

AlGaN/GaN 이종접합구조의 표면누설전류에 관한 연구

A Study of Surface Leakage Current of AlGaN/GaN Heterostructures

석오균^{1,a}, 최영환¹, 임지용¹, 김영실¹, 김민기¹, 한민구¹
(Ogyun Seok^{1,a}, Young-Hwan Choi¹, Jiyong Lim¹, Young-Shil Kim¹, Min-ki Kim¹, and Min-Koo Han¹)

Abstract

For investigation of surface leakage current of AlGaN/GaN heterostructures through etched GaN buffer surface and mesa wall, three kind of surface-leakage-test-patterns were fabricated, and we measured the surface leakage current of each patterns. In result of our work, the surface leakage current of pattern of which Schottky contact is formed on etched mesa wall is the largest. the leakage current through schottky contact on etched mesa wall is predominant in AlGaN/GaN heterostructures.

Key Words : Leakage, GaN, AlGaN, Schottky, Surface

1. 서 론

GaN 기반의 소자는 넓은 밴드갭, 높은 임계전계, 낮은 진성캐리어 농도 등의 특성으로 인해 실리콘 대비 높은 항복전압을 가지며, 큰 전자 이동도와 높은 포화속도를 갖는다. 특히 AlGaN과 GaN의 이종접합구조에서 자발분극(spontaneous Polarization)과 압전분극(Piezoelectric Polarization)으로 AlGaN과 GaN의 계면에 2차원전자가스(2 Demensional Electron Gas, 2DEG)의 존재로 인해 고속 스위칭 동작이 가능하다. 그러므로 AlGaN/GaN 기반소자는 Si 기반의 소자들을 대체할 차세대 마이크로, 고전압 소자로 주목받고 있다[1,2].

AlGaN/GaN 이종접합구조의 소자가 전력용 소자로 쓰이기 위해서는 높은 항복전압과 off-영역에서의 전류의 차단능력이 중요하다. AlGaN/GaN 이종접합구조는 성장이 어려워 주로 격자상수가 비슷한 다른 물질의 기판 위에서 성장된다. 사파이어, SiC, Si 등의 기판이 주로 사용되며 GaN과 기판 사이의 격자상수의 불일치로 인한 영향을 완화시키기 위한 층을 GaN과 기판 사이에 삽입한다. 하지만 기판과 GaN 사이의 격자상수의 불일치는

완전히 사라지지 않고, 격자 탈구(Lattice dislocation)가 유발한다. 6방정정계 구조(Hexagonal structure)의 GaN에서는 기판과 GaN 사이의 격자 탈구는 C축 방향으로 형성되기 때문에 소자 표면까지 다다르게 된다. 이것은 소자 표면의 균일성의 악화를 유발하며, 식각 공정을 거치면서 소자 표면에 트랩을 형성한다[3].

AlGaN/GaN 기반의 소자는 이종접합의 계면의 2차원전자가스를 채널로 이용하며, 주로 플라즈마를 이용한 식각을 통해 2차원전자가스를 끊음으로써 소자간 격리를 한다.

AlGaN/GaN 이종접합구조의 역방향 전류는 쇼트키장벽에 영향을 받는다. 식각 공정에 의해서 AlGaN/GaN 이종접합구조의 손상된 표면 위에 쇼트키 컨택이 형성될 경우 쇼트키장벽 내부에 트랩이 형성되어 누설전류가 발생한다. 또한 AlGaN/GaN의 이종접합구조는 자발분극과 압전분극으로 인해 AlGaN의 표면에 원천적인 전하가 분포되어 있다. 이로 인해 채널이 아닌 표면을 통해 누설전류가 발생할 수 있으며, 특히 소자간 격리를 위해 식각된 영역 위에 전극이 형성될 경우 식각된 영역의 표면에서의 트랩을 통한 누설전류가 발생할 수 있다. 누설전류는 GaN 기반의 소자의 불안정성을 유발할 뿐만 아니라 항복전압을 크게 감소시킨다. 이와 관련하여 AlGaN/GaN HEMTs 제작 시 발생하는 식각된 GaN 버퍼표면에서의 쇼트키 컨택을 제거하여 누설전류 및 항복전압을 개선한 논문이 보고되었다[4].

