

Simulation and analysis of DC characteristics in AlGaIn/GaN HEMTs on sapphire, SiC and Si substrates

Sapphire, SiC, Si 기판에 따른 AlGaIn/GaN HEMT의 DC 전기적 특성의 시뮬레이션과 분석

Su Jin Kim*, Dong Ho Kim*, Jae Moo Kim*, Hong Goo Choi**, Cheol-Koo Hahn**, and Tae Geun Kim**

김수진*, 김동호*, 김재무*, 최홍구**, 한철구**, 김태근**

Abstract

In this paper, we report on the 2D (two-dimensional) simulation result of the DC (direct current) electrical and thermal characteristics of AlGaIn/GaN HEMTs (high electron mobility transistors) grown on Si substrate, in comparison with those grown on sapphire and SiC (silicon carbide) substrate, respectively. In general, the electrical properties of HEMT are affected by electron mobility and thermal conductivity, which depend on substrate material. For this reason, the substrates of GaN-based HEMT have been widely studied today. The simulation results are compared and studied by applying general Drift-Diffusion and thermal model altering temperature as 300, 400 and 500 K, respectively. With setting $T=300$ K and $V_{GS}=1$ V, the $I_{D,max}$ (drain saturation current) were 189 mA/mm for sapphire, 293 mA/mm for SiC, and 258 mA/mm for Si, respectively. In addition, $G_{m,max}$ (maximum transfer conductance) of sapphire, SiC, Si was 38, 50, 31 mS/mm, respectively, at $T=500$ K.

요약

본 논문에서는 최근 고출력 및 고온 분야의 반도체 분야에 널리 이용되고 있는 AlGaIn/GaN 고 전자 이동도 트랜지스터 (High Electron Mobility Transistor, HEMT) 에 대해 DC (direct current) 특성과 열 특성을 기판을 달리하며 시뮬레이션을 수행하였다. 일반적으로 HEMT 소자의 전자 이동도 및 열전도 특성은 기판의 영향이 그 특성을 크게 좌우한다. 이러한 문제점으로 인해 GaN 기반의 HEMT 소자의 기판에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 따라서, 일반적인 Drift-Diffusion 모델과 열 모델을 이용하여 Si, sapphire, SiC (silicon carbide)으로 각각 기판을 변화시키며 시뮬레이션을 하였다. 열 모델 시뮬레이션은 온도를 각각 300, 400, 500K로 변화시키며 그 결과를 비교, 해석 하였다. 전류-전압 ($I-V$) 특성을 $T=300$ K, $V_{GS}=1$ V의 조건에서 시뮬레이션 한 결과, 드레인 포화전류 ($I_{D,max}$)의 값과 sapphire 기판은 189 mA/mm, SiC 기판은 293 mA/mm, Si 기판은 258 mA/mm 를 나타내었다. 또한 $T=500$ K에서 최대 전달컨덕턴스($G_{m,max}$)는 각각 38, 50, 31 mS/mm 를 나타내었다.

Key words : high-electron-mobility transistor (HEMT), Sapphire, SiC, Si, substrate

* 고려대학교 전자전기공학과 (Department of Electronics & Electrical Engineering Korea University)

** Electronic Materials&DevicesPackingResearch Center, Korea Electronics Technology Institute (KETI), Korea

★ 교신저자 (Corresponding author) : 김태근

※ 감사의 글 (Acknowledgment) : 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음. [2007-F-044-01, '4G 기지국용 전력증폭기 기술개발 사업']

