

논문 2011-48SD-5-1

게이트 필드플레이트 구조 최적화를 통한 AlGaIn/GaN HEMT 의 항복전압 특성 향상

(Improving The Breakdown Characteristics of AlGaIn/GaN HEMT by
Optimizing The Gate Field Plate Structure)

손 성 훈*, 김 태 근**

(Sung Hun Son and Tae Geun Kim)

요 약

본 논문에서는 AlGaIn/GaN HEMT의 항복 전압 특성 향상을 위해 2차원 소자 시뮬레이터를 통하여 게이트 필드 플레이트 구조를 최적화하였다. 필드플레이트 길이, 절연체 종류, 절연체 두께 변화 등의 세가지 변수를 이용하여 시뮬레이션을 진행하였으며 그에따른 전기장 분포의 변화와 항복전압 특성을 확인하였다. 필드플레이트 구조를 최적화 시킴으로서 게이트 에지부분과 필드플레이트 에지부분에 집중 되어있던 전기장이 효과적으로 분산된다. 그에 따라 에벌런치 효과가 줄어들게 되어 항복 전압 특성이 향상된다. 결론적으로 최적화된 게이트 필드플레이트 구조는 일반적인 구조에 비해 항복특성을 약 300% 이상 향상시킬 수 있다.

Abstract

In this paper, we optimize the gate field plate structure to improve breakdown characteristics of AlGaIn/GaN HEMT by two-dimensional device simulator. We have simulated using three parameters such as field-plate length, types of insulator, and insulator thickness and thereby we checked change of the electric field distribution and breakdown voltage characteristics. As optimizing field-plate structure, electric fields concentrated near the gate edge and field-plate edge are effectively dispersed. Therefore, avalanche effect is decreased, so breakdown voltage characteristic is increased. As a result breakdown characteristics of optimized gate field-plate structure are increased by about 300% compared to those of the standard structure.

Keywords : HEMT, Field-plate, Electric field, Breakdown characteristics

I. 서 론

최근 정보통신산업이 급격히 발달함에 따라 개인 이동통신, 광대역 통신, 군사용 레이더 등 무선통신 기술

의 수요가 점차 확대되고 있다. 그에 따라 고도의 정보 처리 기술이 가능한 고출력/고주파 소자의 필요성이 증가하고 있다.^[1~2] 이러한 전력증폭기에 사용되는 갈륨 나이트라이드 (GaN) 물질은 기존의 Si 및 GaAs 물질 보다 큰 에너지 밴드갭과 높은 열전도도 등의 특징을 가져 고출력/고주파 소자에 매우 적합하여 전 세계적으로 활발히 연구가 진행되고 있다.^[3]

AlGaIn/GaN 이중접합을 이용한 고전자 이동도 트랜지스터(HEMT)는 두 물질간의 계면에서 전도대의 불연속성으로 인해 생성되는 이차원 전자가스 채널(2 dimensional electron gas, 2DEG)을 이용하기 때문에 높은 전자이동도, 높은 항복전압 특성을 가지게 된다.^[4]

* 학생회원, ** 정회원-교신저자,
고려대학교 전기전자전파공학과
(School of Electrical Engineering,
Korea University)

※ This work was supported by the IT R&D program of MKE/IITA. [2007-F-044-02, Development of GaN power amplifier for 4G base station
접수일자: 2010년12월13일, 수정완료일: 2011년5월6일

