

AlGaIn/GaN HEMT 전력소자 시뮬레이션에 관한 연구

손 명 식[†]

[†]순천대학교 전자공학과

A Study on the Simulation of AlGaIn/GaN HEMT Power Devices

Myung Sik Son[†]

[†]Department of Electronic Engineering, Sunchon National University, KOREA

Abstract

The next-generation AlGaIn/GaN HEMT power devices need higher power at higher frequencies. To know the device characteristics, the simulation of those devices are made. This paper presents a simulation study on the DC and RF characteristics of AlGaIn/GaN HEMT power devices. According to the reduction of gate length from 2.0 μ m to 0.1 μ m, the simulation results show that the drain current at zero gate voltage increases, the gate capacitance decreases, and the maximum transconductance increases, and thus the cutoff frequency and the maximum oscillation frequency increase. The maximum oscillation frequency maintains higher than the cutoff frequency, which means that the devices are useful for power devices at very high frequencies.

Key Words : AlGaIn/GaN, HEMT, Device simulation

1. 서 론

GaN 전자소자는 와이드 밴드갭($E_g=3.4\text{eV}$)과 고온 안정성(700 °C) 등 재료적인 특징으로 인하여 고효율 RF 전력증폭기와 고전력용 전력반도체 스위치 소자로 큰 장점을 가진다. AlGaIn/GaN 이종접합을 이용한 고전자 이동도 트랜지스터(HEMT)는 두 물질간의 계면에서 전도대의 불연속성으로 인해 생성되는 2차원 전자가스 채널(2 dimensional electron gas, 2DEG)을 이용하기 때문에 높은 전자이동도, 높은 항복전압 특성을 가지게 된다.

GaN 반도체는 수많은 장점에도 불구하고 AlGaIn과 GaN 에피의 격자부정합(lattice mismatch)에 의한 특성 열화, 결정결함(crystal defects) 감소, 단결정 성장(ingot or bulk), 표면특성 제어기술 개발 등 아직도 해결해야 할 여러 가지 문제를 가지고 있다. AlGaIn/GaN 격자부정합에 의한 스트레인 문제해결을 위한 노력 및 AlInN/GaN 격자정합(lattice matched) 에피 구조 및 소

자의 개발과 대체가 활발히 진행되고 있으며, 결정 결함, 특히 전위밀도(dislocation density)가 현재 $10^9/\text{cm}^2$ 수준에 머물고 있어 고품위/고수명 소자를 위해서는 $10^5/\text{cm}^2$ 이하로 결함농도를 낮춰야 할 필요가 있다. 이를 위하여 미국 Kyma Tech. 그리고 일본 Mitsubishi Chemical 등에서는 벌크(bulk) GaN 성장에 관한 연구가 한창이지만, 아직 2인치 이상의 대면적 웨이퍼는 구하기 어려운 상황이다[1].

본 논문에서는 2차원 소자 시뮬레이터인 ISE-TCAD 시뮬레이터를 이용하여 고효율 RF 전력증폭기에 사용 가능한 AlGaIn/GaN HEMT 전력소자를 개발하기 위해 DC/RF 소자 특성을 시뮬레이션하였고, 게이트 길이 변화에 따른 DC/RF 특성을 비교 분석하였다.

2. AlGaIn/GaN HEMT 시뮬레이션

2.1. AlGaIn/GaN HEMT 구조

Fig. 1은 AlGaIn/GaN HEMT 소자 구조의 단면도를 나타내고 있으며 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ 장벽층으로 구성되어 있다. 소스와 드레인 전극은 모두 AlGaIn/GaN 이종접합

[†]E-mail : sonms@sunchon.ac.kr

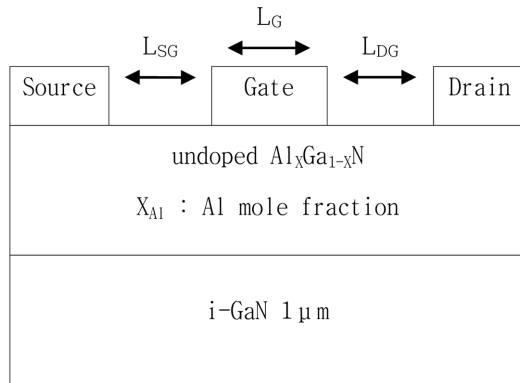


Fig. 1. AlGaN/GaN HEMT device structure.

