

제조 공정의 개선을 통한 백색 LED 칩의 성능 개선

류장렬^{1*}

¹공주대학교 전기전자제어공학부

The Improvement for Performance of White LED chip using Improved Fabrication Process

Jang-Ryeol Ryu^{1*}

¹Division of Electrical Electronic & Control Eng., Kongju National University

요 약 LED는 저 전력, 긴 수명, 고 휘도, 빠른 응답, 친환경적인 특성의 여러 장점을 갖고 있기 때문에 청색과 녹색 LED는 교통신호, 옥외 디스플레이, 백색 LED는 LCD 후면광 등의 응용 제품에 사용되고 있다. 여기서 LED의 성능을 향상하기 위하여 출력전력과 소자의 신뢰성을 높이고, 동작전압을 낮추어야 LED 칩의 고효율화가 이루어져야 하는데, 이는 에피택셜층, 표면요철, 패턴이 있는 사파이어 기판, 칩 설계의 최적화, 특수 공정의 개선 등의 기술이 우수해야 한다. 본 연구에서는 측면 에칭 기술과 절연층 삽입기술을 이용하여 사파이어 에피 웨이퍼 위에 GaN-기반 백색 LED 칩을 제작하여 그 성능을 조사하였다. LED 칩의 성능을 개선하기 위한 최적화 설계와 CBL(current blocking layer) 삽입 기술의 개선된 공정을 통하여 LED 칩 성능의 향상을 확인할 수 있었으며, 출력 전력은 광 출력 7cd, 순방향 인가전압 3.2V의 값을 얻었다. 현재의 LCD 후면광원으로 사용되고 있는 LED 칩의 출력에 비하여 성능이 개선되었으며, 의료기기 및 LCD LED TV의 후면광원으로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract LEDs are using widely in a field of illumination, LCD LED backlight, mobile signals because they have several merits, such as low power consumption, long lifetime, high brightness, fast response, environment friendly. To achieve high performance LEDs, one needs to enhance output power, reduce operation voltage, and improve device reliability. In this paper, we have proposed that the optimum design and specialized process could improve the performance of LED chip. It was showed an output power of 7cd and input supplied voltage of 3.2V by the insertion technique of current blocking layer. In this paper, GaN-based LED chip which is built on the sapphire epi-wafer by selective MOCVD were designed and developed. After that, their performances were measured. It showed the output power of 7cd more than conventional GaN-based chip. It will be used the lighting source of a medical equipment and LCD LED TV with GaN-based LED chip.

Key Words : GaN-based material, Improved process, Output power, Forward voltage, Improved process

1. 서론

LED를 이용하는 경우 광변환 효율이 높고 낮은 전압을 사용하기 때문에 소비전력이 적으며 소형화, 박형화, 경량화, 수명이 반영구적이라는 장점을 갖고 있다. 최근 GaN에 기반한 청색, 녹색, UV파장 대역의 LED가 연구

되고 있는데, 이들 청색과 녹색 LED는 교통신호, 옥외 디스플레이, LCD 후면광 등의 응용 제품에 사용되고 있다. 여기서 LED의 성능을 향상하기 위하여는 출력과 소자의 효율을 높이고, 동작전압을 낮추어야 한다.[1-4]

이러한 LED가 여러 제품에 응용되기 위하여 효율이 우수해야 한다. 효율은 에피층(epi-layer), 칩(chip) 부분으

*교신저자 : 류장렬(jryu@kongju.ac.kr)

접수일 11년 11월 30일

수정일 12년 01월 03일

게재확정일 12년 01월 05일

로 나눌 수 있는데, 에피텍셜 층의 경우, 미세구조(nano structure), 패턴을 새긴 기판(patterned substrate), 동중 에피층(homo epi), MOCVD 특성 등을 통하여 효율을 증대하고, 칩은 GaN의 표면 요철(roughness), 투명전극, 광자결정(photonic crystal), 결이 있는 측벽(textured side wall), 패턴이 있는 사파이어 기판(patterned sapphire substrate), 다이 형상, 칩의 구조 등으로 효율을 증대한다.[5-9]