接受日: 2007年 11月 5日, 修正完了日: 2007年 12月 28日

1. 서론

현재 전 세계적으로 전자산업과 정보통신기술의 급격한 발달로 인하여 군사 또는 상업 목적의 무선통신이 개인통신에 이르기까지 그 수요가 점점 확대되고 있다. 이러한 초고주파 영역에서 동작하는 초고속 정보통신 시스템에 필요한 초고속·고 전력 전자소자의 지속적인 개발이 요구되고 있다. 갈륨 나이트라이드(GaN)계 반도체 전자소자는 높은 항복전압과 최대전류, 고온 안정성, 높은 전자 포화 속도, 고효율 등의 특성을 갖고 있어 차세대 고출력·고온 분야의 반도체 소자로서 전세계적으로 연구가 활발히 진행되고 있고 그 중요성이 확대될 전망이다 [1]. 특히, AlGaIn/GaN 이종접합 구조 (hetero structure) 는 두 물질간의 큰 전도밴드 (conduction band)의 불연속성 (discontinuity)으로 인하여 약 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 의 고농도의 이차원전자가스 (two-dimensional electron gas) 농도를 형성하고 AlGaIn와 GaN의 격자상수 차이로 인하여 강한 압전분극 (piezoelectric)의 영향으로 이종접합 계면에서 높은 전자 전송을 가능케 한다 [2-5].

하지만, wide band-gap 물질인 GaN 기반의 고 전자 이동도 트랜지스터 (high electron mobility transistor, HEMT)의 경우 소자응용에 가장 어려운 점은 GaN 물질의 높은 dislocation 밀도 (약 $10^8 \sim 10^9 \text{ cm}^{-2}$) 때문에 homoepitaxial growth을 위한 적합한 기판이 없다는 단점이 있다 [6]. 현재 이러한 기판 문제를 해결하기 위해 sapphire, SiC, AlN 등의 기판 또는 template으로 많은 연구가 진행되어 왔으며, 최근에는 비용의 문제로 인하여 Si 을 기판으로 사용하는 시도가 보이고 있다 [6-8]. 주로 고 전력효율·고 온 동작에 유리한 특성을 갖는 GaN 기반의 HEMT 소자에서 가장 우선적으로 고려할 점은 소자의 열 특성이다. Sapphire의 경우 가장 널리 이용되지만, 열 전도도 (thermal conductivity)가 SiC에 비하여 불량하기 때문에 소자의 열 문제로 인해 고전력 소자로서의 한계점을 가진다. 또한, SiC 기판 역시 높은 비용과 dislocation의 발생으로 한계점을 가지고 있다 [9-10]. 그러므로, 이러한 기판들은 GaN와의 큰 격자 불일치 (lattice mismatch), 열 팽창 계수의 차이 (thermal expansion coefficient), 높은 비용 등으로 인하여 실제로 상업적인 목적으로의 이용에는 한계점이 노출되고 있다.

본 연구에서는 최근 주목 받고 있는 Si 과 sapphire 및 SiC 기판을 이용한 AlGaIn/GaN HEMT 소자의 DC 전류-전압 (I-V) 특성과 전달컨덕턴스 (G_m)를 Silvaco사의 2차원 시뮬레이터인 atlas를 이용해 시뮬

레이션을 수행하였다. 또한, 열 모델을 적용하여 온도를 각각 300, 400, 500 K로 변화시키면서 기판의 열 전도도가 HEMT 소자 특성에 미치는 영향을 전기적 특성을 통하여 비교·분석하였다.

본 논문은 제안된 소자의 구조에 관한 설명(1절), 시뮬레이션 모델에 관한 설명(2절), 시뮬레이션 결과에 대한 설명(3절) 그리고 결론의 순서로 구성되었다.