1. 서울대학교 전기·컴퓨터공학부
(서울시 관악구 관악로 599)

a. Corresponding Author : ogseok@emlab.snu.ac.kr
접수일자 : 2009. 6. 17
심사완료 : 2009. 7. 6

AlGaIn/GaN 소자 제작시 쇼트키 및 오믹 콘택은 mesa 경사면, GaN 버퍼표면, 활성 영역에 제작된다. 쇼트키 콘택은 소자의 게이트 및 애노드로 사용되므로 소자의 누설전류 및 항복전압에 큰 영향을 미친다. 본 논문에서는 AlGaIn/GaN 소자에서 쇼트키 콘택이 형성되는 각 영역에서의 표면누설전류를 분석하기 위해 3 가지 종류의 패턴을 제작하고 측정하였다. 실험 결과 mesa 경사면을 포함한 패턴에서 가장 큰 누설전류가 측정되었다.

2. 실험

본 실험에서의 AlGaIn/GaN 시편은 SiC기판을 사용하였으며, Nucleation 층과 3 μm의 GaN 버퍼층, 30 nm의 AlGaIn 층, 3 nm의 GaN 보호층이 금속유기화학기상증착(Metal Organic Chemical Vapor Deposition, MOCVD)으로 순차적으로 증착되었다. 그 후의 공정은 크게 mesa isolation, 오믹 콘택, 쇼트키 콘택의 순서로 제작되었으며, mesa isolation은 유도코일플라즈마-반응성이온식각(ICP-RIE, Inductively Coupled Plasma Reactive Etch)으로 270 nm의 깊이를 식각함으로써 수행되었으며, 쇼트키 콘택(Ni/Au, 20/300 nm)과 오믹 콘택(Ti/Al/Ni/Au, 20/80/20/100 nm)은 E-gun evaporator와 Lift-off공정을 이용하여 제작되었다. 그리고 오믹 콘택 형성은 금속증착 후 N₂ 분위기, 870 °C, 30 초의 어닐링 공정을 수행하였다. 본 실험에서는 쇼트키 콘택이 형성되는 각 영역에서의 표면누설전류를 분석하기에 앞서 AlGaIn/GaN 이종접합구조에서 TLM (Transmission Line Measurement) 패턴을 통해 콘택저항과 쇼트키 콘택을 형성하지 않은 버퍼누설전류측정패턴을 통해 오믹 콘택 사이에서의 버퍼누설전류가 측정되었다.

그림 1은 TLM 패턴의 전류-전압 특성곡선이다. TLM 분석 결과 0.674 Ωmm의 콘택 저항이 측정되었다. 이 결과는 열공정에 의한 오믹 콘택이 충분히 형성되었음을 의미한다. 버퍼누설전류측정패턴의 단면도와 결과를 그림 2에 나타내었다. 버퍼누설전류측정패턴에서 100 V의 전압 인가 시 누설전류는 40.20 μA로 측정되었다.

그림 3은 식각되지않은 영역 위에서만 쇼트키 콘택과 오믹 콘택이 존재하여 이 패턴에서의 누설전류는 활성 영역의 표면을 통해 흐른다. 그림 4의 패턴은 쇼트키 콘택과 오믹 콘택이 플라즈마 건식

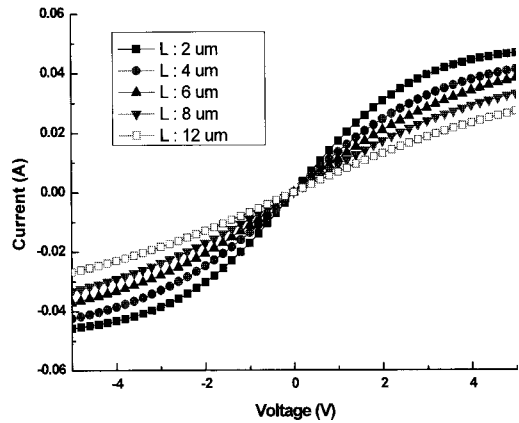


그림 1. AlGaIn/GaN 이종접합구조의 TLM 전압-전류 특성곡선.

Fig. 1. The TLM voltage-current characteristic curve of AlGaIn/GaN heterostructure.