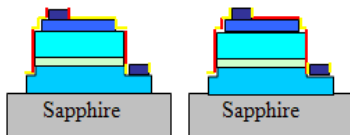
여기서 GaN 기반 LED의 경우, 수직으로 빛을 내는 수직형 LED 칩은 p-GaN 정공 농도가 낮고 저항이 높아져 주입된 캐리어의 일부가 본딩 패드(bonding pad) 내에 갇혀 상당 양의 광자가 흡수되므로 효율이 떨어지는 문제가 생길 수 있는데, 이를 해결하기 위해서 p-pad 전극 아래 절연성의 재료를 삽입하여 효율을 개선하는 방법이 이용되고 있다.[10]

본 논문에서는 공정과정 상 p-GaN층에서 발생하는 전류 집중현상을 줄여 그 광 출력의 개선을 확인하기 위하여 p-pad 아래에 CBL층의 삽입공정을 통하여 13% 정도의 광 출력 개선을 얻었으며, 이를 바탕으로 제작한 칩의 광 출력은 7[cd], 순방향 인가전압 3.2[V]를 얻었다.

2. LED의 구조 및 설계

2.1 LED의 기본 구조

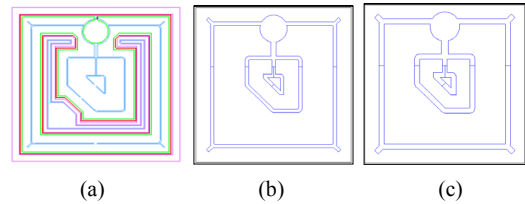
그림 1에서는 LED의 기본 모형을 보여 주고 있는데, 패턴이 있는 사파이어 기판 위에 GaN 버퍼층, n-GaN, p-GaN층 사이에 양자우물(quantum well)층의 에피층, 투명전극(ITO), n-pad, p-pad 등으로 구성된다.



[그림 1] GaN 기반한 LED의 모형
[Fig. 1] Model of GaN-based LED

2.2 LED 칩의 설계

그림 2는 LED 칩의 제작을 위한 마스크 패턴으로 그림(a)는 기존 pad면적 $95\mu\text{m}$, finger 폭 $3\mu\text{m}$, C.B.L(current blocking layer)적용 패턴의 경우인 그림(b)의 pad 면적은 $100\mu\text{m}$, finger 폭은 $6\mu\text{m}$ 로 하였다. 그림(c)의 마스크는 pad 면적을 $105\mu\text{m}$, Finger 폭을 $12\mu\text{m}$ 로 하였다. 여기서 그림(b)와 (c)는 p-pad와 finger만의 구조를 나타낸 것이다.



[그림 2] LED칩 제조를 위한 마스크 패턴 (a) finger 폭 $3\mu\text{m}$ (b)finger 폭 $6\mu\text{m}$ (c) finger 폭 $12\mu\text{m}$

[Fig. 2] Mask pattern to fabricate LED chip (a) finger width $3\mu\text{m}$ (b) finger width $6\mu\text{m}$ (c) finger width $12\mu\text{m}$

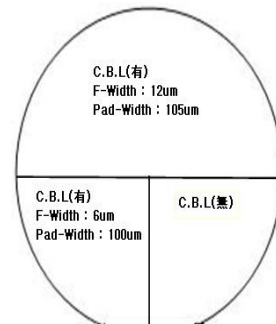
3. LED 칩의 제작 및 성능평가

3.1 LED 칩의 제조 공정

본 연구에서 사용한 웨이퍼는 Al_2O_3 GaN기판으로 $450\mu\text{m}$ Blue Epi 위에 LED 칩을 제작하였다. 우선 웨이퍼의 세척 작업을 실시하고 n-GaN Roughness Metal 공정을 통하여 빛의 난반사예의 휘도향상을 하였다.

기존 공정은 Mesa PR Strip후 PM Photo 공정으로 진행하였으나 사이드 에칭 기술을 그 사이에 추가 하였다. Mesa 공정은 n- GaN에 전극을 형성하기 위해 n-GaN영역까지 일정 두께로 건식 에칭하여 n-GaN 공정을 수행하였다.

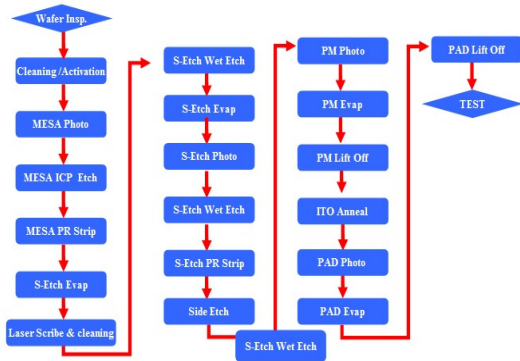
절연층을 삽입하기 위한 공정을 실시하기 위해 준비된 웨이퍼에 SiO_2 두께를 500Å , $1,000\text{Å}$, $1,500\text{Å}$, $2,000\text{Å}$ 증착하였다. SiO_2 를 성장하지 않은 웨이퍼와의 비교를 위해 제작된 마스크는 세 영역으로 구분하여 p형 금속전극인 Finger와 p-Pad 면적의 크기의 차이에도 특성이 변화가 있는지 확인 할 수 있도록 제작하였다.



