

밀리미터파 응용 시스템 설계를 위한 RF 소신호 주파수 특성 시뮬레이션

RF Small-Signal Frequency Simulations for the Design of Millimeter-wave Application Systems

손 명 식*

Myung-Sik Son*

요 약

GaAs 나 InP 기반의 HEMT(High Electron Mobility Transistor)들은 우수한 마이크로파 및 밀리미터파 주파수 특성 및 이에 따른 우수한 저잡음 특성을 가지고 있다. GaAs 기반 MHEMT(Metamorphic HEMT)는 InP 기반의 HEMT에 비해 비용 측면에서 커다란 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 마이크로파 및 밀리미터파 응용 시스템에 필수적인 MHEMT의 RF 특성을 예측 평가하기 위하여 MHEMT의 RF 소신호 특성 회로를 시뮬레이션하고 분석하였다. 본 논문에서의 시뮬레이션을 통한 RF 소신호 주파수 분석은 MHEMT를 이용한 밀리미터파 응용 시스템 설계에 도움을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

GaAs-based and InP-based HEMTs(High Electron Mobility Transistors) have good microwave and millimeter-wave frequency performance with lower minimum noise figure. GaAs-based MHEMTs(Metamorphic HEMTs) have some advantages, especially for cost, compared with InP-based ones. In this paper, the RF small-signal circuits of MHEMTs are simulated and analyzed for the design of millimeter-wave application systems. The simulation analysis for RF small-signal frequency can help and give some insights about the MHEMTs for the design of millimeter-wave application and communication systems.

Keywords : Millimeter wave, Communication system, RF, Small-signal circuit, Cutoff frequency, Maximum oscillation frequency, MHEMT

I. 서 론

수백 GHz에 이르는 밀리미터파 주파수 대역은 현재의 무선통신 및 미래의 광대역 무선 통신의 소중한 주파수 자원이다. 차세대 밀리미터파 통신 분야 및 이동 통신 분야에서 기술 선진국과의 기술력 격차를 줄이고 도약을 이루기 위해서는 다양한 통신 시스템의 핵심 소자개발이 필수적이다.

이러한 밀리미터파 주파수 대역용 InP 기반 HEMT(High Electron Mobility Transistor) 소자는 우수한 주파수 특성을 보여주고 있지만 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 이 소자의 가장 큰 문제로 아직은 비용이 GaAs 기반 소자에 비해 비싸며, 4인치 이상의 에피웨이퍼 생산이 어렵고, 제작시 깨지기 쉬워 취급하기 어렵다는 문제점을 안고 있다. 이에 대한 대안으로 InP 대신 GaAs 기판 위에 제작된 MHEMT에 대한 연구들이 많이 시도되고 진행되어 왔으며 위에서 언급한 InP 기반 MIMIC제작시의 단점을 극복할 수 있는 뛰어난 주파수 특성을 갖는 HEMT 소자로 자리 매김하고 있다.

이러한 실험 연구들의 단점은 HEMT 특성에 영향을 주는 상호

관련 요인들의 관련성을 정확하게 파악하는 데는 한계가 있는 것이 사실이고, 이를 극복하기 위한 대안 연구가 시뮬레이션을 통한 DC/RF 특성 분석이다.

소자 시뮬레이션의 신뢰성을 확보하고 이를 통해 실제 소자의 RF 특성을 분석한다면 상호 관련성을 좀 더 면밀히 파악할 수 있고 이를 통해 RF 특성을 개선할 수 있는 소자 구조를 제안하여 통신 시스템 전반의 성능 개선을 실현할 수 있다.

본 논문에서는 제작된 0.1 μ m Γ -게이트 MHEMT 특성에 대해 ISE사의 DESSIS 시뮬레이터를 이용하였고, RF 소신호 주파수 특성 예측을 위해 SPICE 소신호 등가 회로를 구성하여 주파수 특성을 수행하였다[1, 2]. RF 소신호 주파수 특성 시뮬레이션 결과를 실험 데이터와 비교하여 보이고 이를 통해 RF 소신호 주파수 특성을 예측하고 분석하였다. 또한 채널의 인듐(In) 구성비에 따른 파라미터 계수에 대한 선형 보간 값을 제안 적용하여 시뮬레이션을 수행하였고, 발표된 RF 소신호 주파수 특성 경향과 비교 분석하였다[3, 4, 5].