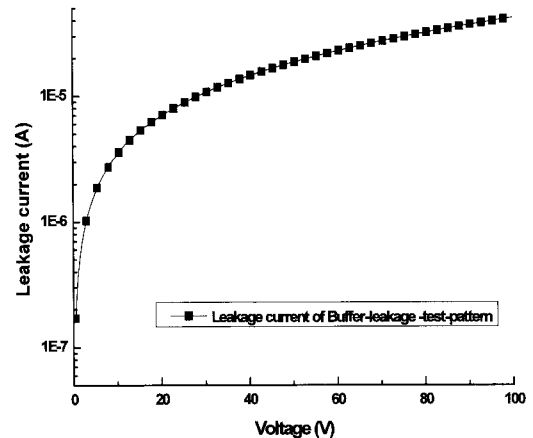
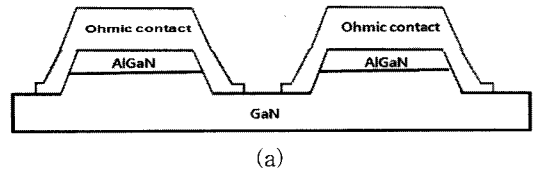


그림 2. AlGaIn/GaN 이종접합구조의 버퍼누설전류 측정패턴.

(a) 단면도 (b) 누설전류 측정

Fig. 2. The leakage current test pattern of AlGaIn/GaN heterostructure (a) top view (b) the graph of the leakage current.

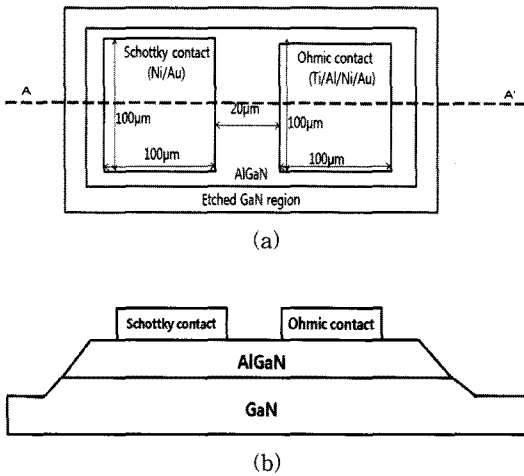


그림 3. 식각되지 않은 영역에서만 쇼트키 콘택과 오믹 콘택이 형성된 패턴 - 패턴 1 (a) 패턴 1의 평면도 (b) 패턴 1의 A-A' 단면도.
 Fig. 3. The pattern of which the schottky contact and ohmic contact were formed on the unetched region -pattern 1 (a) the top view of pattern 1 (b) the A-A' cross section of pattern 1.

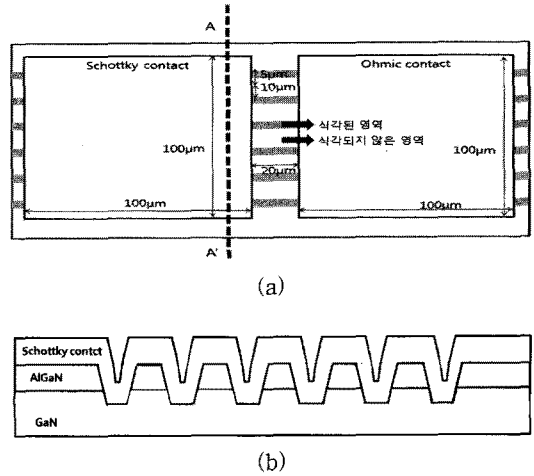


그림 5. 다중-식각된 영역 위에 쇼트키 콘택과 오믹 콘택이 형성된 패턴 - 패턴 3 (a) 패턴 3의 평면도 (b) 패턴 3의 A-A' 단면도.
 Fig. 5. The Pattern of which the Schottky contact and Ohmic contact were formed on the multi-etched region -pattern 3 (a) the top view of pattern 3 (b) the A-A' cross section of pattern 3

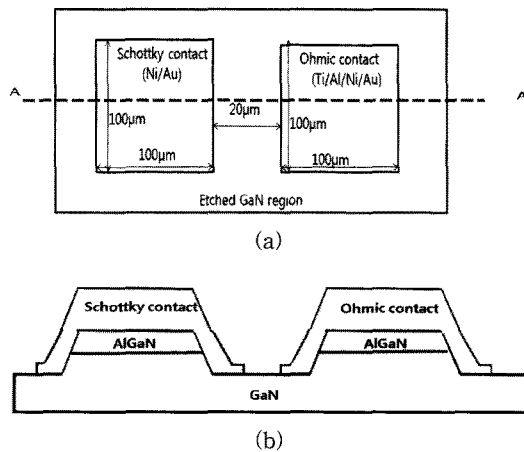


그림 4. 식각된 영역 위에 쇼트키 콘택과 오믹 콘택이 형성된 패턴 - 패턴 2 (a) 패턴 2의 평면도 (b) 패턴 2 A-A' 단면도.
 Fig. 4. The Pattern of which the Schottky contact and Ohmic contact were formed on the etched region -pattern 2 (a) the top view of pattern 2 (b) the A-A' cross section of pattern 2