II. 본론

1. 제안된 소자의 구조

그림 1은 본 시뮬레이션에서 제안된 기판을 포함하는 AlGaIn /GaN HEMT의 단면도이다. 일반적인 HEMT 소자 시뮬레이션에서는 시뮬레이션 속도의 증가를 위해 기판을 생략하여 시뮬레이션을 수행한다. 하지만, 본 논문에서는 기판의 영향을 보고자 함으로 동일한 AlGaIn/GaN HEMT 소자를 각각 sapphire, SiC, Si 기판을 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다. 20 μm 의 기판 위에 1 μm 의 비의도적 도핑된 (Unintentionally doped, UID) GaN 버퍼 층과 10 nm의 비의도적 도핑된 GaN 채널 층으로 구성된다. 그리고 25 nm의 도핑되지 않은 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ 층과 passivation을 위한 1 μm 의 Si_3N_4 층이 순서대로 GaN 버퍼 층 위에 존재한다. 또한 제안된 소자의 오믹 (Ohmic) 콘택을 위하여 GaN 채널 부와 드레인과 소스 전극이 맞닿아 있는 구조를 사용하였다. 게이트 길이 (L_G)는 1.5 μm 이며, 소스와 드레인 전극의 길이는 1 μm 이다. 소스 전극과 게이트 간의 거리(L_{SG})와 게이트와 소스 전극 간의 거리(L_{GD})는 각각 2.5 μm 와 4 μm 이다.

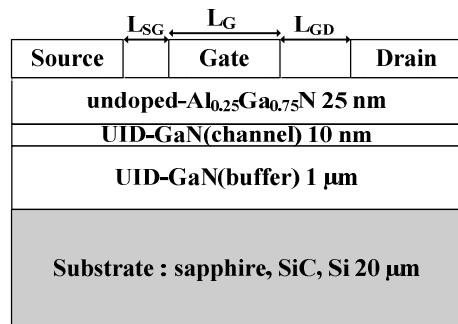


Fig. 1. Schematic of AlGaIn/GaN HEMT layer structure
그림 1. 제안된 AlGaIn/GaN HEMT소자의 단면도

2. 시뮬레이션 모델 및 가정

본 시뮬레이션은 Silvaco사의 atlas 프로그램을 이용하여 AlGaIn/GaN HEMT 소자와 기판에 따른 영향을 시뮬레이션 하였다 [11]. 시뮬레이션 시에 사용한 mobility 모델, 물질 파라미터 등을 가정하고 시뮬레이션을 수행하였다.

AlGaIn/GaN HEMT의 DC 특성 시뮬레이션을 위해 일반적으로 사용되는 전계와 온도에 따른 drift-diffusion mobility 모델을 사용하였다. Drift-diffusion 모델을 이용한 시뮬레이션에서는 온도 (T) = 300 K로 고정하였다. 본 시뮬레이션에 사용된 mobility 모델은 다음과 같다 [11].

$$\mu(E) = \mu_0 \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{\mu_0 E}{\nu_{sat}} \right)^\beta} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (1)$$

수식 (1)에서 μ_0 는 low-field mobility, E 는 전계를 나타낸다. 이 Mobility 모델은 채널 내에서 캐리어가 저 전계에서 고전계의 영향을 받을 때 유연하게 전환해 계산을 해준다. $\beta = \beta_0 (T/300)^\beta$ 이고, β 는 fitting 파라미터로 본 시뮬레이션에서는 AlGaIn과 GaN영역에서 각각 1과 2를 사용하였다. 또한 온도를 고려할 수 있는 파라미터 T를 사용하여 온도 상승에 따른 열 모델의 적용에 있어 알맞은 모델이다.

표 1은 시뮬레이션에 사용된 물질들의 밴드갭 에너지 (E_g), 전자 친화도 (χ), 유전율 (ϵ), 전자 이동도 (μ), 전자포화속도 (ν_{sat}) 등을 보여주고 있으며, AlN과 GaN의 물질 파라미터들은 다른 논문과 silvaco 사의 atlas 메뉴얼을 참고하였다[11-15]. 또한 Al_xGa_{1-x} 의 물질 파라미터들은 aluminium의 조성비 (x)에 따라서 계산된다.