II. RF 소신호 등가회로 구성 및 2-포트 네트워크

0.1 μ m Γ -게이트 MHEMT 소자는 이중 델타 도핑된 에피구조 및 항복 전압을 높이기 위해 소스 측으로 치우쳐진 Γ -게이트 구조이다[1]. 소스-드레인 간격은 2 μ m이며 게이트는 Γ -게이트 구조를 가지고 있다. 게이트는 Ti/Au 금속 증착된 쇼트키 접합을 이루며,

* 순천대학교

투고 일자 : 2011. 6. 22 수정완료일자 : 2011. 7. 28

계재확정일자 : 2011. 8. 2

게이트 장벽층은 15nm의 $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ 층이 사용되었다. 소오스 및 드레인 오믹 접합(AuGe/Ni/Au)을 위해 캡(cap)층은 $6 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 의 농도로 n형 도핑되었다. 게이트 폭 70 μm 인 핑거 수 2개를 갖는 소자 레이아웃 구조를 가지고 있다.

계산의 효율성과 정확성을 고려하여 ISE사의 소자 시뮬레이터 DESSIS의 시뮬레이션 모델을 사용하여 HEMT소자 시뮬레이션을 수행하였고, 제작된 소자에 대해 시뮬레이션 파라미터 보정 작업을 수행하였다. HEMT 소자 시뮬레이션을 위해 고려된 기본적인 중요한 모델들을 아래에 정리하여 나타내었다.

- Hydrodynamic 전송 모델
- 고전계 이동도 감소 모델
- Si_3N_4 보호층/InAlAs 장벽층 계면의 표면 거칠기로 인한 이동도 감소 모델
- 오믹 접합시 AuGe 확산 도핑 모델
- 쇼트키 게이트 및 이종접합 경계면에서의 터널링 현상 및 열 전자 방출 효과
- SRH, Auger 및 Radiative 재결합 모델
- Si_3N_4 보호층/InAlAs 장벽층 계면의 표면 SRH 재결합 모델

위 기본적인 모델들 이외에 게이트 싱크(sink) 및 $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{InAlAs}$ 계면에 형성되는 깊은 준위 억셉터 트랩, 400nm InAlAs 버퍼층 및 메타몰피 버퍼층의 도너 트랩을 포함하여 시뮬레이션을 수행하였다. 본 논문에서는 시뮬레이션 결과의 타당성을 확보하기 위하여 시뮬레이션 파라미터 보정 결과를 아래 분석을 다루는 장에서 보일 것이다[1].

우수한 주파수 특성을 제약하는 가장 큰 요인 중 하나는 항복 특성이다. 일반적으로 HEMT는 우수한 이동도로 인해 대전류를 흘릴 수 있지만 InP-기반이나 GaAs-기반 HEMT 소자들은 On-상태 항복전압이 2~3V 이내로 제약이 크다. RF 주파수 특성과 더불어 파워 소자로서의 항복 특성을 시뮬레이션 분석하였다. Hydrodynamic 시뮬레이션에서 충돌이온화(impact ionization) 생성 전류를 통해 에벌런치(avalanche) 항복 특성을 시뮬레이션하여 분석하였다[6, 7]. DESSIS 시뮬레이터의 충돌 이온화 모델 중 van Overstraeten-de Man 모델을 사용하였고, 인듐 물질분 변화에 따른 충돌이온화 계수에 대한 선형 보간 파라미터 값을 제안 적용하였다[1, 2].

그림 1은 MHEMT의 소신호 주파수 해석을 위해 구성한 등가회로 모델이다[8]. R_d, R_s, R_g 는 각 단자의 패드 저항을 나타내며, L_g, L_d, L_s 는 인덕턴스를 나타낸다. C_{gs}, C_{gd}, C_{ds} 는 커패시턴스 성분이며, C_{ds} 는 드레인과 소스 사이의 커패시턴스 성분을 나타낸다. R_i 성분은 신호입력 성분에 대한 전하 충전 저항성분을 나타낸다. C_{pg1} 및 C_{pg2} 는 각각 게이트 단자와 소스 단자간, 그리고 소스 단자와 드레인 단자 사이에서 발생하는 기생 커패시턴스 성분을 의미한다. g_m 은 전달전도도이며, R_{ds} 는 드레인-소스간 저항을 나타낸다.

