

논문 21-10-3

트렌치 구조의 소스와 드레인 구조를 갖는 AlGaIn/GaN HEMT의 DC 출력특성 전산모사

Simulated DC Characteristics of AlGaIn/GaN HEMTs with Trench Shaped Source/Drain Structures

정강민¹, 이영수^{1,2}, 김수진¹, 김동호¹, 김재무¹, 최홍구², 한철구², 김태근^{1,a}
(Kang Min Jung¹, Young Soo Lee^{1,2}, Su Jin Kim¹, Dong Ho Kim¹, Jae Moo Kim¹, Hong Goo Choi²,
Cheol Koo Hahn², and Tae Geun Kim^{1,a})

Abstract

We present simulation results on DC characteristics of AlGaIn/GaN HEMTs having trench shaped source/drain Ohmic electrodes. In order to reduce the contact resistance in the source and drain region of the conventional AlGaIn/GaN HEMTs and thereby to increase their DC output power, we applied narrow-shaped-trench electrode schemes whose size varies from 0.5 μm to 1 μm to the standard AlGaIn/GaN HEMT structure. As a result, we found that the drain current was increased by 13 % at the same gate bias condition and the transconductance (g_m) was improved by 11 % for the proposed AlGaIn/GaN HEMT, compared with those of the conventional AlGaIn/GaN HEMTs.

Key Words : GaN, HEMT, Contact resistance, Transconductance

1. 서론

넓은 주파수 영역, 개인통신 수요의 엄청난 증가로 인해 고도의 정보처리 기술의 필요성이 증가하고 있다. 그리고 이 필요성을 만족시키기 위하여 고속 정보처리의 목적을 구현 할 수 있는 신기능 소자의 개발이 활발하게 이루어지고 있다[1]. 갈륨 나이트라이드 (GaN)는 큰 에너지 갭(3.4~6.2 eV)으로, 높은 항복전압($\sim 10^6$ V·cm⁻¹)과 최대전류, 고온 안정성, 높은 전자 포화 속도($\sim 10^7$ cm·s⁻¹) 및 고효율 등의 특성을 갖고 있어 차세대 고효율·고온 분야의 반도체 소자로써 전 세계적으로 연구가 활발히 진행되고 있다[2,3]. 특히, AlGaIn/GaN 이종접합 구조는 두 물질 간의 큰 전도대의 불연

속성으로 인해 발생하는 이차원 전자가스(two-dimensional electron gas, 2DEG) 채널을 이용하여 높은 전자이동도, 높은 항복전압 및 우수한 고출력 특성을 얻는 것이 가능하다[4,5].

이런 GaN 기반의 고 전자 이동도 트랜지스터 (high electron mobility transistor, HEMT)의 전형적인 구조의 경우 소스와 드레인 영역을 recess 시킴으로써 채널이 형성되는 2-dimension과 전극과의 거리를 감소시키게 된다. 그에 따라서 전자가 2-dimension 영역으로 터널링 되는 확률을 증가시키게 되면서 DC 특성의 향상을 도모 할 수 있게 된다[6]. 그러나 전극 쪽에 접촉 저항이 존재하며 이 값에 의해서 전체적인 DC 특성이 저하된다[7].

따라서 본 논문에서는 소스와 드레인을 트렌치 구조화를 시킴으로써 전극 쪽에 접촉저항의 감소를 도모하였다. 그리고 소스와 드레인 영역이 recess 구조된 소자와 제안된 트렌치 구조로 이루어진 소자의 DC 전류-전압 (I-V) 특성과 전달컨덕턴스 (g_m)에 대한 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 비교 및 분석하였다

1. 고려대학교 전자전기공학부
(서울시 성북구 안암동 5가 1)
2. 전자부품연구원 나노바이오 의료기기 연구센터
a. Corresponding Author : tgkim1@korea.ac.kr
접수일자 : 2008. 7. 25
1차 심사 : 2008. 9. 19
심사완료 : 2008. 9. 23

2. 소자의 구조 및 시뮬레이션 모델

그림 1은 기존의 AlGaIn/GaN HEMT 구조와 소스/드레인 영역을 트랜치 구조로 나타낸 AlGaIn/GaN HEMT의 단면도이다. 두 개의 구조 모두 1.5 μm의 의도하지 않게 도핑된 (Unintentionally doped, UID) GaN 버퍼층과 25 nm의 도핑이 되지 않은 Al_{0.3}Ga_{0.7}N층으로 구성된다. 압전 분극과 자발 분극에 의해서 GaN과 Al_{0.3}Ga_{0.7}N층 경계에 유기되는 전하량은 1.3×10¹³ cm⁻²으로 하였다.