Table. 1 AlGaN/GaN Properties Parameters.

Parameter	AlGaN	GaN
Affinity (eV)	3.91	4.3
Energy gap (eV)	3.97	3.43
Permittivity	8.78	8.9
Election mobility (cm^2/V_s)	600	900
Hall mobility (cm^2/V_s)	10	10
Electron saturation velocity (10^7 cm/s)	1.91	1.17
Hall saturation velocity (10^6 cm/s)	1	1

면에서 이차원 양자우물채널이 형성되는 부분에 맞닿아 오믹접촉이 이루어져 있으며 접촉저항은 무시하였다. 게이트 길이 L_G 는 $2.0 \mu\text{m}$, $1.0 \mu\text{m}$, $0.5 \mu\text{m}$, $0.2 \mu\text{m}$, $0.1 \mu\text{m}$ 으로 조정시키면서 시뮬레이션을 수행하였다.

2.2. 시뮬레이션 물성 파라미터

AlGaN/GaN HEMT 소자 시뮬레이션소자에 사용한 주요 물성 파라미터들인 전자친화도, 에너지 밴드갭, 유전율, 이동도, 포화속도를 Table. 1에 정리하여 나타내었다[2].

3. 시뮬레이션 결과 및 분석

3.1. I_d - V_d 특성

Fig. 2와 Fig. 3에서는 게이트 길이가 $2.0 \mu\text{m}$ 와 $0.1 \mu\text{m}$ 일 때의 I_d - V_d 특성 곡선을 각각 나타내었다. 게이트 길이 L_G 가 감소함에 따라 채널 전류가 증가하고 게이트 길이 감소에 의한 전달전도도 g_m 특성이 감소하는 것을 보여주고 있다.

Fig. 4에서는 게이트 길이 감소에 따른 채널 전류 I_{dss}

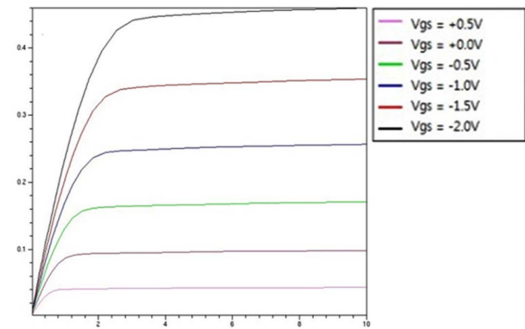


Fig. 2. I_d - V_d at gate length $2.0 \mu\text{m}$.

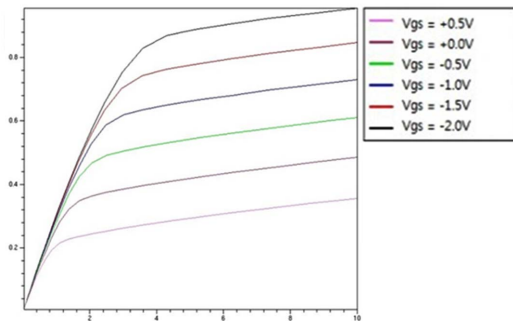


Fig. 3. I_d - V_d at gate length $0.1 \mu\text{m}$.

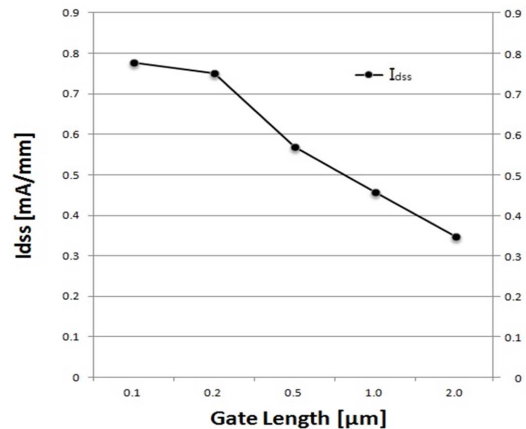


Fig. 4. I_{dss} according to the gate length.

값을 각 게이트 길이에 따라 나타내었다. 게이트 길이가 작아짐에 따라 채널 전류가 증가하고 있음을 보여주고 있다. 이는 게이트 길이가 작아짐에 따라 채널 전류는 증가함을 의미한다.