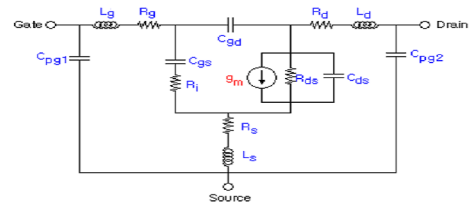


그림 1. HEMT의 소신호 등가회로 모델
Fig. 1. Small-signal equivalent circuit model of HEMT

RF 주파수 특성을 예측하기 위해서는 g_m 및 C_{gs}, C_{gd} 의 예측이 중요하다. 일반적인 HEMT 소자의 차단 주파수(cutoff frequency) f_T 및 최대공진주파수(maximum oscillation frequency) f_{max} 는 식 (1) 및 (2)과 같이 각각 표현된다[8].

$$f_T = g_m / (2\pi C_g) \quad (1)$$

여기서, $C_g = C_{gs} + C_{gd}$ 로 표현된다. g_m 은 게이트에 의한 전달전도도, C_{gs} 는 게이트-소스간 커패시턴스, C_{gd} 는 게이트-드레인간 커패시턴스이다.

$$f_{max} = \frac{f_T}{\sqrt{4 \frac{g_{ds}}{g_m} A + \frac{4}{5} \frac{C_{gd}}{C_{gs}} B C^2}} \quad (2)$$

$$\text{여기서, } A = g_m R_i + \frac{R_s + R_g}{1/g_m + R_i}, \quad B = (1 + 2.5 \frac{C_{gd}}{C_{gs}}),$$

$C = 1 + g_m R_s$ 이다.

위 소신호 등가회로 모델에서 외부 변수들인 $R_g = 1.82\Omega, R_d = 6.59\Omega, R_s = 2.57\Omega$ 으로 실험 데이터를 사용하였으며, $L_g = 0\text{H}, L_d = 0\text{H}, L_s = 0\text{H}$ 로 가정하였고, C_{pg1} 및 C_{pg2} 는 오픈으로 처리하여 시뮬레이션을 수행하여 총 게이트 커패시턴스 C_g 를 구하였다. 결국 C_g 성분을 줄이고 g_m 을 증가시킨다면 f_T 및 f_{max} 주파수 특성을 개선할 수 있다. RF 소신호 해석 시뮬레이션이 정확한 신뢰성을 얻기 위해서는 C_g 및 g_m 성분의 계산이 정확해야 한다.

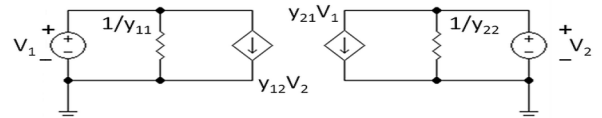


그림 2. 2-포트 네트워크에서의 y 파라미터
Fig. 2. y parameters in two-port networks

그림 2에서는 그림 1의 소신호 등가회로를 2포트 네트워크에서의 y 파라미터 행렬로 표현할 수 있고, 이를 통해 k (stability factor), MAG (maximum available gain), K (overall stability factor), MSG (maximum stable gain) 및 MUG (mason's unilateral gain or U)를 구할 수 있으며, h 파라미터 및 S 파라미터로 변환할 수 있다[9].

y 파라미터 행렬식은 식 (3)으로 표현되며, 행렬의 각 정의 식은 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} y_{11} &= \left. \frac{I_1}{V_1} \right|_{V_2=0} & y_{12} &= \left. \frac{I_1}{V_2} \right|_{V_1=0} \\ y_{21} &= \left. \frac{I_2}{V_1} \right|_{V_2=0} & y_{22} &= \left. \frac{I_2}{V_2} \right|_{V_1=0} \end{aligned} \quad (4)$$

안정계수 k 는 y 파라미터로부터 식 (5)와 같이 표현된다.

$$k = \frac{2\operatorname{Re}(y_{11})\operatorname{Re}(y_{22}) - \operatorname{Re}(y_{12}y_{21})}{|y_{12}y_{21}|} \quad (5)$$

식 (5)를 이용하여 MAG 및 K 를 구할 수 있다.