[그림 3] LED 칩 제작의 웨이퍼
[Fig. 3] Wafer LED chip fabrication

LED 칩 제조의 공정 흐름을 그림 4에서 보여주고 있는데, GaN epi wafer준비, mesa, PAD, passivation,

lapping scribe & break, test, sort 공정을 통하여 LED 칩이 완성된다.



[그림 4] LED 칩의 공정 흐름
[Fig. 4] Process flow of LED chip

3.2 LED 칩의 구조

그림 5는 위에서 설명된 에피 웨이퍼를 사용하여 만든 칩의 구조를 보여 주고 있다.

그림의 등근 원 밑에 S_iO_2 가 증착되어 있어 p-GaN층을 통하여 바로 올라가는 전자의 흐름을 중간에서 차단하여 전류의 퍼짐을 좋게 하는 역할을 하게 되며, 또한 S_iO_2 에 의한 굴절로 부분적인 빛의 손실을 감소시켜줄 수 있을 것으로 생각된다. 원형형태의 pad 지름은 그림 3의 웨이퍼 위의 폭이 $105\mu m$, finger의 폭은 $12\mu m$ 이며, 아래 왼쪽 $100\mu m$, $6\mu m$ 인 경우와 S_iO_2 층이 없는 경우 등 세 가지의 패턴을 하나의 웨이퍼에 제작 하였다.

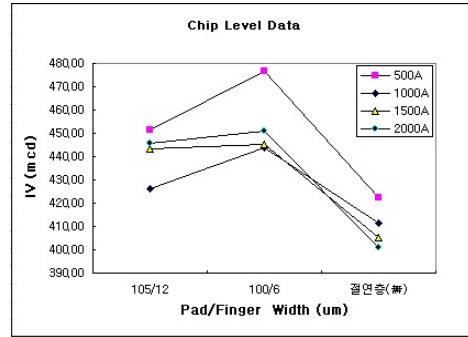


[그림 5] 칩의 구조
[Fig. 5] Structure of fabricated chip

3.3 LED 칩의 성능 평가

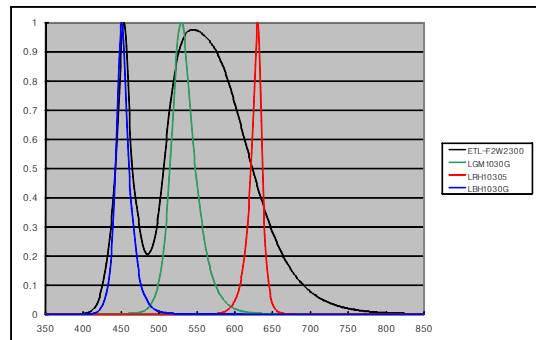
그림 6에서는 p-pad 밑의 산화막 두께와 finger 폭에 따른 광 출력을 나타낸 것이다. 웨이퍼 레벨 기준으로 네이터를 보았을 때 CBL층의 유/무에 따라 광출력 값은 절연층을 삽입한 부분의 값이 우수하게 나왔으며, 특히 절연층이 없는 부분과의 광 출력이 약 40mcd 이상 향상되었

다. 또한 pad와 finger 넓이에 따른 광 출력의 차이에서도 뚜렷한 차이를 보였다. pad의 지름과 finger 폭이 각각 $100\mu m/6\mu m$ 일 때의 값이 가장 높게 나오는 것을 알 수 있다. 또한 p-pad 밑의 산화막의 두께가 500\AA 일 때 가장 좋은 결과를 보여 주고 있다.



