

직·병렬 회로의 백색 LED 조명램프 금속배선용

포토마스크 설계 및 제작

송상욱, 송민규, 김태화, 김영권, 김근주*

전북대학교 기계공학과

초록

본 연구에서는 백색광원용 조명램프에 필요한 고밀도로 집적된 LED 어레이를 제작하기 위하여 반도체제조 공정에 필요한 포토마스크를 AutoCAD 상에서 설계하였으며 레이저 리소그래피 장비를 이용하여 포토마스크를 제작하였다. 웨이퍼상에 LED칩을 개별적으로 제작한 후 이들을 직렬 및 병렬로 금속배선하여 연결하였다. 특히 AutoCAD로 각 공정의 포토마스크 패턴을 설계 작업한 후 DWG 파일을 DXF 파일로 변환하여 레이저빔으로 스캔하였다. 이를 소다라임 유리판 위에 크롬을 증착한 후 각 패턴에 맞추어 식각 함으로써 포토마스크를 제작하였다. 또한 2인치 InGaN/GaN 다중 양자우물구조의 광소자용 에피박막이 증착된 사파이어 웨이퍼에 포토마스크를 활용하여 반도체 제조공정을 수행하였으며, 금속배선된 백색LED램프를 제작하였다.

1. 서론

발광 다이오드(light emitting diode: LED)램프는 자외선을 이용하는 형광등이나 뜨거운 적외선 영역의 열을 발산하는 백열등을 대신하는 차세대 반도체조명으로 많은 연구가 진행되고 있다 [1]. 일본 니치아 화학 에서 고휘도 청색 LED칩 위에 YAG(Yttrium Aluminum Garnet)계 형광물질을 도포하여 백색 LED 램프를 제조하였다 [2]. 이러한 청색 LED에 바탕을 둔 백색 광소자는 연색지수(rendering index)가 낮아 이를 개선하기 위하여 형광등처럼 발광파장이 자외선인 자색 LED 연구를 촉진시켰다 [3]. 또한 백색 광소자를 구현하기 위하여 양자점(quantum dot)을 이용하거나 InGaN, AlGaIn, AlInGaIn 등의 3원 및 4원합금을 이용한 양자우물구조를 형성함으로써 청색, 녹색 및 적색을 질화물반도체로 구현하기 위하여 많은 시도가 진행 중이다 [4].

발광다이오드 램프는 가시광선 영역의 파장을 갖고 있기 때문에 인체에 무해하며, 고휘도의 백색을 구현하는데 용이하다. 그리고 백열등이나 형광등에 비해 열로 인한 전력 손실이 적으며 반영구적이다. 발광 다이오드를 이용해 램프를 제작한 기존 방식은 개개의 칩 형태를 배열해 조립, 제작한 경우로, 이는 낮은 공간효율과 저밀도의 다이오드 수로 인한 고휘도의 빛을 발할 수 없는 한계를 가지고 있다.

본 연구팀에서는 기존의 개별 칩 형태의 단점을 보완하기 위해 일체형 구조를 갖는 고밀도로 직접화된 백색 램프를 제작한 적이 있으며 [5], 금속배선 시에 개별 칩 간의 배선의 어려움을 단순화하기 위하여 2 층 배선으로 N 층과 P 층 사이를 실리콘 산화막으로 절연하였다. 하지만 완전한 병렬구조로 인하여 임의의 개별 칩이 단락 됨으로 인하여 전체램프가 단락 되어지는 단점을 확인하였다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 직렬 및 병렬이 혼합된 배열 형태의 고밀도로 집적화된 백색 램프를 제작하기 위한 포토마스크를 설계 및 제작 하였다. 금속배선은 개별 칩의 전극들을 형성한 다음 실리콘 산화막으로 패터닝된 구조를 가지며 직렬 및 병렬형태의 개별 칩 배열을 그룹화하였다.

2. 포토마스크 설계

그림. 1은 청색 발광다이오드의 개별칩 한 개의 적용한 집적칩 구조를 나타낸다. 사파이어 절연 기판으로 인하여 발광LED의 형상이 Two-top 방식이며 칩 둘레가 스크라이빙 되어지는 개별 칩 경우와는 달리 금속배선 되어지는 집적칩에서는 P형 N형 두 전극이 금속배선에 연결되는 형태를 갖는다.