$$MAG = \left| \frac{y_{21}}{y_{12}} \right| (k - \sqrt{k^2 - 1}) \quad (6)$$

$$K = \frac{2[\operatorname{Re}(y_{11}) + \operatorname{Re}(y_{12})][\operatorname{Re}(y_{22}) + \operatorname{Re}(y_{21})] - \operatorname{Re}(y_{12}y_{21})}{|y_{12}y_{21}|} \quad (7)$$

K 계수 식 (7)에서 $k < 1$ 이어서 조건적 안정 상태라면 외부 어드미턴스 y_1 및 y_2 를 2-포트 네트워크 입력단과 출력단에 병렬로 연결해 주어야 한다. y_1 은 입력 매칭 네트워크를 의미하며, y_2 는 출력 매칭 네트워크를 의미한다.

MSG는 식 (8)과 같이 표현되고, MUG 식 (9)로 구할 수 있다.

$$MSG = \left| \frac{y_{21}}{y_{12}} \right| \quad (8)$$

$$MUG = \frac{|y_{21} - y_{12}|^2}{4[\operatorname{Re}(y_{11})\operatorname{Re}(y_{22}) - \operatorname{Re}(y_{12})\operatorname{Re}(y_{21})]} \quad (9)$$

RF 소신호 회로 시뮬레이션에서는 두가지 방법으로 f_T 와 f_{max} 를 구하였다. f_T 는 $|h_{21}|_{20\text{dB}}$ 기율기로 측정하였을 때 주파수축과 만나는 점을 읽은 값과 직접 계산한 $|h_{21}|$ 에서의 값으로 구하였고, f_{max} 또한 $MUG/20\text{dB}$ 기율기로 측정하였을 때 주파수축과 만나는 점을 읽은 값과 직접 계산한 $MUG=1$ 에서의 계산 값을 구하였다.

y 파라미터로부터 h 파라미터로 식 (10)를 사용하여 변환할 수 있다.

$$|h| = \frac{1}{y_{11}} \left| \frac{1 - y_{12}}{y_{21} \Delta y} \right| \quad (10)$$

여기서, $\Delta y = y_{11}y_{22} - y_{12}y_{21}$ 이며, Z_0 로 정규화한다면

$$|h| = \frac{1}{y_{11}} \left| \frac{1/Z_0 - y_{12}}{y_{21} \Delta y Z_0} \right|.$$

y 파라미터들로부터 변환식 (11)을 이용하여 S 파라미터로 변환할 수 있다.

$$\begin{aligned} S_{11} &= \frac{(1 - Z_0 y_{11})(1 + Z_0 y_{22}) + Z_0^2 y_{12} y_{21}}{\Delta} \\ S_{12} &= \frac{-2Z_0 y_{12}}{\Delta} \\ S_{21} &= \frac{-2Z_0 y_{21}}{\Delta} \\ S_{22} &= \frac{(1 + Z_0 y_{11})(1 - Z_0 y_{22}) + Z_0^2 y_{12} y_{21}}{\Delta} \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, $\Delta = (1 + Z_0 y_{11})(1 + Z_0 y_{22}) - Z_0^2 y_{12} y_{21}$ 이며, Z_0 는 특성 임피던스 50Ω 을 나타낸다. 정규화가 없다면 $Z_0 = 1\Omega$ 이된다.

III. RF 특성 시뮬레이션 결과 및 분석

시뮬레이션의 신뢰성을 확보하기 위하여 MHEMT 소자에 대해 파라미터 보정 시뮬레이션을 수행하여 그림 3, 4 및 표 1에서 보는 바와 같이 측정 데이터 및 이전 파라미터 보정 결과에 비하여 매우 잘 일치하는 RF/DC 특성 결과를 얻었다[3, 4].

그림 3에서 충돌이온화 애벌런치 생성 전류가 나타나기 시작한 점들을 V_{gs} 변화에 따라 빨간 실선으로 이어서 나타내었다. $V_{gs}=0\text{V}$ 일때 $V_{ds}=2.5\text{V}$ 에서부터 충돌이온화 생성 전류가 나타남을 알 수 있으며, $V_{gs}=-0.75\text{V}$ 에서는 $V_{ds}=1.1\text{V}$ 에서부터, $V_{gs}=-2.0\text{V}$ 에서는 $V_{ds}=3.0\text{V}$ 충돌이온화 생성 전류가 나타났다.