항복전압 특성은 고전압을 가하게 되는 정류기에 사용되는 AlGaIn/GaN HEMT 소자의 매우 중요한 특성이 되는데 이 특성을 더욱 향상시키기 위해서 필드플레이트 구조가 주로 사용된다. 필드 플레이트 구조는 소스 필드플레이트, 드레인 필드 플레이트, 게이트 필드플레이트 뿐만 아니라 두가지 이상을 동시에 사용하는 구조, 계단식 구조 등 다양한 구조가 연구되고 있다. 필드플레이트 구조는 게이트의 드레인 방향 에지 부분에 집중되어 있는 전기장을 골고루 분산시켜 에벌런치 효과가 작아지게 되고 그에 따라서 항복전압이 증가하게 된다. 이러한 필드플레이트의 효과는 필드 플레이트 길이, 절연체 종류, 절연체 두께 등에 의해서 변하게 되는데^[5] 논문에서는 SiC 필드플레이트 사의 ATLAS 시뮬레이터를 이용한 2차원 소자 전산모사를 이용하여 이들 변수에 따른 전기장의 분포와 항복전압 특성을 분석하여 최적화된 게이트 필드 플레이트 구조를 제안하였다.^[6]

II. 본 론

1. 제안된 소자의 구조

그림 1은 본 연구를 수행하기 위하여 설계한 AlGaIn/GaN HEMT 구조의 단면도 이다. 기판은 주로 사파이어나 SiC를 사용하지만 DC특성에 영향을 주지 않기 때문에 생략하였으며 GaN 층의 두께는 2 um, 0.02 um 두께의 Al_{0.2}Ga_{0.8}N 층으로 구성하였다. 게이트 전극의 길이는 0.5 um, 드레인과 소스의 길이는 0.25um이며 소스와 게이트간의 거리(L_{SG})는 1 um, 게이트와 드레인 사이의 거리(L_{GD})는 3 um 이다.

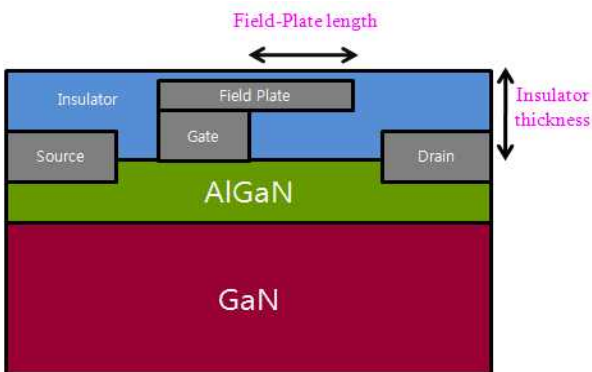


그림 1. 게이트 필드 플레이트 AlGaIn/GaN HEMT 소자의 단면도

Fig. 1. Cross-sectional views of the Gate field plate AlGaIn/GaN HEMT.

2. 시뮬레이션 모델

시뮬레이션은 항복전압을 전산모사 하기위해 Impact ionization 모델을 사용하였으며 그 수식은 다음과 같다.

$$G = \alpha_n |\vec{J}_n| + \alpha_p |\vec{J}_p| \quad (1)$$

위 식에서 G는 전자-정공쌍의 local generation rate를 α_n 과 α_p 는 ionization coefficient를 J_n 과 J_p 는 current density를 나타낸다. 여기서 ionization coefficient를 구현하기 위해서 Selberherr's Impact Ionization을 사용하였으며^[7] 수식은 다음과 같다.

$$\alpha_n = AN \exp \left[- \left(\frac{BN}{E} \right)^{\beta_n} \right] \quad (2)$$

$$\alpha_p = AP \exp \left[- \left(\frac{BP}{E} \right)^{\beta_p} \right] \quad (3)$$

위식에서 E는 electric field, α 와 β 는 각각 electron과 hole의 impact ionization coefficient를 나타낸다. AN, BN, AP, BP등은 물질 고유의 값으로 본 시뮬레이션에서는 여타 논문과 매뉴얼을 참고하여 적용하였으며 이 값은 AlGaIn과 GaN 에 동일하게 적용되었다.

또한 DC 특성 시뮬레이션을 위해 Fldmob 모델을 사용하였다.

$$\mu_n(E) = \mu_{n0} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{\mu_{n0} E}{V_{SATN}} \right)^{BN}} \right]^{1/BN}$$

$$\mu_p(E) = \mu_{p0} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{\mu_{p0} E}{V_{SATP}} \right)^{BP}} \right]^{1/BP} \quad (4)$$

위식에서 V_{satn} 과 V_{satp} 는 전자와 정공의 포화 속도이며 BN과 BP는 mobility와 관련된 fitting 파라미터, 그리고 μ_{n0} 와 μ_{p0} 는 전자와 정공의 low field mobility를 나타낸다.

