

항복전압 향상을 위해 새로운 구조를 적용한 AlGaN/GaN HEMTs

석오균, 임지용, 최영환, 김영실, 김민기, 한민구  
서울대학교

New AlGaN/GaN HEMTs for High Breakdown Voltage

Ogyun Seok, Jiyong Lim, Young-Hwan Choi, Young-Shil Kim, Min-Ki Kim and Min-Koo Han  
Seoul National University

**Abstract** - 본 논문에서는 순방향 특성의 열화 없이 항복전압 향상을 위해 플로팅게이트와 필드플레이트를 적용한 AlGaN/GaN HEMTs를 제작하였다. AlGaN/GaN HEMTs에서의 항복전압은 게이트의 하단의 전계분포와 관련이 있다. 제안된 AlGaN/GaN HEMTs의 경우 GaN 층의 공핍영역을 효과적으로 확장시킴으로써 게이트와 드레인 사이의 영역에서의 전계집중을 성공적으로 완화시켰다. 필드플레이트와 플로팅게이트가 모두 적용된 소자의 항복전압이 1106 V인 반면, 필드플레이트만 적용된 소자의 항복전압은 688 V, 플로팅게이트만 적용된 소자의 항복전압은 828 V로 측정되었다.

1. 서 론

AlGaN/GaN HEMTs(High Electron Mobility Transistors)는 넓은 밴드갭, 높은 임계전계, 낮은 진성캐리어 농도 등의 특성으로 인해 실리콘 대비 높은 항복전압을 가지며, 벌크에서의 큰 전자 이동도와 높은 속도 포화뿐만 아니라 AlGaN과 GaN의 이종접합구조로 인한 2차원전자가스(2 Dimensional Electron Gas, 2DEG)의 존재로 고속 스위칭 동작이 가능하다[1].

AlGaN/GaN HEMTs가 전력소자로 사용되기 위해서는 높은 항복전압이 중요하다. 항복전압이 향상을 위하여 불화물 주입, SiO<sub>2</sub>와 SiN<sub>x</sub> 같은 절연막을 이용한 페시베이션, 필드플레이트와 플로팅게이트와 같은 구조 변화 등 다양한 기술이 보고되었다[2-4].

본 연구의 목적은 AlGaN/GaN HEMTs의 순방향 특성의 열화 없이 항복전압을 향상을 위해 필드플레이트와 플로팅게이트 함께 적용한 AlGaN/GaN HEMTs를 제작하는 것이다.

AlGaN/GaN HEMTs의 항복전압은 게이트의 하단의 전계분포와 관련이 있으며, 게이트와 드레인 사이의 공핍층의 확장을 통해 항복전압의 향상을 기대할 수 있다[5].

필드플레이트는 소스, 드레인, 게이트 형성과 절연막을 이용한 표면 페시베이션 공정 이후에 절연막 위에 게이트와 연결되어 게이트와 등전위로 작용하는 금속을 증착함으로써 제작된다. 게이트에 역방향으로 전압이 인가될 때 게이트와 드레인 사이의 GaN층에서 전자를 공핍시켜 게이트에서의 전계집중을 완화시킨다. 그리고 플로팅게이트는 게이트와 드레인 사이에 전극과 분리된 금속을 증착함으로써 제작되며 게이트와 함께 제작된다. 플로팅게이트의 전위는 게이트와의 거리에 따라 게이트의 전위와 0 V 사이로 결정된다.