그림 4에서는 RF 소신호 회로 시뮬레이션 결과들을 정리하여 나타내었다. 그림 4(a)는 $V_{ds}=1.0\text{V}$ 에서 $V_{gs}=0 \sim -2.0\text{V}$ 로 변화시키면서 g_m 계산값을 표시하였다. 그림 4(b)는 $V_{ds}=1.0\text{V}$ 에서 $V_{gs}=0 \sim -1.5\text{V}$ 까지 변화시키면서 50GHz 에서 추출한 커패시턴스 성분 C 값들을 나타내었다. 그림 4(c)는 f_T 시뮬레이션에서 $f_T @ |h_{21}|_{20\text{dB}}$ 기율기로 읽은 결과 값 및 $|h_{21}|$ 의 계산 값의 결과 값을 $V_{ds}=1.5\text{V}$, $V_{gs}=+0.5 \sim -1.5\text{V}$ 로 바이어스 포인트 변화에 대해 계산하여 동시에 나타내었다. 그림 4(d)는 f_{max} 시뮬레이션에서 $f_{max} @ MUG/20\text{dB}$ 기율기로 읽은 결과 값 및 $MUG=1$ 의 계산 값의 결과 값을 $V_{ds}=1.5\text{V}$, $V_{gs}=+0.5 \sim -1.5\text{V}$ 로 바이어스 포인트 변화에 대해 계산하여 동시에 나타내었다. 시뮬레이션 결과로서의 f_T 와 f_{max} 는 각각 두 개의 시뮬레이션 결과 중 측정 데이터와 차이가 적은 값을 읽어 표 1에 표시하고 비교하였다[3, 4].

그림 4(e)는 계산된 MUG 를 나타내었고, 그림 4(f)에는 MSG , MAG 및 K 를 나타내었다. 그림 4(g)에는 h_{21} 을 나타내었고, 그림 4(h)에서는 계산된 S 파라미터들을 스미스 차트에 동시에 나타내었다. 표 1에서는 위에서 언급한 구성된 2-포트 등가회로 모델을 이용한 RF 소신호 주파수 특성 f_T, f_{max} 및 DC 특성인 I_{dss}, g_m 의 시뮬레이션 결과를 측정 데이터와 비교하여 나타내었으며, 비교적 일관성 있게 일치하는 결과를 보였다.

그림 4에서 f_T 및 f_{max} 의 경우에는 발표된 측정 데이터는 50GHz 에서 각각 h_{21} 및 MSG 로부터 외삽하여 얻은 데이터로서 외삽 측정된 결과에 대해서 시뮬레이션 결과가 $f_T @ |h_{21}|_{20\text{dB}}$ 기율기로 읽은 값이 측정값의 80.0%로 나타났고, $f_{max} @ MUG=1$ 에서 계산된 값이 측정값의 83.6%에 해당하는 결과로 외삽 측정된 데이터보다 작게 나타났다[3, 4]. 하지만, 오차 범위가 일관성을 유지하는 것으로 보

아 RF 소신호 주파수 시뮬레이션에서 f_T 를 결정하는 식 (1)에서 계산된 $g_{m,max}$ 를 대입하고, C_g 를 고려하여 $f_T = (0.95g_{m,max}) / (2\pi(aC_g)) = 0.8f_{T,measure}$ 로 두면 $a=1.1875$ 가 되며 이는 C_g 값이 1.1875배 정도 크게 계산되고, $g_{m,max}$ 는 0.95배로 작게 계산되었다고 분석할 수 있다. 이러한 f_T 결과는 관련식 (2)에 의해 f_{max} 계산 결과의 오차로 나타났다고 볼 수 있다.