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

(1) Field plate 길이

field plate 길이의 변화는 채널의 전기장의 분포에 영향을 끼치고 그에 따라 항복특성에 영향을 끼치는 요소이다. 그림 2(a)는 필드플레이트 길이에 따른 채널의 전기장의 분포를 나타내는데 필드 플레이트 길이를 1.0 um에서 1.5 um로 변화시키며 시뮬레이션 한 결과 길

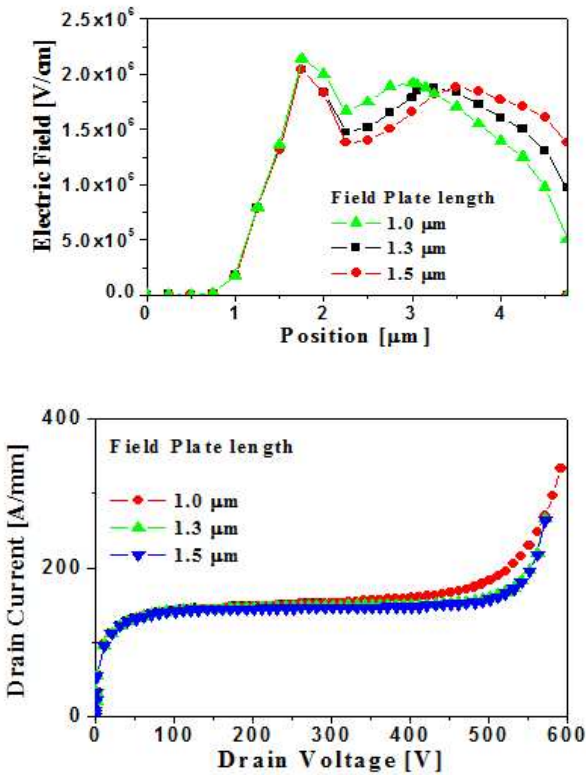


그림 2. 필드플레이트 길이에 따른 전기장의 분포 (a) 필드플레이트 길이에 따른 항복전압 (b)
 Fig. 2. The electric field distribution for field plate length (a) Breakdown voltage for field plate length (b).

이가 증가할수록 게이트 에지 부분에 걸리는 전기장의 세기가 감소하면서 드레인 영역으로 고르게 분산되는 것을 볼 수 있다. 하지만 1.5 μm에 이르게 되면 게이트 에지부분에 걸리는 전기장의 세기가 1.3 μm와 거의 비슷함을 알 수 있다. 결과적으로 그림 2(b)에서 볼 수 있듯이 필드플레이트 길이가 증가할수록 항복전압이 증가하다가 1.5 μm에 이르게 되면 항복전압의 변화가 거의 발생하지 않게 된다.

(2) 절연체 종류

절연체 물질은 각각 다른 유전율(ϵ)을 가지고 있기 때문에 절연체 물질에 따라 소자의 항복 특성이 변하게 된다. 유전상수(ϵ)가 7.5인 Si_3N_4 ($\epsilon=7.5$)와 유전상수가 3.5인 SiO_2 ($\epsilon=3.5$)를 각각 절연체를 바꿔서 시뮬레이션 한 결과 그림 3(a)에서와 같이 Si_3N_4 가 사용되었을 때 SiO_2 를 사용했을 때보다 게이트 에지부분의 전계가 감소하며 드레인 영역으로 넓게 분산되는 모습을 볼 수 있다. 이러한 전기장의 분포에 따라 항복전압의 특성을