Table 1. Parameters of AlGaIn/GaN HEMT for the simulation

표 1. 시뮬레이션에 이용된 파라미터 값

Parameter	$Al_{0.25}Ga_{0.75}N$	GaN
밴드갭 에너지 (E_g)	3.87 eV	3.42 eV
전자 친화도 (χ)	4 eV	4.31 eV
유전율 (ϵ)	8.8	8.9
전자 이동도 (μ)	$550 \text{ cm}^2/\text{Vs}$	$1000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$
전자포화속도 (ν_{sat})	$1.2 \times 10^7 \text{ cm/s}$	$2 \times 10^7 \text{ cm/s}$

본 논문에서 소스와 드레인 전극은 완벽한 오믹으로 가정하였고, 게이트 전극의 쇼트키 장벽 (Φ_B)은 수

식 (2)를 이용하여 1.5 V로 계산되었다[16].]

$$\phi_B = 0.95 + 2.15x_{Al} \quad (2)$$

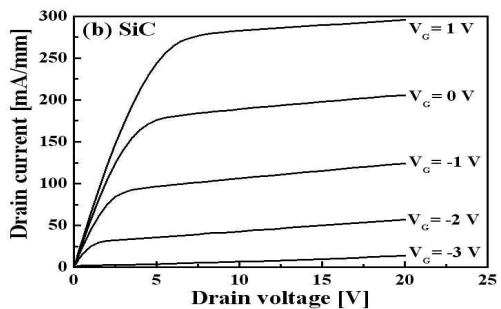
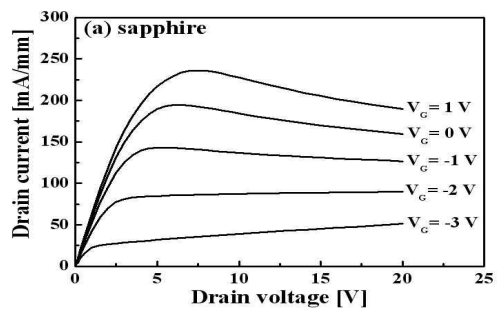
AlGaIn/GaN의 이중접합 구조에서는 전도밴드의 큰 불연속성으로 인하여 전자나 캐리어가 AlGaIn/GaN 계면 사이에 갇히게 되고, 이중 접합 계면의 GaN 쪽에 이차원 전자가스를 유도하여 채널을 형성하게 된다. 따라서 piezoelectric porization과 spontanepus polarization을 고려하여 면 전자 농도 (sheet charge density, n_s)를 약 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ 을 사용하였다[11-16].

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

열 모델 적용 시에 사용한 열전도도 (thermal conductivity)는 AlGaIn과 GaN이 동일하게 $1.6 \text{ Wcm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 이고, sapphire, SiC, Si는 각각 0.35, 4.9, $1.48 \text{ Wcm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 을 사용 하였다[18]. 온도에 따른 열전도도를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\kappa(T_L) = \kappa_{300} \left(\frac{T_L}{300} \right)^\alpha \quad (3)$$

수식 (3)에서 κ_{300} 은 온도 (T)= 300 K에서의 열전도도를 나타내고, T_L 은 lattice 온도를 나타낸다.



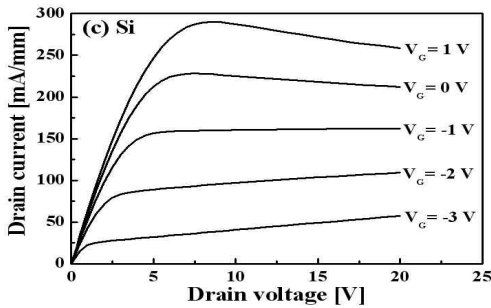


Fig. 2. I_D - V_D characteristics of AlGaIn/GaN HEMTs on sapphire (a), Si (b) and SiC (c) substrates at $T=300K$

그림 2. Sapphire (a), Si (b), SiC (c) 기판을 갖는 AlGaIn/GaN HEMT의 게이트 전압에 따른 드레인 전압 - 드레인 전류 특성

