

論文2001-38SD-8-2

# 고전압과 고전력 응용을 위한 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ 이종접합 전계효과 트랜지스터의 제작 및 특성에 관한 연구

## (Studies on Fabrication and Characteristics of $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ Heterojunction Field Effect Transistors for High-Voltage and High-Power Applications)

金鍾旭\*, 李宰承\*, 金昌奭\*, 鄭斗燦\*, 李在鶴\*, 申振鎬\*

(Jong-Wook Kim, Jae-Seung Lee, Chang-Suk Kim, Doo-Chan Jeong, Jae-Hak Lee, and Jin-Ho Shin)

### 요약

분자선 결정 성장법을 이용하여 성장된 서로 다른 장벽층의 두께를 갖는  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$  heterojunction field effect transistors (HFETs) 를 제작하여 그 특성을 비교, 관찰하였다.  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  층의 두께에 따른 특성의 비교로부터 최적의 2 차원 전자가스 (2 dimensional electron gas) 를 가질 수 있는  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$  HFET 소자 구조를 얻을 수 있었다.  $L_g=0.6 \mu\text{m}$  와  $W_g=34 \mu\text{m}$  의  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$  (20 nm/2 mm) HFET에서  $I_{\text{max}}$  ( $V_{\text{gs}}=1 \text{ V}$ ) 와  $G_{\text{m,max}}$  는 각각 1.155 A/mm 및 250 mS/ $\mu\text{m}$  이었으며  $F_t=13 \text{ GHz}$  와  $F_{\text{max}}=48 \text{ GHz}$  의 우수한 고주파 특성을 얻을 수 있었고 2 inch 기판 상에서 제작된 소자들은 5% 이하의 매우 균일한 DC 특성을 나타내었다. 이와 더불어 게이트-드레인 간의 간격에 따른 소자의 특성을 관찰함으로써 소자의 항복전압과 고주파 특성과의 상관관계를 고찰하였다.

### Abstract

We report on the fabrication and characterization of  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$  HFETs with different barrier layer thickness which were grown using plasma-assisted molecular beam epitaxy (PAMBE). The barrier thickness of  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$  HFETs could be optimized in order to maximize 2 dimensional electron gas induced by piezoelectric effect without the relaxation of  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  layer.  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$  (20 nm/2 mm) HFET with 0.6  $\mu\text{m}$ -long and 34  $\mu\text{m}$ -wide gate shows saturated current density ( $V_{\text{gs}}=1 \text{ V}$ ) of 1.155 A/mm and transconductance of 250 mS/mm, respectively. From high frequency measurement, the fabricated  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$  HFETs showed  $F_t=13 \text{ GHz}$  and  $F_{\text{max}}=48 \text{ GHz}$ , respectively. The uniformity of less than 5% could be obtained over the 2 inch wafer. In addition to the optimization of epi-layer structure, the relation between breakdown voltage and high frequency characteristics has been examined.

\* 正會員, LG전자기술원 소자재료연구소 RF소자그룹  
(RF Devices Group, Devices and Materials  
Laboratory, LG Electronics Institute of Technology)

※ 본 연구는 산업자원부의 중기거점 과제 연구비 지원 (# 990-02-03) 으로 수행되었습니다.

接受日字:2001年2月28日, 수정완료일:2001年7月21日

### I. 서론

III-V 족 질화계 물질의 소자로의 응용은 청색 레이저 다이오드와 고효율 발광 다이오드의 성공적인 개발과 상용화로 많이 알려져 있다. 이와 더불어  $\text{AlGaIn}/\text{GaN}$  HFET 는 microwave 대역에서 고전력과

고전압의 동작에 이상적인 소자로서 많은 연구가 진행되고 있으며 우수한 결과들이 발표되고 있다<sup>[1~5]</sup>. GaN는 GaAs 보다 작은 드리프트 이동도를 갖지만 더 큰 최대 전자 속도와 포화 속도(saturated electron velocity), 더 높은 항복전압 및 열적 안정성 등 뛰어난 물성들로 인하여 고전력과 고온의 응용에서 보다 뛰어난 물질로서 알려져 있다<sup>[1~4]</sup>. 다른 III-V 족 HFET와는 달리 AlGaIn/GaN HFET는 높은 압전 분극(piezoelectric polarization)과 자발 분극(spontaneous polarization)에 의하여 이종접합 계면 가까이에서  $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  이상의 고농도 2차원 전자개스(2-dimensional electron gas)를 장벽층에 도핑을 하지않고도 형성할 수 있다. 이러한 매우 높은 면 전하밀도로 인하여  $1 \text{ A}/\mu\text{m}$  이상의 채널전류를 얻고 있으며 0.8 mm의 게이트 길이에서는 140 V의 항복전압을, 그리고 0.15 mm의 게이트 길이에서는 68 GHz의 차단 주파수(cutoff frequency)와 140 GHz의 최대 공진 주파수(maximum oscillation frequency)를 가지는 우수한 특성의 AlGaIn/GaN HFET들이 보고되고 있다<sup>[5]</sup>. 또한, 우수한 특성의 RF 출력을 가진 소자들도 보고되고 있는데, Sapphire와 SiC 기판 상에서 각각 4와 12 W/mm의 뛰어난 전력 밀도를 얻고 있다<sup>[3,4]</sup>. 큰 periphery로서 SiC 기판 위에 제작된 소자에서 10GHz의 주파수에서 6.9 W/mm의 전력밀도와 9.1 W의 출력전력을 나타내고 있다<sup>[2]</sup>.