식각 데미지를 받은 GaN 버퍼표면 위에 증착되어 누설전류가 GaN 버퍼표면과 활성영역의 표면을 통해 흐른다. 그림 5의 패턴은 mesa 경사면의 영향을 파악하기 위하여 그림 5-(b)와 같은 형태로 제작하였다. 패턴 3의 누설 전류는 활성 영역, GaN 버퍼표면, mesa 경사면의 모든 표면영역을 통해 흐른다. 쇼트키 콘택과 오믹 콘택의 길이와 너비는 100 µm, 두 콘택 사이의 길이는 20 µm로 동일하다. 오믹 콘택과 쇼트키 콘택 사이에 0 V ~ 100 V 전압을 가하여 양단 사이에 흐르는 누설전류를 측정하였다.

3. 결과 및 검토

그림 6은 본 논문에서 제시된 세 패턴에서 쇼트키 콘택과 오믹 콘택 사이의 누설전류를 측정하는 것이다. 100 V에서의 패턴 1, 패턴 2, 패턴 3의 누설전류는 각각 4.24 µA, 10.03 µA, 46.00 µA로 측정되었다.

버퍼누설전류측정패턴에서의 누설전류가 100 V 전압 인가시 41.20 µA가 측정되었기 때문에 패턴

2와 비교를 통해 역방향 전류가 쇼트키 콘택에 의해 차단됨을 알 수 있다.

패턴 2의 누설전류는 패턴 1의 약 2 배로 측정되었다. 이것은 패턴 1에서는 활성 영역의 표면의 트랩에 의한 표면누설전류만 흐르지만, 패턴 2에서 식각 데미지를 받은 GaN 버퍼표면에 쇼트키 콘택이 형성되어 GaN 버퍼표면을 통한 누설전류가 발생했기 때문이다. 패턴 3은 패턴 1 대비 누설전류가 약 10 배로 측정되었다. 패턴 3에서의 쇼트키 콘택은 활성 영역, GaN 버퍼표면, mesa 경사면의 모든 영역에서 형성되어있으며 각 영역에서 누설전류가 발생한다. 패턴 3의 누설전류는 패턴 2의 누설전류의 약 4 배로 측정되었다. 이것은 AlGaIn/GaN 이종접합구조에서의 누설전류는 mesa 경사면 위의 쇼트키 콘택에서 가장 큰 것을 의미한다.

패턴 1에서의 누설전류가 4.24 μ A로 비교적 큰 값이 측정되었다. 이것은 AlGaIn/GaN 이종접합구조의 성장시 SiC 기판과 GaN 사이의 격자불일치에 의한 격자탈구가 AlGaIn/GaN 이종접합구조의 표면까지 영향을 주기 때문이다. 또한 자발분극과 압전분극으로 인해 AlGaIn/GaN 이종접합구조의 표면에 형성된 전하를 통해 누설전류가 발생할 수 있다. 패턴 2에서의 쇼트키 콘택과 오믹 콘택은 활성 영역뿐만 아니라 식각된 영역의 표면에서도 형성되었다. SiC기판과의 격자불일치로 인한 격자탈구는 격자의 결합력이 약화되기 때문에 식각과정을 수행할 경우 격자탈구가 야기된 영역은 그렇지 않은 영역보다 더 큰 데미지를 받게 된다. 이로 인해 패턴 1에서보다 더 많은 트랩전하 위에 쇼트키 콘택이 형성되며, 누설전류가 약 2 배가 증가하였다. 패턴 3에서는 mesa 경사면을 통한 누설전류에 대해 분석하기 위해 여러개의 끝이 형성된 패턴을 만들었다. mesa 경사면 위에 쇼트키 콘택이 형성될 경우 쇼트키 콘택이 AlGaIn/GaN 이종접합 구조에서 AlGaIn과 GaN의 계면에 형성된 2차원전자가스에 닿게 된다. 2차원전자가스는 AlGaIn/GaN 구조에서 자발분극과 압전분극의 영향, AlGaIn과 GaN의 밴드갭의 차이 등으로 발생하는 에너지밴드의 끝의 간혀서 이동한다. 즉, 벌크영역에서보다 이온의 산란이 적기 때문에 작은 저항을 갖는다. 쇼트키 콘택이 플라즈마 식각 데미지를 받은 mesa 경사면 위에 형성될 경우 mesa 경사면의 트랩을 통해 2차원전자가스로 전자가 유입된다. 이로 인해 AlGaIn/GaN 이종접합구조에서의 누설전류가 급격히 증가할 수 있다. 패턴 3에서의 누설전류는 패턴 1에서의 누설전류에 비해 약 10 배 크고, 버퍼누설전류측정패턴에서의 누설전류보다 약간 크게 측정되었다.