그림 2(a), 2(b), 2(c)는 각각 sapphire, SiC, Si기판의 경우에 열 모델을 사용하여 $T=300K$ 에서 드레인 전압을 20 V까지 증가시키면서 시뮬레이션 한 I_D - V_D 특성이다. 열 모델을 사용하였을 경우 SiC기판을 제외하고, sapphire와 Si기판에서는 드레인 전압이 높아짐에 따라 $V_D=7V$ 지점부터 드레인 전류가 급격히 감소하는 경향을 볼 수 있다. Sapphire와 Si의 열전도도는 SiC보다 상대적으로 작기 때문에 격자에서 발생하는 열의 방출이 원활하지 않고, 드레인 전압이 증가함에 따라 HEMT 소자의 격자 온도가 상승하게 되며, 격자 온도가 증가함에 따라 채널 내의 전자들의 이동도가 감소하게 되어 드레인 전류가 peak지점 이후로 감소하게 된다[19]. 드레인 전압이 증가함에 따라 전계가 증가하게 되고, 증가된 전계는 전자들의 scattering을 발생시킨다. 따라서 채널 내의 scattering에 의해 격자 온도가 상승하게 되고 드레인 전류가 감소하게 된다. 반면에, 열전도도가 큰 SiC기판은 sapphire와 Si기판 보다 격자에서 발생하는 열의 방출을 용이하게 하여 드레인 전류가 감소하는 현상이 발생하지 않는다. 게이트 전압이 -3 V에서 1 V로 증가함에 따라 sapphire와 Si 기판의 HEMT의 드레인 전류의 감소율은 증가하게 된다. 이에 비해 SiC기판의 HEMT소자는 드레인 전류가 거의 감소하지 않을 수 있다.

그림 3(a), 3(b), 3(c)는 sapphire, SiC, Si기판의 종류에 따라 열 모델을 적용해 온도를 300, 400, 500K로 변화시키며 $V_G=1V$ 에서 시뮬레이션한 DC 전류-전압 특성이다. 온도가 증가하면 기판의 종류에 상관없이 전체적인 드레인 전류는 감소한다. $T=300K$ 에

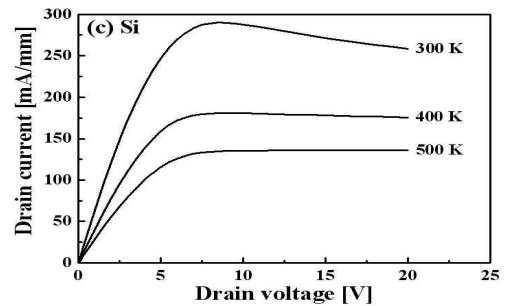
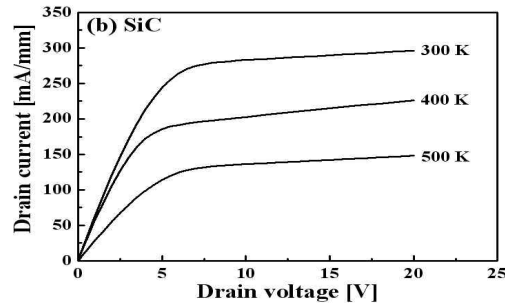
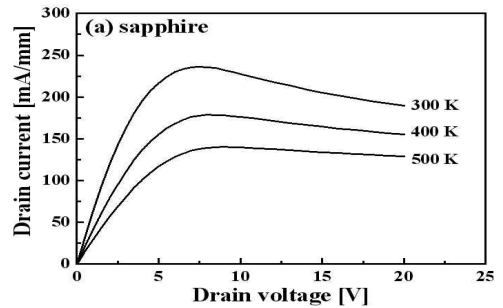


Fig. 3. I_D - V_D characteristics as a function of a temperature; sapphire (a), Si (b) and SiC (c) substrates

그림 3. Sapphire (a), Si (b), SiC (c) 기판을 갖는 AlGaIn/GaN HEMT의 온도에 따른 드레인 전압 - 드레인 전류 특성