3.2. I_d - V_g 및 g_m 과 C_g 특성

Fig. 5에 게이트 길이 $2.0 \mu\text{m}$ 에서 시뮬레이션된 I_d -

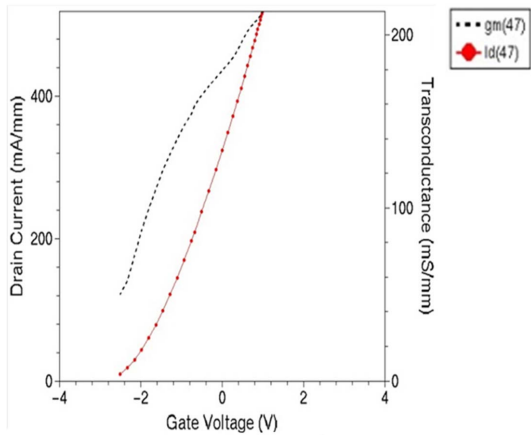


Fig. 5. I_d - V_g and g_m at gate length 2.0 μm .

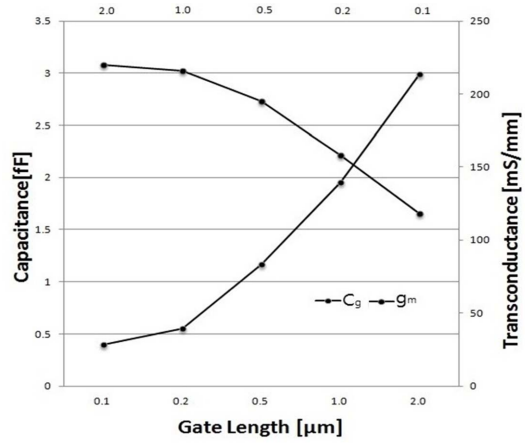


Fig. 7. C_g and g_m according to the gate length.

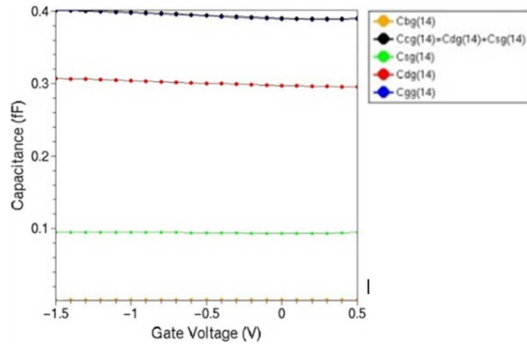


Fig. 6. C_g at gate length 0.1 μm .

V_g 특성 곡선과 g_m 값을 동시에 나타내었다. Fig. 6에서는 게이트 길이 0.1 μm 에서 시뮬레이션된 게이트 커패시턴스 값들을 게이트 전압 변화에 따라 나타내었다.

$$C_g = C_{gs} + C_{gd} \quad (1)$$

Fig. 7에서 보인 바와 같이 게이트 길이가 작아짐에 따라 식 (1)에서 정의한 C_g 값과 g_m 값이 작아짐을 정리하여 나타내었다. Fig. 7의 아래쪽 게이트 길이는 커패시턴스를, 위쪽 게이트 길이는 전달전도도(Transconductance)의 게이트 길이를 각각 나타낸다.

3.4. RF 특성

Fig. 8과 Fig. 9에서는 게이트 길이 0.5 μm 에서 바이어스 조건 변화에 따른 시뮬레이션된 f_T 및 f_{max} 결과를 나타낸다. Fig. 10에서 게이트 길이가 2.0 μm , 1.0 μm , 0.5 μm , 0.2 μm , 0.1 μm 로 감소함에 따라 동일 바이어스 조건 하에서 시뮬레이션된 f_T , f_{max} 값을 계산

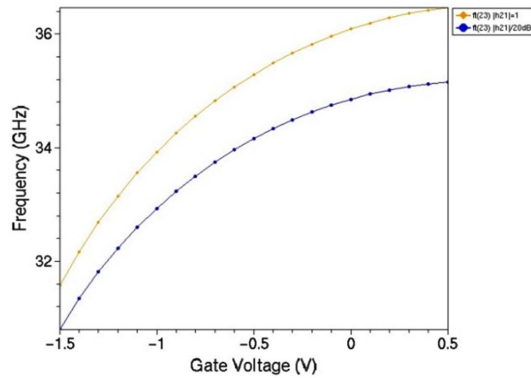


Fig. 8. f_T at gate length 0.5 μm .

