리어를 계속 공급하면 과잉 주입된 캐리어에 의하여 가리개효과(screening effect)가 작용하여[14, 15] 밴드단 포텐셜에 변화가 생긴다. 과잉 도너와 인력작용으로 끌려온 양전하에 의해 포텐셜은 다시 완화되고, 여기에 캐리어가 더 주입될 경우 밴드채움효과(band-filling effect)에 의해 blue shift가 일어나게 된다[16].

전기적 특성을 알아보기 위하여 전류-전압을 측정하였다. 2인치 웨이퍼 전 영역에 대해 균일한 특성에 대한 경향을 알아보기와 전류-전압 mapping을 통하여 측정하고 그 평균치를 Table 1에 나타내었다. Table 1에 나타난 것과 같이 주입전류가 20 mA일 때의 4가지 선택영역 직경 2500, 1000, 350, 200 μm에 대한 forward 전압은 각각 3.15, 3.35, 3.55, 3.60 V로 측정되었고, 평균 시리즈저항은 각각 25, 49, 54, 98 Ω으로 확인되었다. Fig. 6은 직경크기에 따른 대표적인 전류-전압 측정결과 중 대표적인 것을 도식화한 그래프이다. Table 1과 Fig. 5의 결과로 미루어 보면, 선택성장 패턴 없이 건식 식각 공정을 거친 기존의 발광다이오드와 비교해보았을 때 2500 μm, 1000 μm의 영역은 전기적 특성이 개선된 것

Table 1
The Forward voltage and series resistance by different diameter in selective area growth method (injection current: 20 mA)

	2500 μm	1000 μm	350 μm	200 μm
Forward voltage (V)	3.15	3.35	3.55	3.60
Series resistance (Ω)	24.61	48.92	54.46	98.13

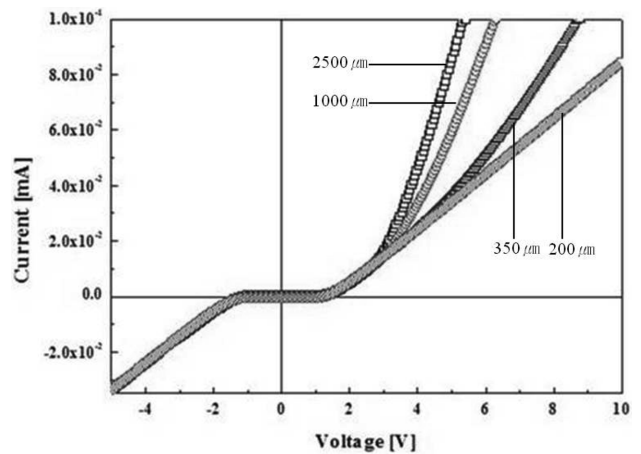


Fig. 6. The current-Voltage (I-V) characteristic of the InGaN/GaN MQW-SAG LEDs.

을 확인 할 수 있었다. 하지만 350, 200 μm의 영역은 기존 발광다이오드보다 저항이 높게 측정되었는데 이것은 표면의 거칠기로 인하여 금속전극과 탐침과의 접촉 시에 발생하는 저항 때문인 것으로 판단된다. 따라서, 발광특성이 기존의 발광다이오드의 특성에 영향을 미치지 않은 범위 내에서의 선택성장 직경크기로 판단되는 2500 μm, 1000 μm의 영역은 기존 발광다이오드 공정에서 사용되는 건식 식각공정을 선택성장법으로 대체하여 플라즈마에 의한 손상을 줄이고 공정단계를 간소화하면서 기존 발광다이오드의 전기적 특성을 유지할 수 있다고 판단되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 발광다이오드 칩 공정에서 사용되는 건식 식각 공정의 단점을 보완하고 공정의 단순화를 위하여 유기금속화합물증착 장비를 이용하여 선택영역성장법으로 발광다이오드를 제작하였다. SEM 측정을 통해서 선택성장영역의 직경크기가 작아질수록 표면이 마치 화산분화구와 같이 불규칙하고 거칠어짐을 확인하였다. 이것은 마스크 영역의 증가에 따른 채움비율에 감소에 의한 것으로 판단된다. EL 측정결과 주된 발광파장은 485에서 445 nm로 선택영역의 크기가 작아질수록 청색이동 현상을 관찰할 수 있었는데, 이러한 현상은 뿔족한 우물에 주입된 과잉캐리어에 의해 발생한 밴드채움효과 때문으로 판단된다. 전기적 특성을 알아보기 위해 전류-전압을 측정한 결과 선택성장영역 직경크기가 작아질수록 저항이 현저히 높아짐을 볼 수 있었고, 기존의 LED보다 개선된 전류-전압특성을 보이는 직경크기는 1000 μm 이상이었다. 이러한 결과들을 바탕으로 평탄한 에피면을 갖고, 기존의 패턴없이 건식식각 공정을 거쳐 제작된 발

광다이오드의 특성에 영향을 주지 않는 선택성장영역 직경크기는 1000 μm 이상임을 확인하였고, 1000 μm 이하의 직경크기의 또한 여러 가지 성장조건에 facet면의 제어 가능하므로 직경크기에 따라 성장조건을 달리한다 면 간소화된 공정으로 개선된 특성을 갖는 발광다이오드의 제작이 가능하다고 기대된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 산업원천기술개발사업(과제번호: 10037416, 해양 LED 융합기술지원 기반구축 및 상용화 기술개발)으로 지원된 연구임.