그림 (a)의 경우에는 게이트 길이는 0.5 μm이며, 소스와 드레인 전극 길이는 1 μm 이다. 소스 전극과 게이트 간 거리와 게이트와 소스 전극 간의 거리는 각각 1 μm와 2 μm이다. (b)에서는 게이트 길이는 역시 0.5 μm이고 소스 전극과 게이트 간의

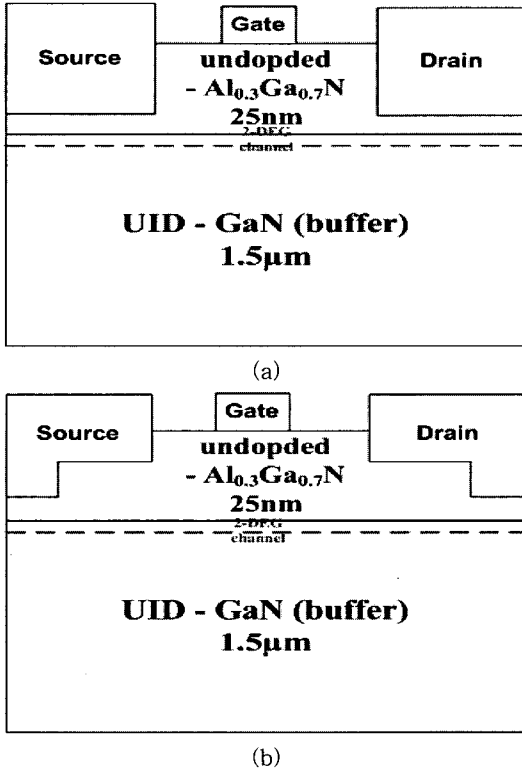


그림 1. (a) 기존의 AlGaIn/GaN HEMT 구조 및 (b) 트랜치된 소스/드레인의 AlGaIn/GaN HEMT 구조.

Fig. 1. (a) Schematic of conventional AlGaIn/GaN HEMT layer structure and (b) Schematic of trenched source/drain AlGaIn/GaN HEMT layer structure.

거리와 게이트와 소스 전극 간 거리는 각각 1 μm와 2 μm이다. 그리고 소스와 드레인 전극의 길이는 위에서부터 0.02 μm까지는 1 μm이고 0.02 μm부터 0.023 μm까지의 영역은 0.5 μm이다.

본 시뮬레이션은 Silvaco사의 ATLAS 프로그램을 이용하여 AlGaIn/GaN HEMT 소자의 구조에 따른 영향을 시뮬레이션 하였다.

AlGaIn/GaN HEMT의 DC 특성 시뮬레이션을 위해 전기장에 의한 전자와 정공의 이동도를 나타낸 fldmob 모델을 사용하였다.

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

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

여기서 V_{satn}과 V_{satp}는 전자와 정공의 포화 속도이며 BN과 BP는 mobility와 관련된 fitting 파라미터로 본 시뮬레이션에서는 AlGaIn과 GaN영역에서 각각 1과 2를 사용하였다. 그리고 μ_{n0}와 μ_{p0}는 전자와 정공의 low field mobility를 나타낸다[8].

표 1에서 나타난 시뮬레이션에 사용된 물질들의 파라미터는 논문과 silvaco 사의 atlas 메뉴얼을 참고하였다[8-12]. 그리고 이 값들은 Al_xGa_{1-x}에서 Al의 몰농도가 0.3일 때로 가정하였다.

표 1. 시뮬레이션에 이용된 파라미터 값.

Table 1. Simulation parameters.

Parameter	Al _{0.3} Ga _{0.7} N	GaN
밴드갭 에너지(E _g)	3.87 eV	3.42 eV
전자 친화도(χ)	4.26 eV	4.65 eV
유전율(ε)	9.34	9.7
전자 이동도(μ _n)	500 cm ² /Vs	1100 cm ² /Vs
전자 이동도(μ _p)	10 cm ² /Vs	30 cm ² /Vs
전자포화속도(v _{sat})	1.2x10 ⁷ cm/s	2x10 ⁷ cm/s

3. 결과 및 고찰

그림 2에서는 게이트 전압이 0 V일 때 두 개의 구조에서의 I_d-V_d값을 비교하고 있다. 동일한 게이트 전압과 드레인 전압이 가해졌을 때 제안된 구조가 기존 구조에 비해 더 큰 드레인 전류값을 나