이러한 우수한 성능의 소자를 제조하기 위해서는 우선 최적의 AlGaIn 층에 대한 연구가 선행되어야 한다. GaN와의 격자부정합으로 인한 강한 압전효과에 의해서 유기되는 고농도의 2차원 전자개스는 AlGaIn 층의 두께와 결정성 등에 민감하게 반응하므로 molecular beam epitaxy 법이나 metalorganic chemical vapor deposition 법 등의 결정성장방법 뿐만 아니라 각각의 성장 장비에 따라서도 최적의 AlGaIn 층에 대한 조건은 다르게 나타난다<sup>[6]</sup>. 각각의 성장 장비에 대한 strain이 완화되지 않는 범위에서 높은 2차원 전자개스를 가질 수 있는 최적의 두께와 Al 조성비를 가지는 AlGaIn 층에 대한 정보를 확보하는 것이 고전력 응용에 적합한 우수한 특성의 AlGaIn/GaN HFET을 제작하는 데 있어서 매우 중요한 요소이다. 결정구조의 최적화와 동시에 사용하고자 하는 주파수 대역에서 최대의 전력특성을 얻기 위한 소자구조 설계는 필수적으로 이루어져야 할 것이다.

본 연구에서는 고주파, 고효율용 전자소자의 제조를 위한 AlGaIn/GaN HFET에 대한 연구를 수행하였다. 여러 가지  $Al_{0.3}Ga_{0.7}N$  두께에 따른  $Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN$  HFET의 특성 변화를 관찰한 후 최적화된  $Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN$  HFET 구조에서 게이트-드레인간의 거리에 따른 항복전압과 주파수 특성과의 상관관계를 고찰하였다.

## II. 실험방법

PAMBE를 사용하여 sapphire 기판 위에  $Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN$  HFET 구조를 성장하였다. 다양한 두께의 AlGaIn 층에 대하여 소자를 제조하고 특성을 평가하였다. 본 연구에서 사용한 HFET 구조를 그림 1에 나타내었다. Sapphire 기판 위에 결정구조가 Ga-face를 갖도록 저온에서 nucleation 층을 형성하였으며 소자의 isolation과 양질의 이종접합 채널층 형성을 위한  $2 \mu\text{m}$ 의 GaN 층이 성장되었다. GaN 층 위에 성장된  $Al_{0.3}Ga_{0.7}N$  층의 두께는 각각 15, 20, 25, 30 nm이었다. 소자제작 전에 성장된  $Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN$  HFET의 전기적인 특성을 상온과 77K에서 Van der Pauw 법으로 Hall 효과를 측정하였다. 소자의 제작은 ECR RIE 법에 의한 mesa isolation, Ti/Al/Pt/Au를 사용한 소스와 드레인의 ohmic contact 형성, Ni/Au 게이트의 Schottky contact 형성, passivation을 위한  $Si_3N_4$  박막의 증착, 그리고 마지막으로 interconnection을 위한 air-bridge 형성 등의 순서로 수행하였다. 그림 2는  $L_g$ 와  $W_g$ 가 각각 0.6과  $4 \times 96 \mu\text{m}$ 인 제조된

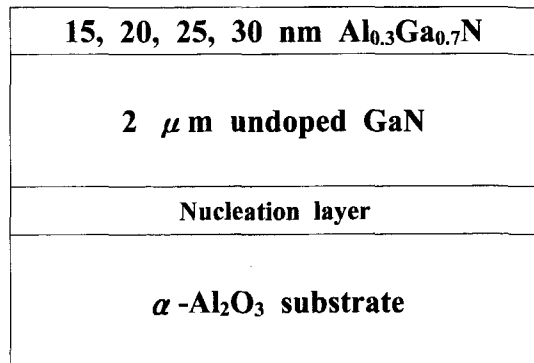


그림 1. PAMBE 법으로 성장된  $Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN$  HFETs의 구조

Fig. 1. Structure of  $Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN$  HFETs grown by PAMBE.