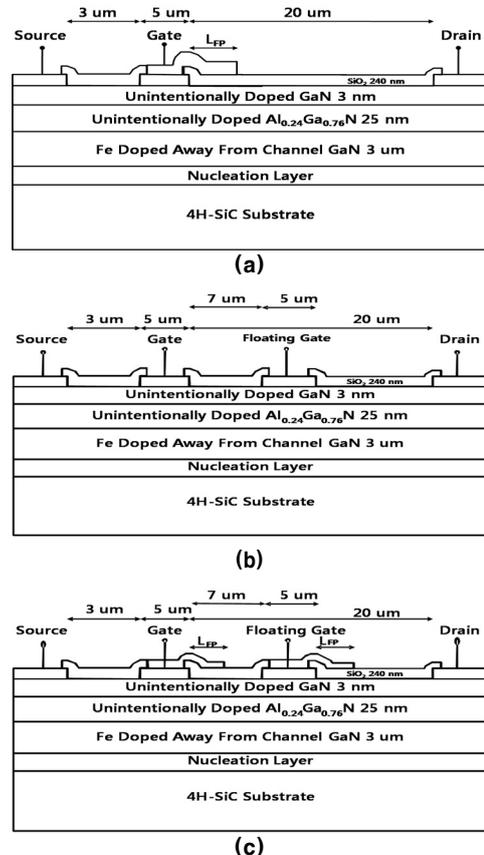
필드플레이트와 플로팅게이트를 각각 이용한 기존의 구조에서는 공핍층의 가장자리가 2곳인 반면, 제안된 구조에서는 4곳에 형성된다. 이로 인해 제안된 구조에서의 게이트와 드레인 사이의 공핍층의 분포는 기존의 구조에서의 공핍층의 분포보다 더 완만하게 형성되고 전계집중이 더 완화되었다. 필드플레이트와 플로팅 게이트를 함께 적용한 제안된 소자에서의 항복전압이 필드플레이트와 플로팅게이트를 각각 적용한 소자의 항복전압보다 높게 측정되었다.

2. 본 론

2.1 소자의 제작

본 논문에서 제작된 AlGaN/GaN HEMTs의 단면도가 그림 1에 나타나 있다. 그림 1의 (a)는 필드플레이트를 적용한 소자의 단면도이며, (b)는 플로팅게이트를 적용한 소자의 단면도, (c)는 필드플레이트와 플로팅게이트 모두 적용한 소자의 단면도이다. 세 가지 소자는 크게 소자 간 분리, 오믹전극 형성, 쇼트키전극 형성의 동일한 제작 순서를 가진다. 준절연체 4H-SiC 위에 Nucleation 층과 3 μm의 GaN 버퍼층, 30 nm의 UID(Unintentionally Doped layer) Al<sub>0.24</sub>Ga<sub>0.76</sub>N층, 3 nm의 GaN 보호층이 금속유기화학기상증착(Metalorganic Chemical Vapor Deposition, MOCVD) 방식으로 순차적으로 증착되었다. 그리고 소자간의 분리를 위해 유도코일플라즈마-반응성이온식각(Inductively Coupled Plasma

Reactive Ion Etch, ICP-RIE)을 이용하여 270 nm의 깊이를 식각하였다. 전자빔증착기와 리프트-오프 공정을 이용하여 소스, 드레인 영역에 Ti/Al/Ta/Au(20/80/20/100 nm)을 형성한 후 850 °C, N<sub>2</sub> 분위기에서 30 초 동안 어닐링하여 오믹 전극을 형성하였다. 그 이후의 게이트 형성을 위해 전자빔증착기와 리프트-오프 공정을 이용하여 쇼트키 전극(Ni/Au/Ni, 50/300/50 nm)을 제작하였다. 그림 1의 (a)에서 보인 필드플레이트가 적용된 소자의 경우 게이트 제작 이후 유도코일플라즈마-화학기상증착(Inductively Coupled Plasma Chemical Vapor Deposition, ICP-CVD)을 이용한 240 nm의 SiO<sub>2</sub> 페시베이션 이후 활성영역의 게이트 위에 증착된 SiO<sub>2</sub> 반응성이온식각을 이용하여 식각한 후 SiO<sub>2</sub> 위에 게이트와 연결되는 금속(Ni/Au/Ni, 50/300/50 nm)을 패터닝하여 제작하였다. 그림 1의 (b)에서 보인 플로팅게이트를 적용한 소자의 경우 게이트와 플로팅게이트는 동일한 구성과 깊이로 동시에 제작되었다. 본 논문에서 제안된 필드플레이트와 플로팅게이트가 함께 적용된 소자의 구조가 그림 1의 (c)에 나타나 있다. 이 경우는 게이트와 플로팅게이트가 동시에 제작되고 그 후에 SiO<sub>2</sub> 페시베이션막을 증착하고 활성영역의 게이트와 플로팅게이트 위의 SiO<sub>2</sub>를 식각한 후 금속(Ni/Au/Ni, 50/300/50 nm)을 증착하여 게이트와 필드플레이트, 그리고 플로팅게이트와 필드플레이트를 연결하여 제작하였다.



