

Modified Materka model를 이용한 GaN MODFET 대신호 모델링

(GaN MODFET Large Signal modeling using Modified Materka model)

李秀雄, 范鎮旭

(Lee Soo Woong, Burm Jin Wook)

서강대학교 전자공학과

Department of Electronic Engineering, Sogang University, Seoul 121-742

Tel,Fax)82-2-714-6205, E-mail)x-mas2@hanmail.net

요 약

Modified Materka-Kacprzak 대신호 MODFET(modulation-doped field-effect transistor) model을 사용하여 GaN(gallium nitride) MODFET 대신호 모델링을 수행하였다. Dambrine[3]이 제안한 방법에 따라 45MHz에서 40GHz의 주파수 범위에 걸쳐 S-parameter 및 DC특성을 측정하였으며, 측정결과를 토대로 cold FET 방법[4]에 의해 측정된 기생성분들을 de-embedding 함으로써 소신호 파라미터를 추출하였고, 추출된 소신호 파라미터는 함수를 사용하여 측정결과를 재현하는 맞춤함수 모델의 일종인 modified Materka 모델을 사용하여 모델링하였다. 수행된 대신호 모델링을 검증하기 위하여 모델링된 GaN MODFET의 DC 및 S-파라미터, 전력특성을 측정값과 각각 비교해 보았을 때 비교적 일치하고 있음을 보여서 GaN 대신호 모델링을 검증하였으며, modified Materka 모델이 GaN MODFET 대신호 모델링에 유용하게 사용될 수 있음을 보였다.

Abstract

GaN(gallium nitride) MODFET(modulation doped field effect transistor) large signal model was studied using Modified Materka-Kacprzak large signal MODFET model. using the Dambrine's method[3], at 45MHz-40GHz, measured S-parameter and DC characteristics. based on measuring results, small signal parameter extraction was conducted. by the cold FET[4] method, measured parasitic elements were de-embedding. Extracted small signal parameters were modeled using modified Materka model, a sort of fitting function reproduce measuring results. to confirm conducted large signal modeling, modeled GaN MODFET's DC, S-parameter and Power characteristics were compared to measured results, respectively. by results were represented comparatively agreement, this paper showed that modified Materka model was useful in the GaN MODFET large signal modeling.

I. 서론

GaN를 기반으로 하는 MOD FET은 고주파 고출력용 차세대 전력소자로써 지난 수년간 국내외적인 활발한 연구가 진행되어 왔다. 이러한 활발한 노력들은 GaN가 가진 탁월한 물질특성에 기인한다.

GaN가 가진 대표적인 장점으로서는 3.4eV의 큰 에너지 밴드갭(bandgap), 9.5의 낮은 유전율(dielectric constant), 3MV/cm의 높은 항복전계(breakdown field)를 들 수 있다.[1] 이러한 특성들을 갖는 GaN가 전력소자로써 매우 유용한 물질임을 증명하는 파라미터이다. 먼저 에너지 밴드갭이 크다는 것은 고온, 고출력 동작이 가능하다는 의미이며, 기존의 소자(GaAs, Si)에 비해 20%정도 작은 GaN의 낮은 유전율은 동일한 기생 임피던스를 갖는 경우에 20% 면적에 클 수 있다는 것을 의미한다. 면적이 크다는 것은 더 큰 RF 전류와 RF 전력이 가능하다는 의미이다. 또한 항복전계가 높다는 것은 고출력 소자로써 동작이 가능하다는 의미이고, GaN의 항복전계는 기존의 반도체 물질에 비해 10 배이상 큰 것으로 알려져 있다. 또한 lattice mismatch에 의해 AlGaN/GaN의 경계에서 발생하는 piezoelectric 전하에 의해 채널에 높은 sheet charge density($1.0 \times 10^{13}/\text{cm}^2$)를 갖게 되므로 고전류가 가능하다. 이처럼 GaN는 고주파, 고출력과 관련된 물질 파라미터에서 기존의 반도체 물질에 비해 월등한 우위에 놓여 있다.

GaN MODFET을 기반으로 한 소자 제작을 위해서는 소자 특성에 대한 모델링 작업이 필수적이다. 정확한 모델링을 위하여는 알맞은 모델을 선택하는 작업 또한 중요한데 본 논문에서 사용된 모델링 방법은 측정데이터를 바탕으로 소자의 특성을 재현하는 경험적 모델링을 사용하였으며, 대신호 모델에서 정확성이 꾸준히 검증되어온 modified Materka 대신호 모델을 사용하여 대신호 모델링을 수행하였다.[2,5] Modified Materka 대신호 모델이 갖는 장점으로는 포화영역과 선형영역, 핀치오프 부근의 전류특성이 비교적 정확한 것으로 알려져 있으며, 뿐만아니라 추출해야 하는 파라미터가 비교적 작고, 각 파라미터의 역할이 수학적으로 잘 분리되어 있으므로 모델사용의 편의성 또한 우수하다 하겠다.