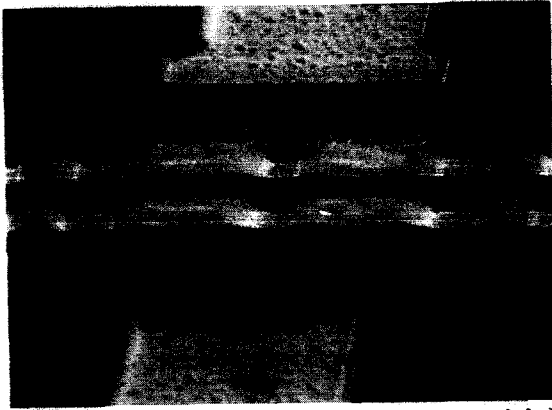


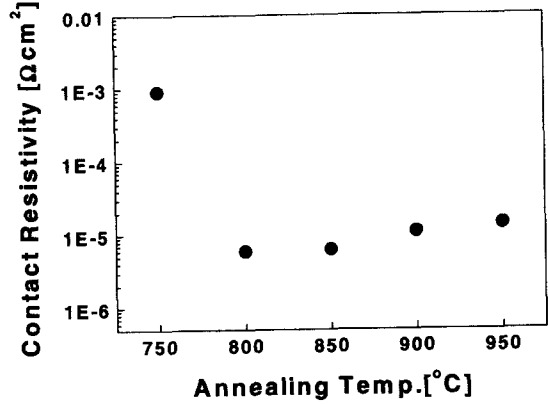
그림 2.  $L_g=0.6 \mu\text{m}$  와  $W_g=4 \times 94 \mu\text{m}$  로 제작된  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$  HFETs 소자의 SEM 사진  
 Fig. 2. SEM photograph of the fabricated  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$  HFETs with  $L_g=0.6 \mu\text{m}$  and  $W_g=4 \times 94 \mu\text{m}$ .

소자의 SEM 사진을 나타낸다. Conventional UV contact photolithography 법으로 형성하였다. 드레인과 소스의 ohmic contact 을 최소화하기 위해 열처리 온도와 시간에 따라 그 특성을 조사하였다. 전기적인 특성의 측정에는  $L_g$  와  $W_g$  가 각각  $0.6$  과  $34 \mu\text{m}$  인 소자에서 수행하였다. 소자의 항복전압과 주파수 특성의 상관 관계에 대하여 게이트와 드레인 사이의 거리가  $2.5 \mu\text{m}$  에서  $15 \mu\text{m}$ 까지 변화된 소자를 제조하고 측정, 분석하였다. 소자의 전류-전압 특성은 HP 4142B modular DC source/monitor 를 사용하였으며 고주파 특성은 HP8510C network analyzer 를 이용하여 on-wafer 상태로 측정하였다.

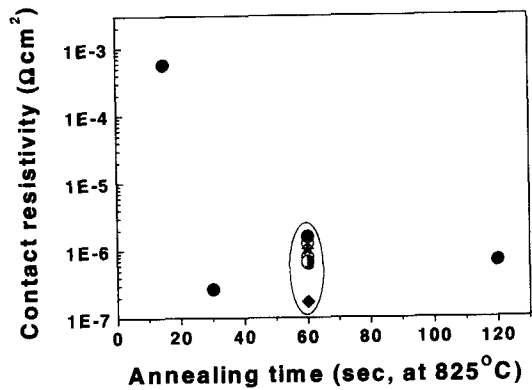
### III. 결과 및 고찰

그림 3 은 열처리 온도와 시간에 따른 ohmic contact 의 특성을 TLM 방법으로 측정한 결과이다. Ohmic 특성의 관찰을 위해서 사용한 구조는 그림 1 에 있는  $20 \text{ nm}$  의  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  두께를 가진 HFET 구조와 동일하다. 그림 3 의 (a) 에서 알 수 있듯이 15 초 동안 열처리를 하였으며  $800^\circ\text{C}$  와  $850^\circ\text{C}$  사이에서 온도에 따른 최소의 contact resistivity 를 얻을 수 있었다. 다음으로  $825^\circ\text{C}$  에서 열처리 시간에 따른 결과를 그림 3 의 (b) 에서 볼 수 있으며 30 초 이상에서 그 값이 saturation 되는 것을 알 수 있다. 또한  $825^\circ\text{C}$  에서 1분 동안의 열처리 공전 직전에 인산계열의 chemical 을 가지고 surface treatment 수행하여  $10^{-7} \text{ Wcm}^2$  영역의

더 나은 contact resistivity 를 얻을 수 있었다. 최적의 ohmic contact 을 재현성 있게 얻기 위해서 chemical surface treatment 와 각각  $825^\circ\text{C}$  와 1분의 열처리 온도와 시간을 사용하였다.