〈그림 1〉 소자 단면도 : 필드플레이트를 적용한 소자(a), 플로팅게이트를 적용한 소자(b), 필드플레이트와 플로팅게이트를 모두 적용한 소자실험(c)

## 2.2 실험 결과 및 고찰

본 실험에서는 제작된 3개의 소자에서 동일한 게이트 길이( $L_G$ : 5  $\mu\text{m}$ )와 게이트 드레인 사이의 길이( $L_{GD}$ : 20  $\mu\text{m}$ )가 사용되었다. 그림 2는  $V_G$ 가 0 V일 때  $V_D$ 를 0 V부터 100 V까지 증가시키면서 누설전류를 측정할 결과이다. 필드플레이트와 플로팅게이트가 모두 적용된 소자의 경우 게이트와 드레인 사이의 전계가 효과적으로 완화되어서 100 V에서 1.68  $\mu\text{A}$ 가 측정된 반면 필드플레이트만 적용된 소자와 플로팅게이트만 적용된 소자의 누설전류는 각각, 3.21  $\mu\text{A}$ , 1.91  $\mu\text{A}$ 로 측정되었다.

표 1에서는 제작된 3개의 소자에 대한 크기와 항복전압을 나타내었다. 필드플레이트와 플로팅게이트 함께 적용한 소자의 항복전압은 1106 V로 측정되었고 필드플레이트만 적용한 소자의 경우와 플로팅게이트만 적용한 소자의 항복전압은 각각 688 V, 828 V로 측정되었다. AlGaIn/GaN HEMTs에서의 전계집중은 게이트의 하단에서 발생한다. 필드플레이트와 플로팅게이트를 사용할 경우 게이트와 드레인 사이의 공핍층이 확장되고, 게이트의 전계가 게이트와 필드플레이트 2곳으로 양분되어 집중된다. 하지만 필드플레이트와 플로팅게이트를 모두 적용한 소자의 경우 GaN 층에서의 전계집중이 게이트, 게이트와 연결된 필드플레이트, 플로팅게이트, 플로팅게이트와 연결된 필드플레이트, 4곳으로 나누어진다. 이런 이유로 필드플레이트와 플로팅게이트를 함께 사용할 경우 필드플레이트와 플로팅게이트를 각각 사용하는 기존의 소자보다 더욱 완만한 공핍층을 얻을 수 있으며, 게이트 하단의 전계집중을 완화시킬 수 있다.

그림 3은 제작된 소자에서의 I-V 특성을 나타낸 것이다. 필드플레이트와 플로팅게이트가 모두 적용된 소자의 최대 드레인 전류는 344 mA/mm로 측정되었고 필드플레이트와 플로팅게이트를 각각 적용한 소자의 경우 350 mA/mm, 357 mA/mm로 3개의 소자에 순방향 특성에 큰 차이는 없었다. 그림 4의 전달특성에서도 마찬가지로 3가지 소자에서의 최대 상호전달컨덕턴스는 필드플레이트와 플로팅게이트 함께 적용된 소자의 경우 102.9 mS/mm, 필드플레이트만 적용한 소자와 플로팅게이트만 적용한 소자의 경우 97.8 mS/mm, 101.9 mS/mm로 비슷하게 측정되었다.

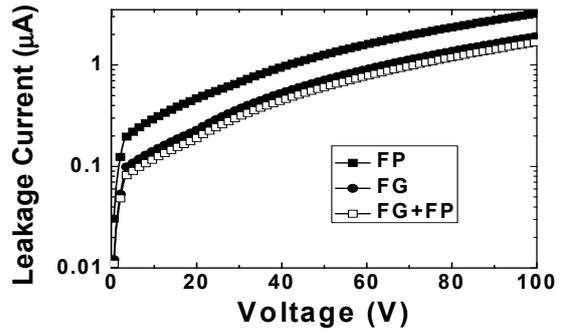
필드플레이트와 플로팅게이트를 적용한 소자 그리고 필드플레이트와 플로팅게이트를 모두 사용한 소자의 전달특성과 I-V 곡선은 비슷한 값을 갖는 반면, 누설전류와 항복전압은 크게 차이가 난 것을 통해 필드플레이트와 플로팅게이트를 적용한 AlGaIn/GaN HEMTs에서 순방향 특성의 열화 없이 효과적으로 항복전압을 향상시켰음을 알 수 있다.

