

Alumina masking for deep trench of InGaN/GaN blue LED in ICP dry etching process

김근주(책임저자)*, 백하봉*, 권용희*, 이인구*, 이은철**

*전북대학교, **나리지*온

초록

백색LED 램프를 제조하는 공정에서 램프간의 전기적 개방상태의 절연상태를 유지하기 위해 사파이어 기판 위에 성장된 GaN 계 반도체 에피박막층을 제거하기 위해 유도 결합형 플라즈마 식각 공정을 이용하였다. 4 마이크론의 두께를 갖는 GaN 층을 식각하는데 있어 식각 방지 마스크 물질로 포토레지스트, SiO₂, Si₃N₄ 및 Al₂O₃를 시험하였다. 동일한 전력 및 가스유량상태에서 Al₂O₃만 에피층을 보호할 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

질화물반도체는 보라색, 청색, 녹색 및 빨강색에 이르는 가시 광전자 소자로 널리 보급되어졌다[1]. 특히 발광다이오드는 공정 수율이 안정화되어 양산화 되어지고 있으며, 발광레이저는 연구개발이 성공적으로 수행 되고 있으며, 멀지 않은 장래에 보급될 전망이다. 또한 각 제조공정상의 사양이 더욱 최적화 되어지고 있어 발광효율이 형광등의 효율에 수십 퍼센트대로 비교될 수 있게 되었다[2]. 발광효율을 극대화하기 위해 InGaN/GaN 양자우물구조를 설계함으로써 내부양자효율을 높이거나, 보호막의 증착 및 램프 패키징에서 굴절율을 조절하여 외부양자효율을 향상시키는 등의 연구 노력이 계속되고 있다.

또한 칩 분리(scribing/breaking) 제조공정상에 있어서 사파이어 기판위에 증착된 질화물반도체 박막의 LED 칩과 칩 사이를 다이아몬드 팁으로 줄긋기(scribing)한 다음, 반대면에 금속선단으로 토포크를 가하여 분리하게 된다[3,4]. 이러한 n-GaN 에피층위에 줄긋기함으로써 마이크로 크랙을 유발하고 발광층의 기계적 스트레스/스트레인 특성변화로 램프의 기능저하(functional deduction) 및 시효단축(aging)의 불량을 초래한다.

본 연구에서는 반도체램프의 칩간 절연상태의 유지에 필요하고[5], 또한 개별 칩의 분리공정에서 칩의 안정화에 필요한 질화물 에피 층에 깊은 홈(deep trench)을 파고 칩과 칩 사이의 반도체 층이 서로 분리되는 식각공정을 연구하였다. N-GaN 층 및 완충층까지 완전 제거하기 위해서는 유도 결합성 플라즈마 식각 공정에서 p-GaN 층의 식각 방지 역할을 할 수 있는 보호막(masking) 물질의 특성을 파악하였다.

2. 실험 방법

C(0001)축 방향의 단면형상을 갖는 2 인치 크기의 사파이어기판 위에 InGaN/GaN 양자우물구조의 청색 LED 박막층을 유기금속 기상 증착 장비(metalorganic chemical vapor deposition: MOCVD)로 성장하였다. Ga, In 금속원으로 트리메틸갈륨, 트리메틸인듐과 N, Si 가스원으로 암모니아, 사일렌을 사용하였다. 세정된 사파이어 기판 위에 완충층으로 GaN 을 30nm 두께로 520℃에서 성장하여 사파이어 표면과 n-GaN 층간의 결합을 용이하게 하였으며, 3 μm의 Si 도핑 된 n-GaN 층을 1130℃에서 성장하였다. InGaN/GaN 양자우물구조를 6 주기 성장하였으며, 최종적으로 Mg 도핑 된 p-GaN 층을 0.2 μm 성장하였다.

Fig. 1 에서처럼 건식 식각에 필요한 보호막으로는 먼저 포토레지스트(P/R) 자체만을 3 μm 두께로 도포하여 사용하는 경우와 SiO₂ 박막을 PECVD 로 1 μm를 증착한 다음, 그 위에 P/R 을 3 μm 도포한 경우, 실리콘산화막 (SiO₂) 대신에 실리콘질화막 (Si₃N₄)나 알루미늄(Al₂O₃)를 사용하는 경우로 분류하여 식각 공정을 수행하였다. 건식 식각 공정은 2 인치 웨이퍼에 대해 수행되었으며, 사용된 ICP 식각 장비는 주파수가 13.56 MHz 이며, 전력은 700W 로 BC13/C12 식각가스가 사용되었다. 식각 가스의 총 유량은 40 sccm 으로 1:1 로 제어되었으며 이온에너지는 13.56 MHz 의 RF 전력이 100W 에서 작동하였다.