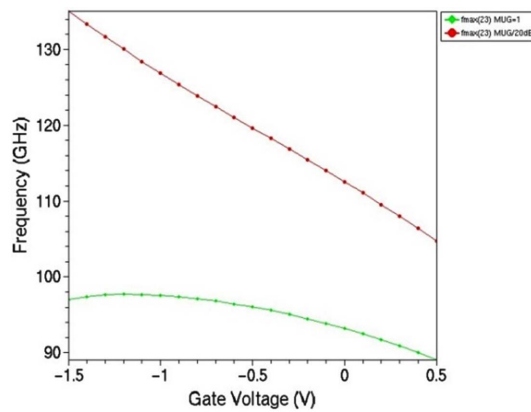


Fig. 9. f_{max} at gate length 0.5 μm .

해 그래프로 표현해 나타내었다.

f_T 는 식 (2)의 관련 식을 보면 C_g 에 반비례하고 g_m 에 비례하는데, Fig. 9에서 보면 게이트 길이가 감소함에

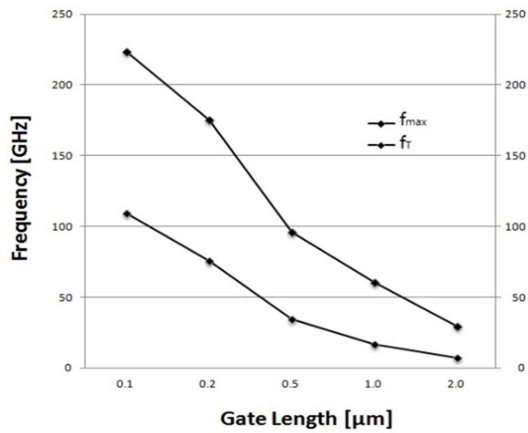


Fig. 10. f_T and f_{max} according to the gate length.

따라 C_g 감소가 g_m 감소에 비해 크므로 게이트 길이 감소에 따라서 증가한다. 아래 식(3)에서와 같이 L_G 가 감소함에 따라 f_T 가 증가하며 그에 따라서 식 (4)에서 f_{max} 또한 증가한다. $f_{max} > f_T$ 일 때는 PA (Power Amplifier)용 소자로 쓸 수 있으며 $f_{max} < f_T$ 일 때는 LNA(Low Noise Amplifier)용 소자로 사용할 수 있다.

$$f_T = \frac{g_m}{c_g} \quad (2)$$

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi c_{gs}} = \frac{V_s}{2\pi L_G} \quad (3)$$

$$f_{max} = \frac{f_T}{2\sqrt{r_1 + 2\pi f_T R_G C_{gd}}} \quad (4)$$

4. 결 론

본 논문에서는 AlGaIn/GaN HEMT 소자의 게이트 길이 변화에 따른 I_d - V_d , I_d - V_g , C_g 및 g_m 를 통한 DC/RF 특성 확인 결과 게이트 길이가 짧아질수록 게이트 공핍 영역이 감소해서 I_{dss} 즉 전류의 흐름이 점점 증가하고, C_g 값이 g_m 값보다 상대적으로 크게 감소함으로 인해 f_T , f_{max} 가 증가하는 것을 알 수 있었다.

향후 AlGaIn/GaN HEMT 소자의 결정결함 및 표면 효과 등을 고려해서 소자 특성을 정교하게 모델링 할 수 있다면 우수한 RF 특성을 갖는 전력소자 에피구조를 개발할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. J.K. Mun, B.G. Min, D.Y. Kim, W.J. Chang, S.I. Kim, D.M. Kang, E.S. Nam, "Next Generation Energy Efficient Semiconductors: Status of R&D of GaN Power Devices," Electronics and Telecommunications Trends, vol. 27, no. 1, pp. 96-106, 2012. 2.
2. Sung Hun Son, and Tae Geun Kim, "Optimization of the DC and RF characteristics in AlGaIn/GaN HEMT," Journal of Electronic Engineering, vol. 48, SD no. 9, pp.470-474, 2011.

접수일: 2014년 12월 1일, 심사일: 2014년 12월 11일,
게재확정일: 2014년 12월 22일