서 sapphire기판의 경우, $V_D=8V$ 에서의 최고 I_D 값은 236 mA/mm이며, $V_D=20V$ 에서의 I_D 값은 189 mA/mm로 약 19% 감소한다. 이에 반해서, SiC기판의 경우는 드레인 전류가 약 7% 증가하는 경향을 보였고, Si기판의 경우는 드레인 전류 감소량은 9%이다. Sapphire는 SiC와 Si에 비하여 상대적으로 작은 열전도도로 인해서 열의 흐름이 원활하게 흐르지 못해 thermal impedance의 증가로 인해 드레인 전류의 감소를 가져온다. 결과적으로, SiC는 큰 열전도도를 가지고 있어 HEMT 소자 내의 채널로부터 열을

분산시키는 능력이 더 뛰어나다. 또한, self heating에 의한 hot electron의 주입과 GaN 버퍼층에서의 trap 현상에 의한 전류붕괴 (current collapse) 현상이 발생하지 않는다 [20].

그림 4는 sapphire, SiC, Si 기판의 종류에 따라 열 모델을 적용해 온도를 $T=500\text{ K}$ 로 고정시키며 시뮬레이션을 수행한 I_D-V_D 특성 값이다. 드레인 전류가 8 V이하의 작은 값을 가질 때에는 격자 온도가 크게 증가하지 않아 기판의 종류에 관계없이 비슷한 드레인 전류 값을 가진다. 여기서 SiC기판의 경우 sapphire와 Si기판에 비해 더 큰 값의 열 전도도를 가짐으로 인해서 $V_D=20\text{ V}$ 부근에서 드레인 전류의 감소량이 sapphire와 Si에 비해서 적음을 보인다. SiC는 Sapphire와 Si와 비교해 각각 30, 17 %의 증가를 보였다.

그림 5는 sapphire, SiC, Si 기판의 종류에 따라 열 모델을 적용해 온도를 500 K로 고정하고 $V_D=10\text{ V}$ 에서 전달 컨덕턴스와 I_D-V_G 특성을 시뮬레이션 한 결과이다. Si, sapphire, SiC의 최대 전달컨덕턴스 ($G_{m,max}$)는 각각 38, 50, 31 mS/mm 이다. SiC의 전달 컨덕턴스는 Sapphire와 Si와 비교해 각각 17, 30 % 증가하였다. 따라서, 열 전도도가 큰 SiC기판이 다른 두 기판과 비교했을 때, 채널 부근의 동작영역에서 발생하는 열이 기판 쪽으로 확산되는 특성이 좋게 나타난다고 할 수 있다. 온도 분포는 드레인 쪽의 게이트 끝에 집중되어 최고 온도를 갖는다. 이 온도 분포는 기판 쪽으로 갈수록 감소하게 되는데 sapphire와 Si에 비하여 상대적으로 큰 열 전도도를 갖는 SiC가 열의 방출이 원활하여 기판 쪽으로 갈수록 열분포의 집중이 감소하여 드레인 전류가 감소하지 않는다.

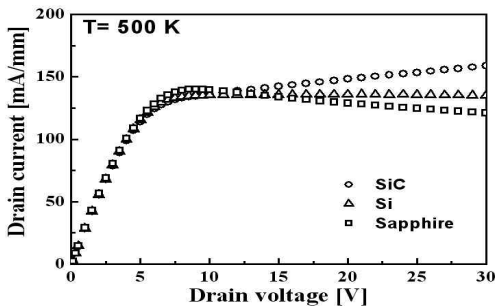


Fig. 4. I_D-V_D characteristics of AlGaIn/GaN HEMTs on sapphire (circle), Si (triangle) and SiC (square) substrates at $T=500\text{ K}$.