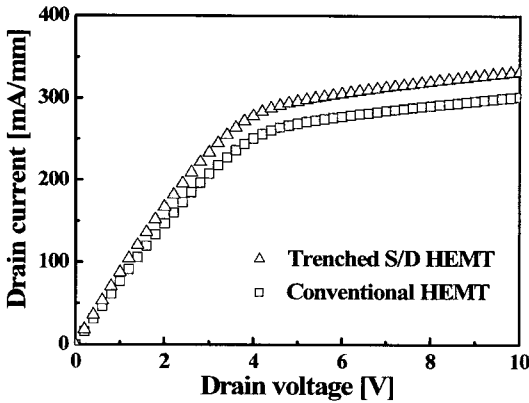


그림 2. 기존의 AlGaIn/GaN HEMT 구조와 Trench된 소스/드레인의 AlGaIn/GaN HEMT 구조에서의 I_d - V_d 특성 비교.
 Fig. 2. Comparison of the I_d - V_d characteristics of conventional AlGaIn/GaN HEMT and proposed AlGaIn/GaN HEMT.

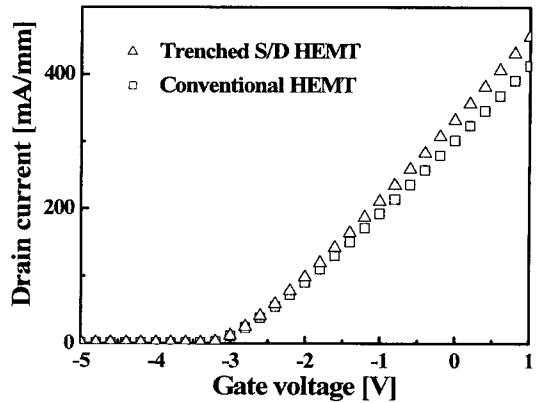


그림 3. 기존의 AlGaIn/GaN HEMT 구조와 Trench된 소스/드레인의 AlGaIn/GaN HEMT 구조에서의 I_d - V_g 특성.
 Fig. 3. Comparison of the I_d - V_g characteristics of conventional AlGaIn/GaN HEMT and proposed AlGaIn/GaN HEMT.

타낸다. 게이트 전압이 0 V, 드레인 전압이 10 V 일 때 제안된 구조에서 약 13 % 향상된 드레인 전류값을 갖는 것을 알 수 있다.

아래의 주어진 식과(1) I_d - V_d 커브를 통해서 제안된 구조에서의 drain conductance 값의 향상과 그에 따라서 on resistance의 감소가 이루어 졌음을 알 수 있다.

$$g_d = \frac{\partial I_d}{\partial V_d}, R_{on} = \frac{1}{g_d} \quad (1)$$

그림 3에서는 드레인에 10 V의 전압을 가했을 때 I_d - V_g 값을 비교하고 있다. 동일한 게이트 전압을 가해주었을 때 주어진 구조에서 약 10 % 더 큰 드레인 전류값을 얻을 수 있다. 따라서 게이트 전압의 증가에 따른 드레인 전류의 증가를 나타내는 transconductance 역시 증가됨을 알 수 있으며 이는 그림 4에서 확인할 수 있다. 그림 4에서는 두 개의 각각의 구조에서의 transconductance을 나타내고 있으며 제안된 구조에서 약 11 % 향상되었음을 알 수 있다. g_m 과 접촉저항 간 관계를 나타내는 식은 다음과 같다.(2,3)

$$\frac{1}{g_m [S/mm]} = \frac{1}{g_{m0} [S/mm]} + R_s [\Omega mm] \quad (2)$$

$$R_s [\Omega mm] = R_{sh} [\Omega/\square] \times (L_{gs} + L_t [\mu m]) \times 10^{-3} \quad (3)$$

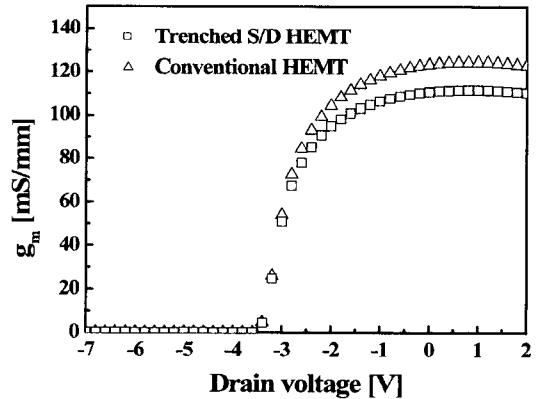


그림 4. 기존의 AlGaIn/GaN HEMT 구조와 Trench 소스/드레인의 AlGaIn/GaN HEMT 구조에서의 g_m 특성.
 Fig. 4. Comparison of the transfer characteristics of conventional AlGaIn/GaN HEMT and proposed AlGaIn/GaN HEMT.