표 2에서는 23nm 채널층의 $In_xGa_{1-x}As(x=0.2, 0.53, 0.65)$ 에서의 인듐 몰성분 x 변화에 따른 채널의 RF 소신호 주파수 특성 및 항복 특성을 시뮬레이션하여 표 2에 나타내었다. 인듐 몰성분 $x=0.2, 0.53, 0.65$ 일 때 시뮬레이션한 결과들에 대하여 $I_{ds}, g_{m,max}, f_T, f_{max}, BV_{on}, BV_{off}$ 계산 값들을 정리하였다. 채널층에서의 인듐 몰성분 x 가 증가하면서 이동도 및 표동 포화 속도의 증가로 포화 전류가 증가하고, 전단 전도도 g_m 도 증가하였으며 소자 구조가 동일하므로 게이트 커패시턴스 C_g 변화량이 작을 것으로 판단되며 식 (1) 및 (2)에 표현된 대로 g_m 및 C_g 계산 오차가 f_T 및 f_{max} 의 증가로 나타남을 확인할 수 있었다[5]. $V_{gs}=0V$ 에서의 BV_{on} 전압은 애벌런치 생성 전류가 나타나기 시작하는 첫 V_{ds} 전압을 기준으로 정하였다. $V_{gs}=-2V$ 에서의 BV_{off} 전압은 시뮬레이션에서 $V_{ds}=5V$ 까지 의미 있는 애벌런치 항복전압을 정할 수 없어 5V이상으로 나타내었다. g_m 특성은 나쁘나 인듐 몰성분 $x=0.2$ 일 때 전류 레벨이 1/2 수준으로 줄었지만 V_{ds} 전압이 5V까지 커다란 애벌런치 생성 전류가 나타나지 않는 것으로 보아 BV_{on} 전압은 $x=0.2$ 일때 항복 특성이 가장 좋음을 확인할 수 있었다[5].

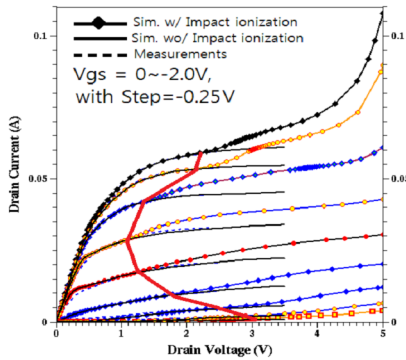
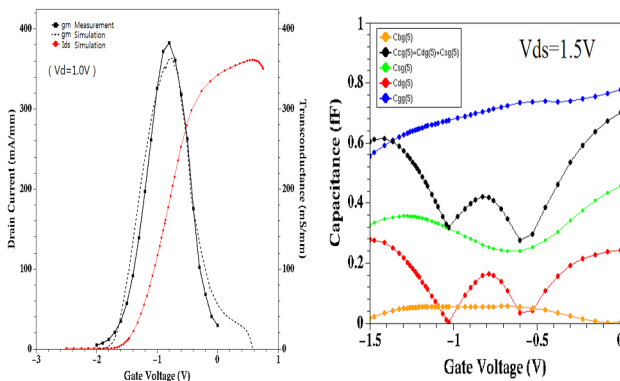