〈표 1〉 제작된 소자의 크기와 항복전압

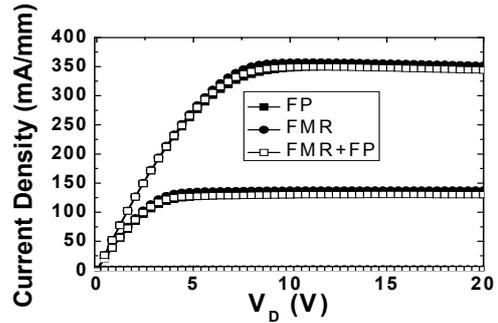
	필드플레이트	플로팅게이트	필드플레이트 & 플로팅게이트
$L_G$		5 $\mu\text{m}$	
$L_{GD}$		20 $\mu\text{m}$	
$L_{FP}$	7 $\mu\text{m}$	NA	3 $\mu\text{m}$
$L_{G-FG}$ (Gate to FG)	NA	7 $\mu\text{m}$	7 $\mu\text{m}$
$L_{FG}$	NA	5 $\mu\text{m}$	5 $\mu\text{m}$
항복전압	688 V	828 V	1106 V

## 3. 결 론

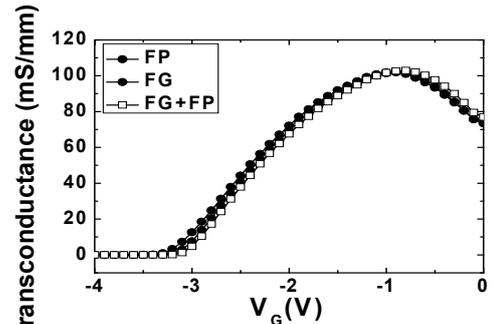
본 논문에서는 항복전압을 향상시키기 위해 필드플레이트와 플로팅게이트를 함께 적용한 AlGaIn/GaN HEMTs가 제작, 분석되었다. 제안된 소자에서의 드레인 전류와 상호전달컨덕턴스는 필드플레이트와 플로팅게이트를 각각 적용한 기존의 소자에서의 값과 비슷하게 측정된 반면, 누설전류는 필드플레이트와 플로팅게이트를 각각 적용된 소자에서 3.21  $\mu\text{A}$ , 1.91  $\mu\text{A}$ 로 측정되었고, 필드플레이트와 플로팅게이트를 함께 적용한 소자에서는 1.68  $\mu\text{A}$ 로 상대적으로 낮은 값이 측정되었다. 또한, 필드플레이트와 플로팅게이트를 각각 적용한 소자, 함께 적용한 소자의 항복전압은 688 V, 828 V, 1106 V로 필드플레이트와 플로팅게이트를 함께 적용한 소자의 항복전압이 가장 높게 측정되었으며 이는 게이트 하단의 공핍층을 확장시킴으로써 게이트의 가장자리에서의 전계집중을 효과적으로 완화시켰기 때문이다.



〈그림 2〉 제작된 소자에서의 누설전류



〈그림 3〉 제작된 소자에서의 I-V 특성



〈그림 4〉 제작된 소자에서의 전달특성

[감사의 글]

본문은 지식경제부가 지원하는 전력계통기술개발사업인 “계통연계형 인버터 시스템을 위한 고효율 전력소자 기반기술개발”을 통해 개발된 결과임을 밝힙니다.

[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., pp 389-392, 2005.
- [2] Kyu-Heon Cho, Young-Hwan Choi, Jiyong Lim and Min-Koo Han, "High breakdown voltage AlGaIn/GaN HEMTs employing fluoride plasma treatment", The Royal Swedish Academy of Sciences, 2008
- [3] Min-Woo HA, Young-Hwan CHOI, Jiyong LIM, and Min-Koo HAN, "SiO<sub>2</sub> Passivation Effects on the Leakage Current in AlGaIn/GaN High-Electron-Mobility Transistors Employing Additional Schottky Gate" Japanese Journal of Applied Physics, Volume 46, Issue 4B, pp. 2291 (2007).
- [4] Seung-Chul Lee, Min-Woo Ha, Jin-Cherl Her, Jiyong Lim, Kwang-Seok Seo and Min-Koo Han, "An AlGaIn/GaN HEMT power switch employing a field plate and a floating gate", INSTITUTE OF PHYSICS PUBLISHING, Phys. Scr. T126 (2006) 65-67
- [5] Baliga B J, "Power Semiconductor Devices (Boston, MA:PWS Publishing Company)", pp 82 - 90, 1996