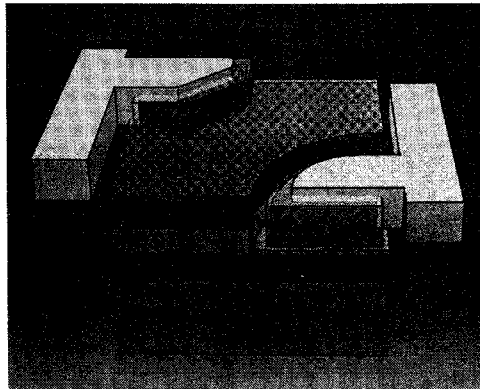


Fig. 1 Schematic diagram of integrated cell of LED

먼저 그림 2는 질화물계 백색 발광다이오드 박막구조의 내부단면도이다. 유기금속화합물 화학 기상증착방법(metal-organic chemical vapor deposition: MOCVD)을 이용하여 사파이어 기판 위에 제일 먼저 520℃의 온도에서 500 Torr 가스압력으로 GaN 완충층을 350Å 두께로 증착한다. 이때 사용되는 주가스는 TMGa와 NH₃ 이며 반응가스로는 H₂ 를 사용하였다. 완충층은 1130℃의 고온에서 성장하는 GaN 에피층의 결정구조를 안정화시키는 역할을 한다. 완충층 위에 Si 도핑된 N형 오믹접촉층인 n-GaN층을 1130℃의 온도에서 2μm의 두께로 성장시키고, 다시 그 위에 도핑이 되지 않은 GaN층을 1130℃에서 150Å으로 성장한다. 또한, 상기 층 위에 삼원색 발광 활성층인 In_xGa_{1-x}N/Al_{0.2}In_{0.3}Ga_{0.5}N 다중 양자우물 구조(Multi-Quantum Well structure)를 3주기씩 9주기를 700℃에서 성장하였다.

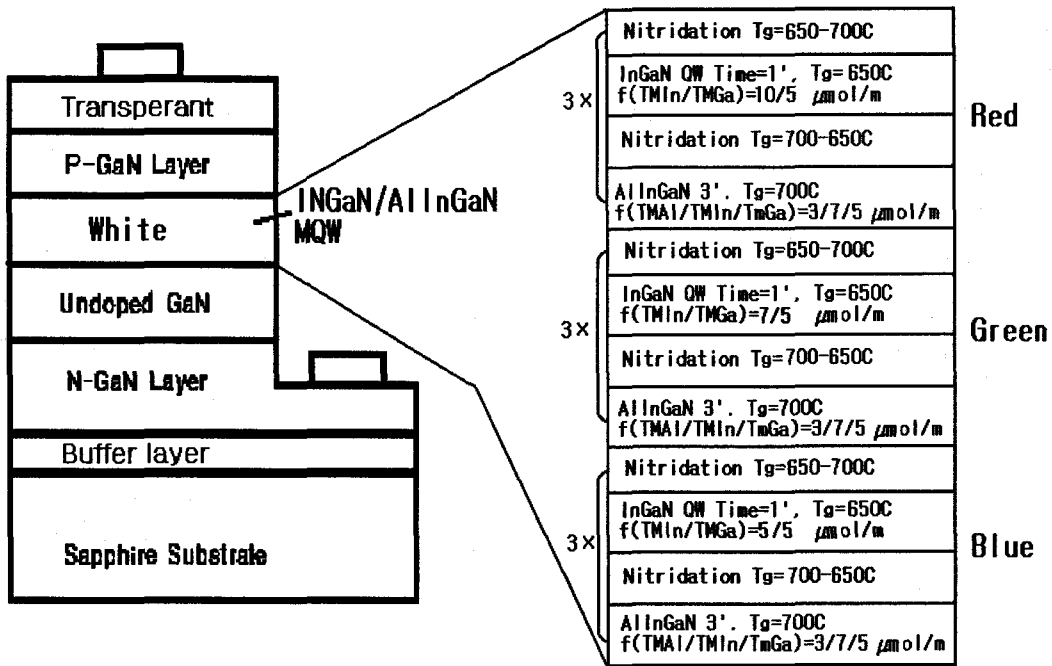


Fig. 2 Schematic diagram of epitaxial LED structure

각 삼원색 발광층은 양자우물/장벽을 20/120Å 두께로 3주기씩 성장하였으며, 청색양자우물의 In의 성분비는 X=0.25, 녹색성분비는 0.35, 적색성분비는 0.50으로 순차적으로 성장하였다. 삼원색 양자우물구조를 성장한 다음, P형 오믹접촉층으로 Mg이 도핑된 GaN을 1020°C, 200 Torr에서 2000Å 두께로 성장하였다. 이러한 Mg도핑된 GaN층을 정기적으로 활성화시키기 위하여 800°C에서 10분 동안 급속열처리(rapid thermal annealing: RTA)하였다.