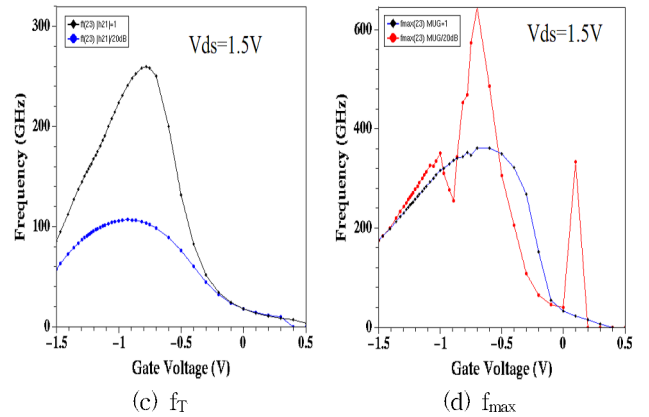
그림 3. DC 특성 시뮬레이션 결과

Fig. 3. Simulation results for DC characteristics



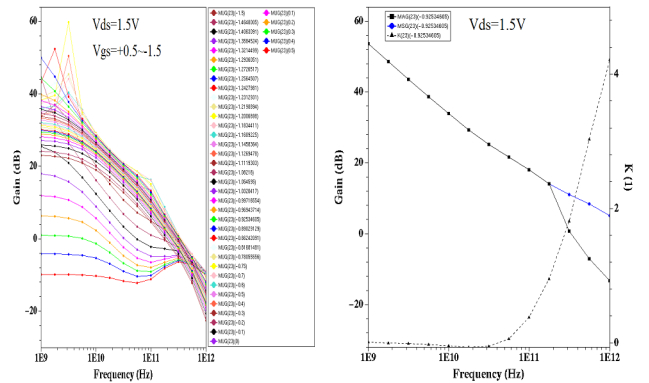
(a) g_m

(b) Capacitances@50GHz



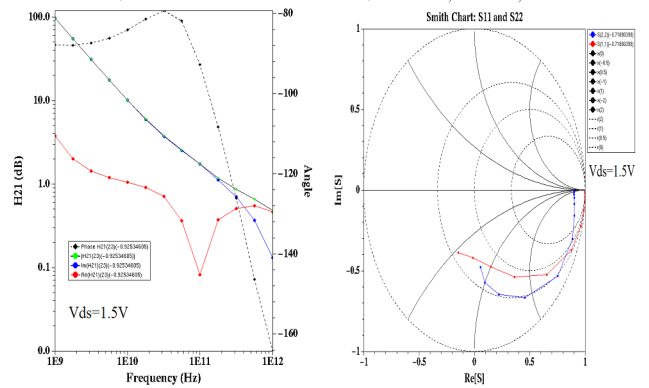
(c) f_T

(d) f_{max}



(e) MUG

(f) MSG, MAG, and K



(g) h_{21}

(h) S parameters on Smith chart

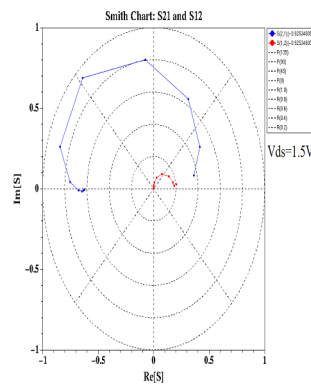


그림 4. RF 소신호 주파수 시뮬레이션 결과

Fig. 4. RF small-signal frequency simulation results

표 1. 실험 데이터와 시뮬레이션 비교 결과[3, 4]

Table 1. Comparison of simulations with measurements[3, 4]

In _{0.53} Ga _{0.47} As	Simulation	Measurement
I _{dss} @V _g =0.0, V _d =2.5V[mA]	59.75	59.64
g _{m,max} @V _d =1.0V [mS/mm]	362.95 @V _g =-0.78	382.75 @V _g =-0.8
f _T @ h ₂₁ _{20dB} [GHz]	98.48 @V _g =-0.7, V _d =1.5V	123 @V _g =-0.7, V _d =1.5V
f _{max} @MUG=1[GHz]	361.97 @V _g =-0.7, V _d =1.5V	433 @V _g =-0.7, V _d =1.5V
BV _{on} @V _{gs} =0[V]	≈2.5	≈3.0
BV _{off} @V _{gs} =-2[V]	≥5.0	≈4.5

표 2. RF 소신호 주파수 시뮬레이션 결과

Table 2. RF small-signal frequency simulation results

In _x Ga _{1-x} As Channel	x=0.20	x=0.53	x=0.65
I _{dss} @V _g =0.0, V _d =2.0V[mA]	28.89	58.24	66.47
g _{m,max} @V _d =1.5V [mS/mm]	233.89 @V _g =-0.34	377.67 @V _g =-0.73	409.45 @V _g =-0.775
f _{T,max} @ h ₂₁ _{20dB} [GHz]	57.50 @V _g =-0.52, V _d =1.5V	106.70 @V _g =-0.936, V _d =1.5V	120.69 @V _g =-0.946, V _d =1.5V
f _{max,max} @MUG=1 [GHz]	135.95 @V _g =-0.4, V _d =1.5V	362.0 @V _g =-0.70, V _d =1.5V	550.6 @V _g =-0.40, V _d =1.5V
BV _{on} @V _{gs} =0[V]	≥5.0	≈2.5	≈2.0
BV _{off} @V _{gs} =-2[V]	≥5.0	≥5.0	≥5.0

IV. 결론

밀리미터파 응용 시스템 설계를 위한 MHEMT 소자들의 DC 특성 및 RF 소신호 주파수 특성을 시뮬레이션하고 측정 데이터와 비교하여 분석하였다. DC 및 RF 특성인 I_{dss}, g_{m,max}, BV_{on}, BV_{off}, f_T 및 f_{max} 를 측정 데이터와 비교하여 잘 일치하는 결과를 얻었다.