주어진 식에서 R_s 는 소스의 저항을 의미하는 것으로 전극과 반도체 간 저항과 게이트와 소스 간 저항을 포함하게 된다. g_{m0} 는 R_s 의 영향을 제외한 intrinsic한 영역에서의 transconductance이다. 그리고 R_{sh} 는 기판의 면저항으로 L_{gs} 는 게이트 소스간의 거리이며 L_t 는 transmission 길이를 나타낸다.

위의 식에서 나타내는 바와 같이 전극과 반도체 간 접촉 저항의 감소는 R_S 의 감소를 의미하며 이를 통하여 g_m 을 증가시킬 수 있게 된다[13].

4. 결론

본 논문에서는 소스와 드레인 영역을 일반적인 recess 구조가 아닌 트랜치 형태로 된 HEMT 구조를 제안하였으며 2차원 시뮬레이션을 통해서 DC특성의 변화를 비교 및 분석하였다. 동일한 게이트 전압과 드레인 전압을 주었을 때 기존의 구조에 비해 제안된 구조에서 소스와 드레인 부분의 접촉 면적의 감소로 인해 접촉 저항이 감소하게 된다. 따라서 동일한 드레인 전압과 게이트 전압을 가했을 때 제안된 구조에서 약 13 % 향상된 드레인 전류값을 나타내었다. 이는 drain conductance 값의 향상과 on resistance의 감소를 의미한다. 또한 transconductance 값도 제안된 구조에서 약 11 % 증가함을 관찰할 수 있었다.

감사의 글

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].

참고 문헌

- [1] U. K. Mishra, P. Parikh, and Y.-F. Wu, "AlGaIn/GaN HEMTs - an overview of device operation and applications," in Proceedings of IEEE, Vol. 90, No. 6, p. 1022, 2002.
- [2] Zhang N. Q., Keller S., Parish G., Heikman S., Denbaars S. P., and Mishra U. K., "High breakdown GaN HEMT with overlapping gate structure", IEEE Electron. Device. Lett., Vol. 21, No. 9, p. 421, 2000.
- [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., Vol. 25, No. 3, p. 117, 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, Vol. 33, No. 5, p. 440, 2004.
- [5] A. F. M. Answer and Elias W. Faraclas, "AlGaIn/GaN HEMTs: Experiment and simulation of DC characteristics", Solid-State Electronics, Vol. 50, p. 1051, 2006.
- [6] S. Hoshi, H. Okita, Y. Morino, and M. Itoh, "Gallium nitride high electron mobility transistor technology for high gain and highly efficient power amplifiers", Oki Technical Review, Issue 211, Vol. 74, No. 3, 2007.
- [7] Cai S. J., Li R., Chen Y. L., Wong L., Wu W. G., Thomas S. G., and Wang K. L., "High performance AlGaIn/GaN HEMT with improved ohmic contacts", IEEE Electronics Letters, Vol. 34, No. 23, p. 2354, 1998.
- [8] SILVACO International, "Atlas User's Manual", p. 664, 2007.
- [9] E. T. Yu and M. O. Manasreh, "III-V Nitride Semiconductors: Applications & Devices", Taylor&Francis, p. 194, 2003
- [10] V. Palankovski and R. Quay, "Analysis and Simulation of Heterostructure Devices", Springer Wein NewYork, p. 150, 2004.
- [11] R. Gaska, Q. Chen, J. Yang, A. Osinsky, M. Asif Khan, and M. S. Shur, "High-temperature performance of AlGaIn/GaN HEMT's on SiC substrates", IEEE Electron Device Letters, Vol. 18, No. 10, p. 492, 1997.
- [12] Q. Z. Liu, L. S. Yu, F. Deng, S. S. Lau, Q. Chen, J. W. Yang, and M. A. Khan, "Study of contact formation in AlGaIn/GaN heterostructures", Appl. Phys. Lett., Vol. 71, No. 12, p. 1658, 1997.
- [13] Y. Hirose, A. Honshio, T. Kawashima, M. Iwaya, and S. Kamiyama, "Influence of ohmic contact resistance on transconductance in AlGaIn/GaN HEMT", IEICE Trans. Electron. Lett., Vol. 89, No. 7 p. 1064, 2006.