본 논문에서는 먼저 on wafer probing 시스템을 통하여 소자의 DC 및 RF 특성을 측정하였고, 이 측정결과를 토대로 소신호 및 대신호 모델링을 수행하였다. 모델링 과정은 소신호 모델링 후 소신호 모델 파라미터에 근거한 대신호 모델링을 실시함으로써 소자특성의 일관성있는 추출을 가능하게 하였다. 추출된 대신호 모

델 파라미터는 다음의 세가지 방법으로 모델의 정확성을 검증하였다. 첫째 측정된 소자의 DC특성과 모델링된 소자의 DC특성을 비교하였고, 둘째, 측정된 소신호 특성과 모델에서 예측한 소신호 특성을 비교하였다. 마지막으로 대신호 모델파라미터를 사용하여 소자를 구성하고 초고주파 회로설계용 CAD인 ADS (advanced design system)를 사용하여 대신호 모델 파라미터를 사용하여 구성된 소자의 전력특성 시뮬레이션을 실제 측정데이터와 비교하여 추출된 대신호 모델의 정확성을 검증하였다.

II. 본론

1. Device structure

모델링에 사용된 소자는 Illinois 대학에서 제작된 게이트 길이 0.25 μm , 게이트 폭은 100 μm 인 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ MODFET이며, MOCVD(metalorganic chemical vapor deposition)를 사용한 MBE(molecular beam epitaxy)공정을 통해 제작되었다. 소자의 구조는 그림 1에 보여지는 바와 같다.

$\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ cap layer (100 Å)
n- $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ layer (200 Å, $\text{Si}:10^{18}/\text{cm}^3$)
$\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ spacer (50 Å)
GaN channel layer (2 μm)
AlN buffer layer
Sapphire substrate

그림 1. device structure

2. 측정 및 소신호 파라미터 추출

On wafer probing system을 사용하여 Dambrine이 제안한 방법[3]에 따라 S-파라미터 측정에 의한 직접 추출법을 사용하였으며, 게이트 바이어스 -5V에서 0V, 드레인 바이어스 0V에서 5V까지 각각 1V 간격으로 소자의 S-parameter를 측정하였다. 바이어스에 따른 소신호 파라미터의 값이 현실성을 갖도록 하기 위해 기생성분의 추출은 소신호 모델링에서 매우 중요한 과정이다. 소자의 bias에 따른 등가회로를 최대한 간단하게 하기 위하여 드레인 전압을 0V로 하는 cold FET 측정

Modified Materka model를 이용한 GaN MODFET 대신호 모델링

법[4]을 통하여 기생성분들을 추출하였다. 이 값들을 Y, Z 파라미터를 사용하여 de-embedding 한 후 소자의 intrinsic 성분을 얻어내었다. 주파수는 45MHz에서 40GHz까지 40MHz 간격으로 sweep하였으며, 소신호 등가회로와 추출된 7개의 소신호 파라미터가 그림 2와 표 1에 각각 나타난다.

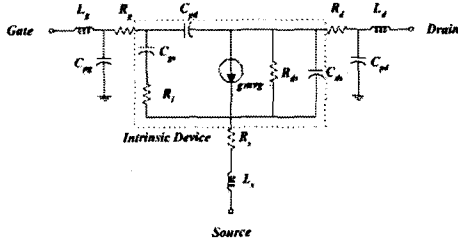


그림 2 소신호 등가회로

intrinsic	value
R_i	0.133 Ω /mm
C_{gs}	0.179 pF/mm
C_{gd}	0.146 pF/mm
G_{ds}	33.3 ms/pF
C_{ds}	0.01 pF/mm
G_m	51.8 ms/mm
tau	1.52 ps

표 1. 추출된 소신호 모델 파라미터

3. Modeling

측정 및 소신호 파라미터 추출을 통해 얻은 7개의 소신호 파라미터를 modified Materka model을 사용하여 대신호 모델링 하였다. 모델링 방법은 앞에서 언급되었듯이 DC특성, S-파라미터, 그리고 전력특성을 비교함으로써 이루어진다.

(1) DC Modeling

modified Materka 모델의 channel current(I_d)

표현식은 다음과 같이 크게 세부분으로 나누어 생각할 수 있다.

$$I_D = f(V_{GS}, V_{DS}) \times g(V_{GS}, V_{DS}) \times h(V_{GS}, V_{DS}) \quad (1)$$

위의 3가지 함수 각부분이 의미하는 것은 함수 $f(V_{GS}, V_{DS})$ 는 포화전류의 크기를 나타내는 함수이며, 함수 $g(V_{GS}, V_{DS})$ 는 출력전도도(output conductance)를 나타내는 함수이다. 또한 tanh형태를 포함하는 함수

$h(V_{GS}, V_{DS})$ 는 선형동작영역에서의 I-V 특성을 기술하기 위한 함수이다. Materka model의 최종적인 I-V 관계식은 식(2)와 같다.

$$I_d = I_{ds} \times \left(1 + SS \frac{V_{ds}}{I_{ds}} \right) \left(1 - \frac{V_{gs}(t-\tau)}{V_{po} + GAMAV_{dsi}} \right)^{E+KEV_{po}(t-\tau)} \times \tanh \left(\frac{SLV_{dsi}}{I_{ds}(1-KGV_{gsi})} \right) \quad (2)$$

정된 소자의 I-V특성과 모델링된 소자의 I-V특성이 그림 3에 나타난다.