InGaAs 채널층의 인듐 몰성분이 증가함에 따라 이동도의 향상으로 전류가 증가하고, g_m 특성이 개선됨을 확인하였다. 동일한 소자 구조에서 채널의 인듐 몰성분만이 증가함에 따라 게이트 커패시턴스 성분인 C_g 변화량이 작고, g_m의 증가가 f_T 및 f_{max}의 주파수 특성 개선으로 나타남을 확인하였다. 인듐 몰성분 증가에 따른 이동도 증가로 인해 전류가 증가하고 이는 애벌런치 항복 전류가 더 많이 생성되는 요인으로 항복 전압을 낮춤을 확인하였다. InGaAs 채널을 통해 항복 특성을 개선하기 위해서는 인듐 몰성분 x=0.2 채널층이 하나의 대안이 될 수 있음도 확인하였다. 향후 본 연구에서의 결과를 토대로 밀리미터파 통신 및 응용 시스템 구현을 위한 시스템 설계 및 구현에 대한 연구를 수행할 예정이다.

참고 문헌

- [1] 손명식, "GaAs 기반 In_{0.52}Al_{0.48}As/In_{0.53}Ga_{0.47}As 이중접합 구조를 갖는 MHEMT 소자의 DC 특성에 대한 calibration 연구," 반도체디스플레이기술학회지, 10권, 1호, pp.63-73, 2011년 3월
- [2] ISE-DESSIS manual, pp. 12-288, Ver. 9.5
- [3] Myung-Sik Son, Bok-Hyung Lee, Mi-Ra Kim, Sam-Dong Kim, and Jin-Koo Rhee, "Simulation of the DC and Millimeter-wave Characteristics of 0.1-um Offset Γ-shaped Gate In_xGa_{1-x}As/In_{0.52}Al_{0.48}As/GaAs MHEMTs with Various In_xGa_{1-x}As Channels", Journal of the Korean Physical Society, Vol. 44, No.2, pp.408-417, Feb. 2004.
- [4] 한민, 김삼동, 이진규, "0.1 μm 이하의 게이트 길이를 갖는 Metamorphic High Electron Mobility Transistor의 모델링 및 구조 최적화", 대한전자공학회, 전자공학회논문지-SD, 42권, 3호, pp.1-8, 2005년 3월.
- [5] C.S. Whelan, P.F. Marsh, W.E. Hoke, R.A. McTaggart, C.P. McCarroll, T.E. Kazior, "GaAs metamorphic HEMT (MHEMT): an attractive alternative to InP HEMTs for high performance low noise and power applications", Proceedings of 2000 International Conference on Indium Phosphide and Related Materials, pp.337-340, May 14-18, 2000.
- [6] T. Suemitsu, T. Ehoki, N. Sano, M. Tomizawa, Y. Ishii, "An Analysis of the Kink Phenomena in InAlAs/InGaAs HEMT's Using Two-Dimensional Device Simulation", IEEE Trans. Electron Devices, vol. 45, no. 12, pp.2390-2399, Dec. 1998.
- [7] Mark H. Somerville, Alexander Ernst, and Jesus A. del Alamo, "A Physical Model for the Kink Effect in InAlAs/InGaAs HEMT's", IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 47, no. 5, pp. 922-929, May 2000.
- [8] Yong-Hyun Baek, Jung-Hun Oh, Seok-Gyu Choi, Woo-Suk Sul, and Jin-Koo Rhee, "Comparison of the Characteristic of Metamorphic HEMTs with Different Passivation Materials", Journal of the Korean Physical Society, Vol. 54, No. 5, pp.1868-1872, May 2009.
- [9] Frank Schvierz and Juin J. Liou, Modern Microwave Transistors: Theory, Design, and Performance, Wiley-interscience publication, pp.4-60, 2003.



손 명 식 (Myung-Sik Son)

정 회원

1992년 : 중앙대학교 전자공학과 (공학사)

1995년 : 중앙대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

1999년 : 중앙대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

2001년 4월~2005년 1월: 동국대학교 밀리미터파연구센터 연구교수

2005년 2월~2009년 3월: 순천대학교 전자공학과 조교수

2009년 4월~현재: 순천대학교 전자공학과 부교수

※주관심분야: 반도체 공정/소자/회로 모델링 및 시뮬레이션 F집적회로 설계