[그림 6] P-pad/finger 크기에 따른 칩의 광 출력
[Fig. 6] Optical power of chip by p-pad/finger

또한 같은 공정으로 제조한 칩을 이용하여 가 패키징 한 후, 파장 특성과 LED의 순방향 인가 전압(V_f), 광 출력(cd) 등을 측정하였다. 이를 그림 7과 표 1에서 보여 주고 있는데, 순 방향 전류 80mA에서 순방향 전압 3.2V, 광도 7cd 등으로 측정되어 현재의 기술 수준인 3.3V 이하의 결과를 얻어 우수한 결과로 평가되었다. 그림 7에서 x축은 파장[μm], y축은 파장의 최대값을 나타내고 있다.



[그림 7] 인가전압 특성
[Fig. 7] The Characteristics of a Applied Voltage

[표 1] 제조된 LED 칩의 특성
[Table 1] Characteristics of fabricated LED chip

Chip	전류 (mA)	전압 (V)	광도 (cd)	색좌표 (x)	색좌표 (y)	색온도 (K)
White	80	3.234	7.02	0.343	0.409	5085

4. 결론

본 논문에서는 LCD LED TV 및 의료기기의 모니터에 응용할 수 있는 LED 칩을 제작하여 그 성능을 조사하였다. p-pad 밑의 절연막의 삽입 공정으로 공정 수율 상의 어려움 없이 성능이 향상된 LED 칩을 얻을 수 있었다. 성능이 우수한 epi 웨이퍼 위에 p-pad의 지름과 finger의 폭을 변화시켜 제작된 소자에서 방출 광이 증가하였다. 또한 순방향 입력 전류 80mA에서 광 출력 7cd와 순방향 인가전압 3.2V가 얻어져 현재 LCD LED TV와 이 보다 휘도가 높아야 하는 의료기기에 장착하는 광원으로 이용하여도 적절한 LED 칩의 출력 특성의 결과로 평가되어 LED 응용제품에 적용할 수 있는 광원으로 평가되었다.

References

[1] Y. J. Lee, H.C.Kuo, and S.C.Wang "Enhancing the Output Power of GaN-based LEDs Grown on Wet-Etched Patterned Sapphire Substrates", IEEE PHOTONIC TECHNOLOGY LETTERS, Vol. 18, No. 10, pp. 2289-2291, May 2006.

[2] S. Nakamura and G. Gasol, "The Blue Laser Diode", New York: springer, Vol. 10, No. 3, pp. 223~226, May 1997.

[3] T.Egawa, B.Zhang, and H.Ishikawa, "High Performance of InGaN LEDs on (111) Silicon Substrate grown by MOCVD", IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS, Vol. 26, No. 3, pp. 169-171, March 2005.

[4] H. G. kim et al, "Improved GaN-Based LED Light Extraction Efficiencies via Selective MOCVD Using Peripheral Microhole Arrays", IEEE PHOTONIC TECHNOLOGY LETTERS, Vol. 20, No. 15, pp. 1284-1286, Aug. 2008.

[5] Y. J. Lee, J. M. Hwang, T. C. Hsu and S.C.Wang, "Study of the Extraction Power Dependent Internal Quantum Efficiency in InGaN/gaN LEDs Grown on Patterned Sapphire Substrate", IEEE Journal of selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 15, No. 4, pp. 445-448, Nov. 2009.

[6] Mary H.Crawford, "LEDs for Solid-State Lighting: Performance Challenges and recent Advances", IEEE Journal of selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 15, No. 4, pp. 1028-1040, July 2009.

[7] Ivan Elishevich, "Compound Semiconductor", Vol.6, No.3, pp.82-85, 2000.

[8] Hynsoo Kim, Ji-Myon Lee, Chul Huh, Sang-Woo Kim,

Dong-Joon Kim, Seong-ju Park, and Hyunsang Hwang, Appl. phys., Lett. Vol.77, No.12, pp.1903~1906, 2000.

[9] C. C. Liu, Y. H. Chen, M. P. Houg, Y. H. Wang, Y. K. Su, W. B. Chen, and S. M. Chen, IEEE Photonics Technol. Lett. Vol.16, pp.1444~1447, 2004.

[10] S.Y.Lee, J.R.Ryu, and S.B.Yoon, "Improvement in light output of LED by using the insulating Blocking layer", KIIT, Vol.9, No.5, pp35-40, 2011.

류 장 렬(Jang-Ryeol Ryu)

[정회원]



- 1982년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사
- 1985년 2월 : 충남대학교 전자공학과 석사
- 1994년 2월 : 충남대학교 전자공학과 박사
- 1994년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기전자제어공학부 교수

<관심분야>

실리콘소자, LCD부품, LED