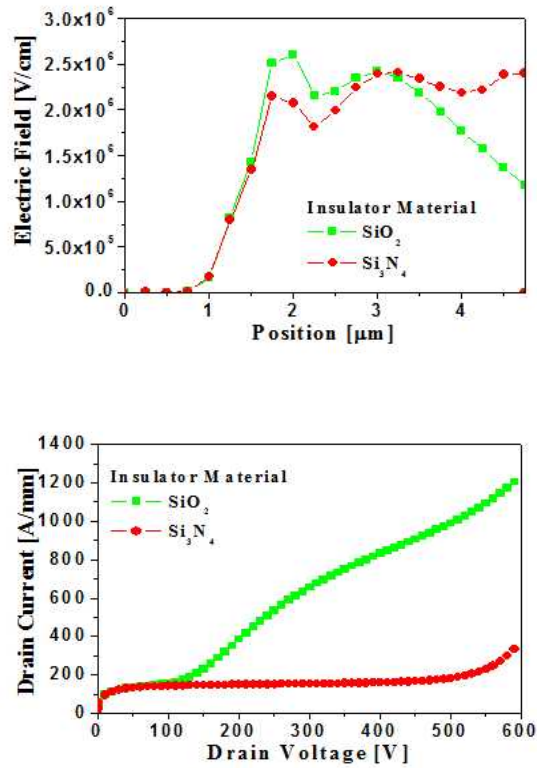


그림 3. 절연체 종류에 따른 전기장의 분포 (a) 절연체 종류에 따른 항복전압 (b)
 Fig. 3. The electric field distribution for insulator types (a) Breakdown voltage for insulator types (b).

그림 3(b)에서 나타내고 있으며 Si_3N_4 를 사용했을 때 SiO_2 에 비해 항복전압이 약 150 V에서 550 V로 크게 향상되는 것을 확인할 수 있다.

(3) 절연체 두께

절연체 두께에 따른 항복특성의 변화를 알아보기 위해서 Si_3N_4 를 사용하여 두께를 0.4μm에서 0.7μm로 변화시키며 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 4(a)에서 볼 수 있듯이 절연체의 두께가 증가할수록 게이트 에지부분의 전기장의 세기는 점점 증가하며 반대로 필드플레이트 부근의 전기장의 세기는 점차 약해지면서 두께가 0.7 μm에 이르게 되면 필드플레이트 효과가 사라지는 것을 확인할 수 있다. 그림 4(b)에서는 절연체 두께에 따른 항복전압 특성을 나타내는데 0.4 μm에서 452 V였던 항복전압이 점차 증가하면서 0.6 μm에서는 약 530 V에 이르게 된다. 하지만 0.7 μm에 이르게 되면 더 이상 항복전압이 증가하지 않고 약 510 V로 감소하게 된다.

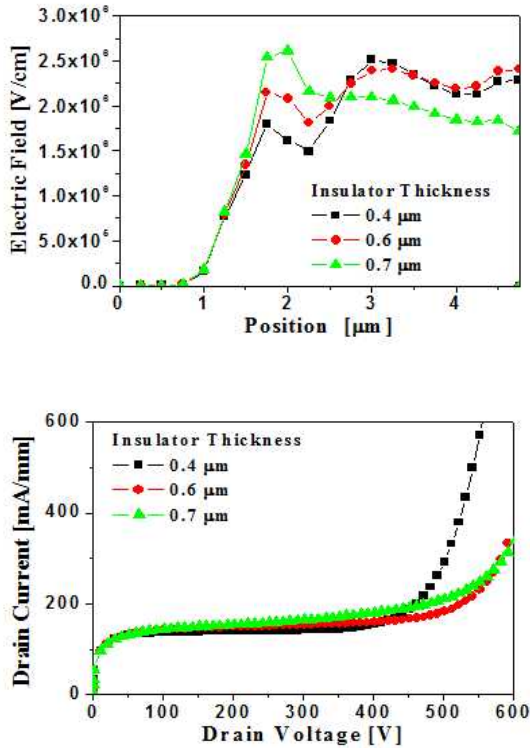


그림 4. 절연체 두께에 따른 전기장의 분포 (a) 절연체 두께에 따른 항복전압 (b)

Fig. 4. The electric field distribution for insulator thickness (a) Breakdown voltage for insulator thickness (b).