또한 이러한 에피박막구조의 p-GaN층 위에 Ni/Au 금속 박막층을 전자빔 금속 증착장비를 이용하여 50/50Å의 투명 금속 박막층을 형성하고, 그 위에 p형 전극을 Ni/Au 금속으로 증착 형성하며, n형 전극은 n-GaN층을 플라즈마 건식식각하여 그 위에 Ti/Al 금속을 증착하여 형성한다.

집적 칩을 제작하는데 필요한 포토마스크는 그림 3에서처럼 4.5 x 4.5 in² 크기를 갖는 7종을 설계하였다. 먼저 에피 성장된 박막을 사파이어기판 표면까지 식각하는 에피식각 마스크 1과 n형 GaN층을 오믹접촉층으로 표면에 노출시키기 위한 에피식각 마스크 2, p형 GaN 표면에 오믹 형성과 발광특성(휘도)를 좋게 하기 위해 형성된 투명전극 증착 마스크 3, n형 전극 형성을 위한 금속 증착 마스크 4, p형 전극 형성을 위한 금속 증착 마스크 5, n형 전극과 p형 전극을 증착된 절연막으로부터 들어내는 식각 마스크 6, n형 전극과 p형 전극을 직·병렬로 연결하는 금속배선 증착 마스크 7로 구성 되어진다.

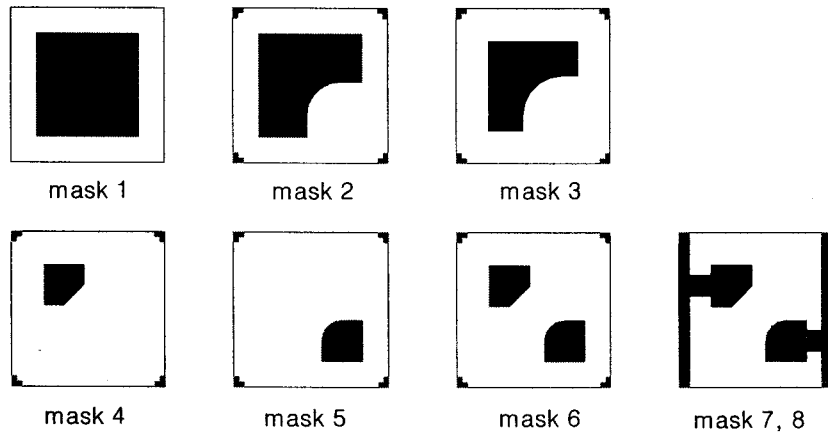


Fig. 4 Photomask patterns for the processes of integrated LED

3. 포토마스크 제작

AutoCAD 로 패턴 형성이 된 포토마스크 .dwg 파일을 DXF 파일로 변환하여 Ion Laser 에 입력하여 장비를 구동 하게 된다. Soda Lime 유리판 위에 크롬을 증착 하고 그 위에 감광제인 포토레지스트를 도포하여 Laser 빔 장비에 의해 원하는 부분에 Direct 로 노광을 한 후 현상액을 통해 필요한 패턴을 형성 하게 한다. 크롬과 반응하는 화학 용액에 담구어 노출된 크롬부분을 식각한 후 불필요한 포토레지스트를 제거 한다. 크롬의 pitch(line & space)나 CD(Critical Dimension) 및 거리를 체크한 다음 결함이나 입자를 확인한 후 세정을 한다. 본 연구에서 설계된 포토마스크는 웨이퍼와 접촉되는 형태를 갖는 Chrome-no mirror-dark 타입으로 제작하였다.

제작된 포토마스크를 이용하여 백색 LED조명 광원용 반도체 제조공정을 수행하였다. 먼저 직렬로 만 회로를 구성 했을 경우 칩을 연결하는 금속 배선이 끊어지면 다른 모든 칩들에 전기가 걸리지 않아 빛이 나오지 않게 된다. 반대로 병렬로만 연결 했을 때 p전극과 n전극 사이의 임의의 칩 하나가 단락(short)될 경우 다른 칩에 전기가 걸리지 않아 빛이 나오지 않게 된다. 따라서 이런 문제점을 보완해 직·병렬을 회로를 구성 하였다.