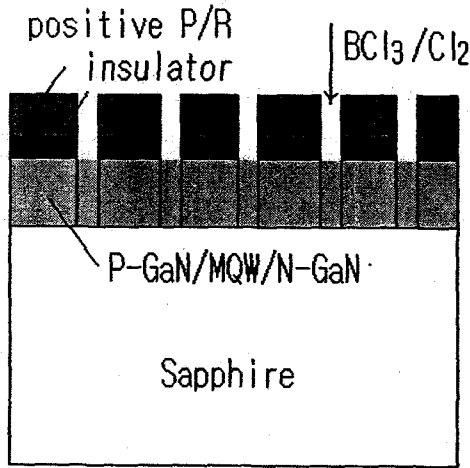


Fig. 1 Schematic cross section of etching Process.

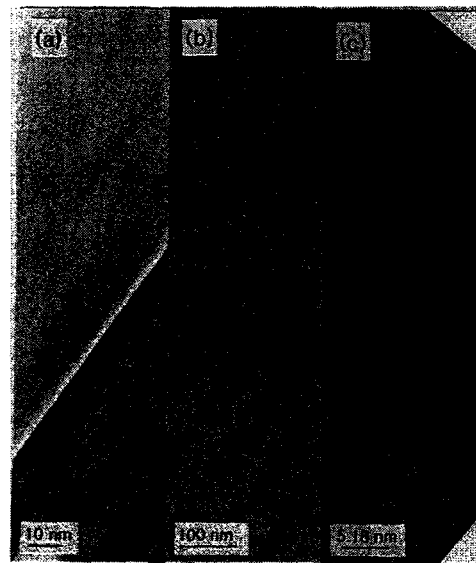


Fig. 2 Micro-TEM images of InGaN/GaN MQW area Of p-GaN/MQW/N-GaN LED structure.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2(a)는 MOCVD 로 성장된 사파이어 기판위의 에피층의 다중양자우물(MQW) 부위를 투과전자현미경(TEM)으로 관찰한 것으로 6 주기의 InGaN 양자우물층이 2nm 두께로 성장되었으며, GaN 양자장벽층이 교대로 8nm 두께로 성장되었다. 양자구조의 형상(morphology)이 매우 뒤틀려 있으며, (b), (c)의 고분해 TEM 사진에서 양자우물층의 경계가 매우 흐림을 알 수 있다. 하지만 456 nm 청색파장의 photoluminescence(PL) 발광특성은 매우 양호함을 확인하였다.

이러한 반도체 에피 박막층이 성장된 사파이어 기판 위에 절연막을 증착하고 포토레지스트를 도포하여 에피층을 식각하였다. Table 1 과 같은 포토레지스트 도포 및 처리공정을 통하여 포토레지스트 패턴화를 수행하였다. P/R 패턴의 현상을 통하여 Fig. 3 과 같은 AZ4330 P/R 의 단차를 관찰하였다. P-type P/R 의 단차는 ICP 식각 공정에서 GaN 에피층과는 3:1 의 선택비로 식각됨을 알 수 있다. 단시간 동안의 식각에는 대체로 3 μm 의 P/R 은 0.8 μm 의 GaN 층 식각에 여분으로 잔류하게 되어 n-GaN 층 식각에서 15 초의 식각시간이 필요하다. 이러한 단시간의 식각에서는 최상 에피층의 보호막으로 사용할 마스크 층이 필요 없다. 하지만 4 μm 의 에피층을 식각하는데 있어서는 선택비를 고려하여 절연막을 증착 삽입하게 된다. 하지만 15 분의 장시간 동안 식각 공정을 수행할 경우에는 보호막의 선택이 매우 중요하게 된다.