그림 4. 기판의 변화에 따른 500 K에서의 드레인 전압-드레인 전류 특성

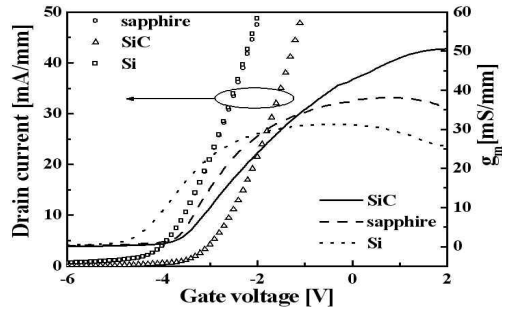


Fig. 5. I_D-V_G and transfer characteristics for sapphire, SiC and Si substrates at $T=500\text{ K}$

그림 5. 기판의 변화에 따른 500 K에서의 드레인 전압 대 드레인 전류 특성과 전달 특성 곡선

III 결론

본 논문에서는 sapphire, SiC, Si 기판을 고려한 AlGaIn/GaN HEMT 소자의 2차원 시뮬레이션을 통해 DC 전류-전압 특성과 전달 컨덕턴스 (G_m)를 비교·분석 하였다. 또한, 열 모델과 일반적인 drift-diffusion mobility 모델을 적용한 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 열 모델의 경우 $V_G=1\text{ V}$, $T=300\text{ K}$ 에서의 드레인 전류는 sapphire, Si 기판에서 각각 19, 9 %의 감소를 보였고, SiC 기판에서는 7 %의 점차적인 증가가 관찰되었다. 또한, 온도 300 K와 비교하여 400, 500 K로 증가함에 따라 SiC기판의 drain 전류의 감소율은 다른 두 기판보다 적으며, 최고전달 컨덕턴스도 sapphire보다 큰 값을 가지며, 열 분배 능력이 더 뛰어나다. 따라서 sapphire, SiC, Si중에 AlGaIn/GaN HEMT에 SiC기판을 사용하는 것이 드레인 전류밀도와 전달 컨덕턴스의 증가에 도움을 줄 수 있다.

참고문헌

[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, pp. 1022-1031, 2002

[2] Egawa T, Ishikawa H, Umeno M, and Jimbo T, "Recessed gate AlGaIn/GaN modulation-doped field-effect transistors on sapphire," Appl Phys Lett, Vol. 76, pp. 121-123, 2000

[3] Ohno Y, Kuzuhara M, "Application of GaN-based heterojunction FETs for advanced wireless communication," IEEE Trans Electron Dev, Vol. 48,

pp. 517-523, 2001

[4] Keller S, Yi-Feng Wu, Parish G., Naiqian Ziang, Xu J. J, Keller B. P, DenBaars, S. P, Mishra U. K., "Gallium nitride based high power heterojunction field effect transistors: process development and present status at UCSB," IEEE Trans Electron Dev, Vol. 48, pp. 552-559, 2001

[5] M. S. Shur, "GaN based transistors for high power applications," Solid-State Electronics, Vol. 42, pp. 2131-2138, 1998

[6] J. M. Redwing, M. A. Tischler, J. S. Flynn, S. Elhamri, M. Ahoujja, R. S. Newrock, and W. C. Mitchel, "Two-dimensional electron gas properties of AlGaIn/GaN heterostructures grown on 6H-SiC and sapphire substrates," Appl Phys Lett, Vol. 69, pp. 963-965, 1996

[7] S. Arulkumaran, T. Egawa, and H. Ishikawa, "Studies of AlGaIn/GaN high-electron-mobility transistors on 4-in. diameter Si and sapphire substrates," Solid-State Electronics, Vol. 49, pp. 1632-1638, 2005

[8] P. Javorka, A. Alam, M. Wolter, A. Fox, M. Marso, M. Heuken, H. Lüth, and P. Kordoš, "AlGaIn/GaN HEMTs on (111) Silicon Substrates," IEEE Electron Device Letters, Vol. 23, pp. 4-6, 2002