직·병렬 회로를 구현하기 위해 직렬일 경우 하나의 독립된 패턴 이어야 하기 때문에 에피 박막층이 성장된 기판 위에 SiO₂ 절연막을 증착 시킨 후 포토공정을 거쳐 원하는 부분에 사파이어가 노출 될 때까지 건식 플라즈마로 식각 공정을 수행 한다. N 형 전극 형성을 위해 에피 에칭 마스크를 사용해 N-GaN 층이 노출 될 때까지 플라즈마 에처를 통해 식각 공정을 수행한다. 식각 깊이는 2000Å으로 하며 정확한 얼라인을 할 수 있게 각 패턴마다 일정한 십자 모양의 키를 두었다.

투명전극 형성 공정에서는 P-GaN 층 위에 Ni/Au 의 금속을 50/50Å으로 E-Beam 증착기를 이용, 얇게 증착하여 형성한다. 패턴은 P-GaN 층의 너비 보다 약간 작게 하여 N 층과의 단락을 방지 하였다. N 형 전극 형성 공정에서는 N-GaN 층까지 식각된 부분에 Ti/Au 금속을

200/5000Å의 높이로 E-Beam 증착하였다. P-GaN 층과 MQW 과의 접촉을 방지 하기 위해 식각된 부분부터 약간 거리를 두어 증착하였다. P 형 금속 형성 공정에서는 P-GaN 층 위에 Ni/Au 의 금속을 150/5000Å의 높이로 역시 E-Beam 증착하였다.

금속 배선 형성을 위해 P 전극과 N 전극 이 형성된 웨이퍼 전체 위로 SiO₂ 절연막을 증착 한 후 P전극과 N전극이 노출 되도록 포토 공정을 통해 패터화 한 다음 HF로 절연막을 제거 한다. 노출 시키는 두 전극 부분은 실제 전극 부분보다 약간 작은 사이즈로 패터화 하여 식각 한다. 노출된 직·병렬 형태의 P형 N형 두 전극들을 E-Beam 증착공정을 통하여 Ni/Au을 500Å/1μm 두께로 금속증착 하였다. Lift-off공정을 통하여 금속배선을 패터화 함으로써 모든 공정을 마무리 하여 조명램프를 제작하였다.

4. 결론

직·병렬 회로의 백색LED 조명램프를 제작하기 위하여 본 연구를 통해 4.5 x 4.5 in² 크기를 갖는 7장의 포토 마스크를 설계하였다. 포토마스크는 웨이퍼와 접촉되는 Chrome-no mirror-dark 타입으로 제작하였다. 백색발광 조명광원을 제작하기 위하여 LED 개별 칩을 일단 웨이퍼 상에 제작한 다음 이러한 개별 칩들의 전극을 금속배선화하는 집적 칩 개념을 도입하였다. 특히 각 공정에 따른 복잡한 공정을 7장의 마스크공정으로 세분화하였다. 본 연구를 통하여 발광 다이오드 칩을 고밀도 집적화시킴으로써 고휘도 백색램프를 구현할 수 있는 계기를 마련하였다.

후기

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

참고문헌

- [1] Nakamura, S. and Fasol, G., "The Blue Laser Diode", (Springer, Berlin, 1997) p. 216.
- [2] Nakamura, S., Mukai, T. and Senoh, M., Appl. Phys. Lett., Vol. 64, pp. 1676-1689. 1994.
- [3] Gardner, N. F., Chui, H. C., Chen, E. I., Krames, M. R., Huang, J-W., Kish, F. A., Stockman, S. A., Kocot, C. P., Tan, T. S. and Moll, N., Appl. Phys. Lett., Vol. 74, pp. 2230-2232. 2000.
- [4] Xiao, D., Kim, K. W., Bediar, S. M. and Zavada, J. M., Appl. Phys. Lett., Vol. 84, pp. 672-674. 2005.
- [5] 김근주, 양정자, "금속배선 칩 집적공정을 포함하는 질화물 반도체 LED 광소자 특성 연구", 반도체및디스플레이장비학회지, 제3권, 제3호, pp. 35-31, 2004.