Table 1. 식각공정을 위한 포토리소그래피 공정변수

공정	온도(°C)	시간(min)
탈수 baking	105	10~15
Soft baking	105	10
Reverse baking	120	10
PR	1st/2nd rpm	1st/2nd time(sec)
AZ4330	1000/3000	5/25
AZ5214E	1000/2000	5/15
현상	현상액	시간(sec)
AZ4330	AZ300-MIF	120
AZ5214E	AZ300-MIF	60

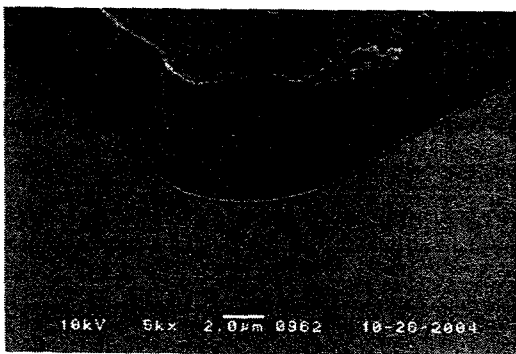


Fig. 3 SEM image of the P/R step by developing process.

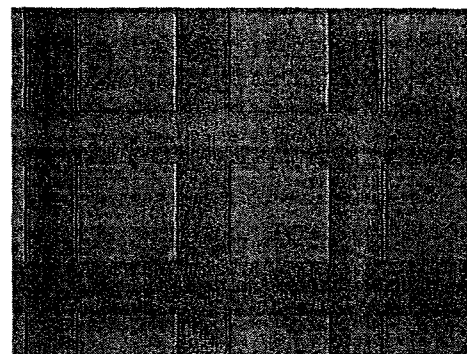


Fig. 4 Micro-image of the separated chip patterns on sapphire wafer by ICP etching process

그림 4 는 알루미늄 마스크로 15 분의 장시간 식각 공정상에서 식각 가스와의 화학반응을 일으키지 않음을 시사하며, 비교적 식각 가스로부터의 최상층의 분해를 방지할 수 있음을 확인하였다. 하지만 반면에 실리콘 산화막이나 실리콘 질화막은 식각 가스와의 화학반응으로

완전 식각 제거됨을 알 수 있었다. 이는 아마도 식각 가스의 Cl 성분과 Si 성분의 화학적 결합으로 인해 SiCl_4 의 가스상을 형성함에 기인된다.

4. 결론

2 인치 웨이퍼 크기의 고집적 LED 램프를 제작하는데 있어 금속배선에 필요한 각 chip die 의 반도체층의 분리를 유도결합형 고밀도플라즈마 식각공정을 통하여 수행하였다. 보통의 n-GaN 층의 노출에 사용되는 포토레지스트만으로 식각하는 경우와는 달리, 에피층을 깊게 사파이어 기판 표면까지 식각할 경우에는 장시간의 식각으로 인해 포토레지스트 뿐 만 아니라 모든 에피층이 완전 제거됨을 알 수 있었다. 또한 실리콘 산화막이나 질화막을 증착하여 그 위에 포토레지스트를 도포한 경우도 플라즈마 식각가스의 빔을 차단하지 못하고 모든 에피층이 식각되어 패턴을 형성할 수 없음을 확인하였다. 하지만 알루미늄 박막을 증착하여 빔을 차단하는 경우에는 패턴을 유지 보호하여 깊은 홈의 형성을 가능케 함을 확인하였다. 이러한 칩 개별화의 식각공정을 통하여 반도체 램프를 제작하였다.

후기

이 연구는 2003 년도 한국에너지관리공단 학술진흥사업(2003-E-EL03-P-01-0-000)의 지원 연구비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- [1] S. Nakamura, M. Senoh, S. Magahama, N. Iwaa, T. Yamada, T. Matsushita, H. Kioku and Y. Sugimoto, Jpn. J. Appl. Phys. Vol.35, p. L217, 1996.
- [2] R. J. Shul, G. B. McClellan, S. J. Pearton, C. R. Abernathy, C. Constantine and C. Barratt, Electron. Lett. Vol. 32, p.408, 1996.
- [3] S. Nakamura, "Current status and future prospects of InGaN-based laser diodes", Jpn. Soc. Appl. Phys. Int., No.1, p. 5, 2000.
- [4] H. J. Park, R. J. Choi, Y. B. Hahn, Y. H. Im and A. Yoshikawa, "Dry etching of InGaN/GaN multiple quantum well LED structures in inductively coupled Cl_2/Ar plasmas", J. Kor. Phys. Soc. Vol.42, No.3 pp. 358-362, 2003.
- [5] 김근주, 양정자, "금속배선 칩 집적공정을 포함하는 질화물 반도체 LED 광소자 특성연구", 반도체및디스플레이장비학회지, 제3권, 제3호, pp. 31-35, 2004.