[9] B. J. Thibeault, B. P. Keller, P. Fini, U. K. Mishra, C. Nguyen, N. X. Nguyen, and M. Le, "High performance and large area flip-chip bonded AlGaIn-GaN MODFETs," in IEDM Tech. Dig., pp.569-572, 1997

[10] V. M. Asnin, F. H. Pollak, J. Ramer, M. Schurman, and I. Ferguson, "High spatial resolution thermal conductivity of lateral epitaxial overgrown GaN-sapphire (0001) using a scanning thermal microscope," Appl. Phys. Lett., Vol. 75, pp. 1240-1242, 1999

[11] Device simulation software Atlas, Atlas User's Manual, Silvaco international (2007)

[12] E. T. Yu and M.O. Manasreh, *III-V Nitride Semiconductors: Applications & Devices* (Taylor & Francis, New York, 2003)

[13] A. F. M. Answer and Elias W. Faraclas, "AlGaIn/GaN HEMTs: Experiment and simulation of DC characteristics," Solid-State Electronics, Vol. 50, pp. 1051-1056, 1998

[14] Vassil Palankovski and Rudiger Quay, *Analysis and Simulation of Heterostructure Devices* (Springer,

Wein New York, 2004)

[15] 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, 1997

[16] A. F. M. Anwar, Elias W. Faraclas, "Schottky barrier height in GaN/AlGaIn heterostructures," Solid-State Electronics, Vol. 50, pp. 1041-1045, 2006

[17] R. Gaska, A. Osinsky, J. W. Yang, and M. S. Shur, "Self-Heating in High-Power AlGaIn-GaN HFET's," IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS, Vol. 19, pp. 89-91, 1998

[18] A. S. Royet, T. Ouisse, B. Cabon, O. Noblanc, C. Arnodo, C. Brylinski, "Self-heating effects in silicon carbide MESFETs," IEEE Trans. Electron Dev., Vol. 47, pp. 2221-2227, 2000

[19] J. D. Albrecht, R. P. Wang, P. P. Ruden, M. Farahmand, and K. F. Brennan, "Electron transport characteristics of GaN for high temperature device modeling," J. Appl. Phys., Vol. 83, pp. 4777-4781, 1998

[20] R. Gaska, A. Osinsky, J. W. Yang, and M. S. Shur, "Self-heating in high-power AlGaIn-GaN HFETs," IEEE Electron Device Letters, Vol. 19, No.3, pp. 89-91, 1998

저 자 소 개

김 수 진 (정회원)



2007년 : 건국대학교 전자공과
졸업 (공학사)

2007년 3월~현재 : 고려대학교
대학원전자전기공학과(석사과정)

<주관심분야>

질화물 전자소자

김 동 호

2004년 : 광운대학교
전자재료공학과 졸업 (공학사)
2006년 : 광운대학교 대학원
전자재료공학과 졸업 (공학석사)
2006년 3월~현재 : 고려대학교
대학원 전자전기공학과
(박사과정)
<주관심분야> 질화물 전자소자

김 재 무

2007년 : 고려대학교 전자공학과
졸업 (공학사)
2007년 3월~현재 : 고려대학교
대학원 전자전기공학과
(석사과정)
<주관심분야>
질화물 전자소자

최 홍 구

현재 한국전자부품연구원 전자소재패키징연구센터
선임연구원

한 철 구

현재 한국전자부품연구원 전자소재패키징연구센터
책임연구원

김 태 근

1997년 : 고려대학교 전자공학과
졸업 (공학 박사)
1997. 3 - 1998. 5 : ECE
Dept., University of California,
San Diego, USA, Research
Fellow
1998. 6 - 2001. 2 :

Electrotechnical Laboratory (ETL), Japan, NEDO
Fellow

2001. 3 - 2002. 2 : 삼성종합기술원 포토닉스 랩
전문연구원

2002. 3 - 2004. 5 : 광운대학교 반도체 및 신소재
공학과, 조교수

2004. 6 ~ 현재 : 고려대학교 전기전자전파공학부
교수