참 고 문 헌

[1] J.C. Wang, C.H. Fang, Y.F. Wu, W.J. Chen, D.C. Kuo, P.L. Fan, J.A. Jiang and T.E. Nee, "The effect of junction temperature on the optoelectrical properties of InGaN/GaN multiple quantum well light-emitting diodes", *Journal of Luminescence* 132 (2012) 429.

[2] H.C. Lee, J.B. Park, J.W. Bae, P.T.T. Thuny, M.C. Yoo and G.Y. Yeom, "Effect of the surface texturing shapes fabricated using dry etching on the extraction efficiency of vertical light-emitting diodes", *Solid-State Electronics* 52 (2008) 1193.

[3] Y.S. Wang, N.C. Chen, C.Y. Lu and J.F. Chen, "Optical joint density of states in InGaN/GaN based multiple-quantum-well light-emitting diodes", *Physica B: Condensed Matter* 406 (2011) 4300.

[4] B. Beaumont, S. Haffouz, P. Gibart, M. Leroux, Ph. Lorenzini, E. Calleja and E. Munoz, "Violet GaN based light emitting diodes fabricated by metal organics vapour phase epitaxy", *Materials Science and Engineering: B* 50 (1997) 296.

[5] C. Wetzel, M. Zhu, J. Senawiratne, T. Detchprohm, P. D. Persans, L. Lin, E.A. Preble and D. Hanser, "Light-emitting diode development on polar and non-polar GaN substrates", *Journal of Crystal Growth* 310 (2008) 3987.

[6] R.J. Shul, L. Zhang, A.G. Baca, C.G. Willison, J. Han, S.J. Pearton, F. Ren, J.C. Zolper and L.F. Lester, "High-density plasma-induced etch damage of GaN", *Materials Research Society* 573 (2000) 271.

[7] H.Y. Shin, S.K. Kwon, Y.I. Chang, M.J. Cho and K.H. Park, "Reducing dislocation density in GaN films using a cone-shaped patterned sapphire substrate", *Journal of Crystal Growth* 311 (2009) 4167.

[8] Y. Cordier, F. Semon, J.C. Moreno, E. Fragssinet, B. Benbakhti, Z. Cao, S. Chenot, L. Nguyen, O. Tottereau, A. Soltani and K. Blary, "Selective area growth of GaN-based structures by molecular beam epitaxy on micrometer and nanometer size patterns", *Materials Science in Semiconductor Processing* 12 (2009) 16.

[9] J. Tourret, O. Gourmala, Y. Andre, A. Trassoudaine, E. Gil, D. Castelluci and R. Cadoret, "A complete crystallographic study of GaN epitaxial morphologies in selective area growth by hydride vapour phase epitaxy (SAG-HVPE)", *Journal of Crystal Growth* 311 (2009) 1460.

[10] X.J. Chen, J.S. Hwang, G.P. Merceroz, S. Landis, B. Martin, D.L.S. Dang, J. Eymery and C. Durand, "Wafer-scale selective area growth of GaN hexagonal prismatic nanostructures on c-sapphire substrate", *Journal of Crystal Growth* 322 (2011) 15.

[11] K. Hiruma, T. Haga, K. Kopolnek, A.C. Abara, H. Masui, L.A. Coldren, U.K. Mishra and S.P. DenBaars, "Surface migration and reaction mechanism during selective growth of GaAs and AlAs by metalorganic chemical vapor deposition", *Journal of Crystal Growth* 102 (1990) 717.

[12] T.S. Oh, K.J. Lee and K.Y. Lim, "Selective area growth and properties of truncated-pyramid InGaN/GaN MQW structure on Si(111) substrate with various filling ratios", *Journal of the Korean Physical Society* 49 (2006) S745.

[13] K. Hiramatsu, K. Nishiyama, M. Onishi, H. Mizutani, M. Narukawa, A. Motogaito, H. Miyake, Y. Iyechika and T. Maeda, "Fabrication and characterization of low defect density GaN using facet-controlled epitaxial lateral overgrowth (FACELO)", *Journal of Crystal Growth* 221 (2000) 316.

[14] P.G. Eliseev, P. Perlin, J. Lee and M. Osinski, "Blue temperature-induced shift and band-tail emission in InGaN-based light sources", *Applied Physics Letter* 71 (1997) 569.

[15] Y.H. Cho, G.H. Gainer, A.J. Fisher, J.J. Song, S. Keller, U.K. Mishra and S.P. DenBaars, "S-shaped temperature-dependent emission shift and carrier dynamics in InGaN/GaN multiple quantum wells", *Applied Physics Letter* 73 (1998) 1370.

[16] C.H. Qiu, C. Hoggatt, W. Melton, M.W. Leksono and J.I. Pankove, "Study of defect state in GaN films by photoconductivity measurement", *Applied Physics Letter* 66 (1995) 2712.