IV. 결 론

본 논문에서는 고전압/고출력 소자로 동작하는 AlGaIn/GaN HEMT 소자의 항복전압 특성을 향상시키기 위해 2차원 전산모사를 통하여 필드플레이트 구조에서의 필드플레이트 길이, 절연체 종류, 절연체 두께 등에 따른 항복특성의 경향성을 확인하고 이를 바탕으로 게이트 필드플레이트 구조를 최적화 하였다. 필드플레이트 길이가 증가할수록 항복전압 특성이 향상되지만 길이가 1.3 μm에 이르게 되면 더 이상 향상되지 않는다. 따라서 본 소자에서는 1.3 μm가 최적값으로 사료된다. 또한 유전상수가 7.5인 Si₃N₄ 절연체를 사용했을 때 유전상수가 3.5인 SiO₂를 사용했을 때보다 항복전압 특성이 우수하며 절연체의 두께가 증가할수록 항복특성이 향상되지만 0.7 μm에 이르게 되면 오히려 항복특성이 저하된다. 따라서 0.6 μm의 두께가 본 소자에서 최적화된 값으로 사료된다. 이와 같이 AlGaIn/GaN HEMT의

게이트 필드 플레이트 구조를 최적화 함으로써 고출력/고전압의 특성을 달성할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김재무, 김수진, 김동호, 정강민, 최홍구, 한철구, 김태근, "사다리꼴 게이트 구조를 갖는 고내압 AlGaIn/GaN HEMT", 전자공학회논문지-SD, 제 46권, 제 4호, pp. 10-14, April 2009.
- [2] 정강민, 김수진, 김재무, 김희동, 김태근, "AlGaIn/GaN HEMT의 분극현상에 대한 3D 시뮬레이션", 전자공학회논문지-SD, 제 47권, 제 10호, pp. 23-28, Oct. 2010.
- [3] Wu Y F, Saxler A, Moore M, Smith R P, Sheppard S, Chavarkar P M, Wisleder T, Mishra U K and Parikh P, "30-W/mm GaN HEMTs by field plate optimization", IEEE Electron Device Lett. 25, pp. 117-119, March 2004.
- [4] S.K. Davidsson, M. Gurusinghe, T.G. Andersson and H. Zirath, "The influence of composition and unintentional doping on the two-dimensional electron gas density in AlGaIn/GaN heterostructure", Journal of Electronic Materials. 33, pp. 440-444, 2004.
- [5] Shreepad Karmalkar and Umesh K.Mishra, "Enhancement of breakdown voltage in AlGaIn/GaN High Electron Mobility Transistors Using a Field Plate", IEEE transactions on electron devices, Vol. 48, No. 8, pp. 1515-1521, 2001.
- [6] Device simulation software Atlas, Atlas User's Manual, Silvaco international (2007).
- [7] S. Selberherr, "Analysis and Simulation of Semiconductor Devices", Springer-Verlag, Wien-New York. 1984.

— 저 자 소 개 —



손 성 훈(학생회원)
2010년 세종대학교 전자공학과
학사 졸업
2010년~현재 고려대학교 대학원
전기전자전파공학과 석사
과정

<주관심분야 : 반도체>



김 태 근(정회원)-교신저자
1997년 고려대학교 전자공학과
박사졸업.
1997년~1998년 ECE Dept.,
University of California,
San Diego, USA,
Research Fellow

1998년~2001년 Electrotechnical Laboratory
(ETL), Japan, NEDO Fellow
2001년~2002년 삼성종합기술원 포토닉스 랩
전문연구원
2002년~2004년 광운대학교 반도체 및 신소재
공학과 조교수
2004년~현재 고려대학교 전기전자전파공학부
교수

<주관심분야 : 반도체>