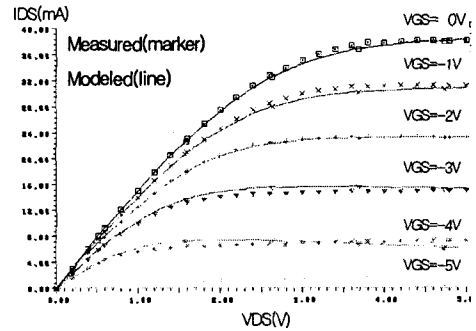


그림 3. measured and modeled DC characteristics

(2) S-Parameter Modeling

소신호 모델에서의 오차는 이를 근거로 모델링하는 대신호 모델에 절대적인 영향을 줄 수 있으므로 바이어스에 따라 S-파라미터의 측정 값과 모델값을 비교하는 것은 대신호 모델링에서 매우 중요한 과정이다. 45 MHz에서 40GHz까지 40MHz 간격으로 측정 되었으며, 측정과 모델링이 비교적 잘 일치하고 있는 것으로 나타나는데, 이는 소신호 모델파라미터가 정확하게 추출되었음을 의미한다. 아래에 $V_{GS}=-2V$, $V_{DS}=5V$ 에서의 S-파라미터 모델링 결과를 그림 4에 보였다.

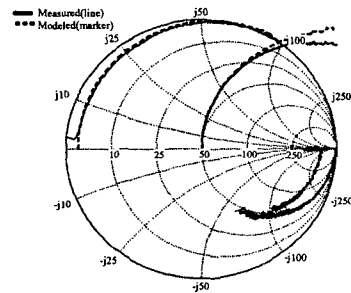
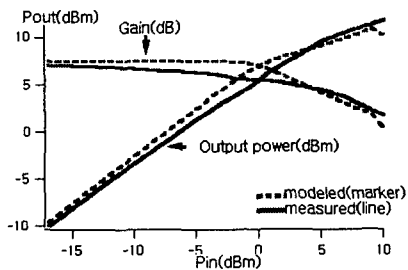


그림 4. measured and modeled S-parameters at 45MHz-40GHz

4. Power simulation

Modified Materka 대신호 모델을 통하여 추출된 파라미터를 사용한 소자의 전력특성을 알아보기 위하여 Microwave CAD Tool인 ADS(advanced design system)를 사용하여 소자에 대한 정합회로를 구성하고 시뮬레이션 하였다. 이같은 정합회로를 통한 소자의 전력특성을 시뮬레이션한 결과는 $V_{GS}=-2V$, $V_{DS}=5V$ 의 바이어스 조건에서 HB(Harmonic Balance)시뮬레이션을 통하여 7dB의 이득을 얻었다.



III. 결론

본 논문에서는 차세대 전력소자인 GaN MODFET을 기존의 modified Materka 대신호 모델을 사용하여 모델링 하였다. On wafer probing 시스템을 통하여 각 바이어스에서의 DC 및 S-파라미터를 측정하고 cold FET[2] 방법을 이용하여 측정한 데이터를 Y, Z 파라미터로 변환한 후 de-embedding하여 7개의 소신호 파라미터를 얻어내었다. 본 논문에서는 I-V, S-파라미터, 전력특성을 비교하는 3가지 과정을 통하여 대신호 모델링을 검증하였으며, 각각의 경우에 비교적 일치하는 특성을 보여서 modified Materka 모델을 사용한 대신호 모델링이 GaN MODFET의 모델링에 유용하게 사용될 수 있음을 증명하였다.

감사의 글

정보통신부에서 지원하는 대학기초연구지원사업 으 로 수행되었습니다.

참고문헌

1. L. F. Eastman, "High Power GaN-Based Transistors", pp.175-178, July. 1999

2. A. Materka and T. Kacprzak, "Computer calculation of large-signal GaAs FET amplifier characteristics", IEEE Transactions on Microwave Theory Tech., Vol.MTT-33, No.2, pp.129-135 Feb. 1985.

3. G. Dambrine, A Cappy, "A new method for determining the FET small signal equivalent circuits", IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol 36, No. 7, pp 1151-1159, July 1988

4. F. Diamant and M. Laviron, "Measurement of the extrinsic series elements of a microwave MESFET under zero current condition," in Proc. 12th European microwave Conference., 1982, pp. 451-456

5. H. K. Choi, "A study on the automated extraction of the modified Materka large signal model for GaAs FET devices", 석사학위 논문, 광운대학교, 1999