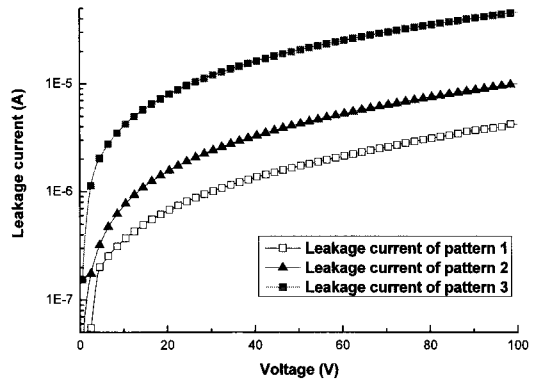


그림 6. 패턴 1, 패턴 2, 패턴 3의 각각의 누설전류 측정.

Fig. 6. The leakage current of pattern 1, 2, 3 respectively.

4. 결론

본 연구에서는 세 종류의 누설전류측정패턴을 제작하여 비교 분석하였다. 이를 위해 쇼트키 콘택의 역방향 전압의 차단능력을 알아보기 위해 버퍼누설전류측정패턴의 버퍼누설전류를 측정하였다. 그 결과 버퍼누설전류는 40.20 μ A로 측정되었고, 식각되지 않은 영역에서만 쇼트키 콘택이 형성된 패턴, GaN 버퍼표면에 쇼트키 콘택이 형성된 패턴, GaN 버퍼표면과 mesa 경사면 위에 쇼트키 콘택이 형성된 패턴 각각의 경우 누설전류는 100 V에서 각각 4.24 μ A, 10.03 μ A, 46.00 μ A로 측정되었다. 쇼트키 콘택 형성된 패턴 2에서의 누설전류는 오믹 콘택만 형성된 버퍼누설전류측정패턴의 누설전류보다 약 4 배 작게 측정되었다. 또한, 플라즈마 식각 데미지를 받은 mesa 경사면과 GaN 버퍼표면에 증착된 쇼트키 콘택이 형성된 패턴은 GaN 버퍼표면에 쇼트키 콘택이 형성된 패턴과 식각되지 않은 영역에서만 형성된 쇼트키 콘택을 갖는 패턴보다 큰 누설전류가 측정되었다. 이 결과를 바탕으로 AlGaIn/GaN의 이종접합구조에서 식각된 GaN 버퍼표면과 mesa 경사면 위의 쇼트키 콘택이 누설전류를 유발하며 그 중에서 mesa 경사면 위의 쇼트키 콘택을 통한 누설전류가 가장 크다고 할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 전력IT사업단을 통해 지식경제부의 전력산업기술개발사업으로부터 지원받아 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] D. Ueda, T. Murata, M. Hikita, S. Nakazawa, M. Kuroda, H. Ishida, M. Tanagihara, K. Inoue, T. Ueda, Y. Uemoto, T. Tanaka, and T. Egawa, "AlGaIn/GaN Devices for Future Power Switching Systems", Int. Electron Device Meeting Tech. Dig., p. 389, 2005.
- [2] S. J. Pearton, J. C. Zolper, R. J. Shul, and F. Ren, "GaN: Processing, defects, and devices", J. Appl. Phys., Vol. 86, p. 1, 1999.
- [3] D. D. Koleske, M. E. Coltrin, S. R. Lee, G. Thaler, K. C. Cross, and M. J. Russell, "Understanding GaN nucleation layer evolution on sapphire and its impact on GaN dislocation density", Proc. SPIE, Vol. 6841, p. 68410H, 2007.
- [4] 석오균, 최영환, 임지용, 김선재, 김영실, 김민기, 한민구, "식각되지 않은 영역에서의 쇼트키 콘택을 이용한 AlGaIn/GaN High-electron-mobility Transistors(HEMTs)", 16회 반도체 학술대회, 2009.