(a)



(b)

그림 3.  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$  HFETs 의 (a) 15초의 열처리 시간에서 열처리 온도와 (b)  $825^\circ\text{C}$  의 열처리 온도에서 열처리 시간에 따른 contact resistivity 의 변화

Fig. 3. The variation of contact resistivity of  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$  HFETs as a function of (a) annealing temperature with 15s annealing time and (b) annealing time at  $825^\circ\text{C}$ .

그림 4 는 여러 가지 두께의  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  에 대한 Hall 측정 결과를 보여주고 있다. 측정 시편은 소자 제작에 사용하는 mesa-isolation 과 ohmic contact 형성 공정으로 optical photolithography 를 사용하여 제작하였다.  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  의 두께가  $15 \text{ nm}$  인 경우 상온과  $77 \text{ K}$  에서 동일하게  $1.9 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  의 매우 높은 면 전하밀도를 얻었으며 이동도는 각각  $889$  와  $2074 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  로

서 양질의  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$  HFETs 구조가 형성된 것을 확인하였다.  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  의 두께가 증가함에 따라서 상온에서의 면 전하 밀도가  $1.9 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  에서  $2.5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  로 증가하였으며 이동도는  $889 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  에서  $803 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  으로 감소 하였다.  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  의 두께가 25 nm 에서 30 nm 로 증가하였을 때 이동도는 더 이상 변화하지 않았으며 이것은  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  층의 strain 이 완화되어진 것이 그 원인으로 생각되며 제조된 소자의 Schottky contact 특성이 급격히 저하되었고 ohmic contact 저항 또한 큰 값을 나타내어 HFET 소자로서 구현할 수 없었다.

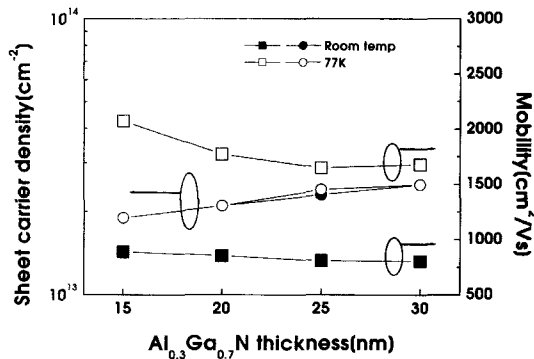


그림 4.  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  층의 두께에 따른  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$  HFETs 구조의 상온과 77 K 에서의 Hall 측정 결과

Fig. 4. Hall measurement results at room temperature and 77 K of  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$  HFETs structure with different  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  layer thickness.

그림 5 의 (a) 는  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  의 두께에 따른 최대 포화전류와 transconductance 의 변화를 보여주고 있다.  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  의 두께가 증가함에 따라 최대 포화전류는 증가하는 것으로 알 수 있으며 이는 Hall 효과측정으로 부터 알 수 있듯이 압전효과에 의해 더 많은 양전하들이  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  과 GaN 의 interface 에 유기됨으로 인해 2DEG 가 증가하였기 때문이라고 여겨진다. 소자의 transconductance 는  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  의 두께가 증가할수록 감소하며 그림 5 의 (a) 의 삽입 그림에서와 같이 threshold 전압은 증가하는 것을 알 수 있다. 소자에서 게이트-소스간의 threshold 전압이 -5 V 를 초과하게 되면 전력 증폭기로의 응용시에 channel 근처에서 많은 에너지를 가지게 되어 전자-정공 쌍을 형성하고 이로 인해 드레인과 게이트의 누설전류 상승을 가져오게 된

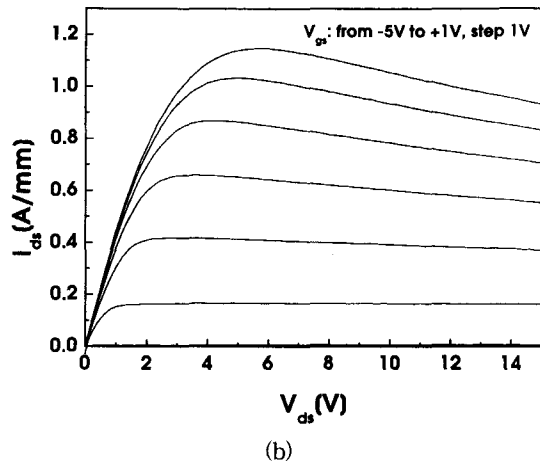
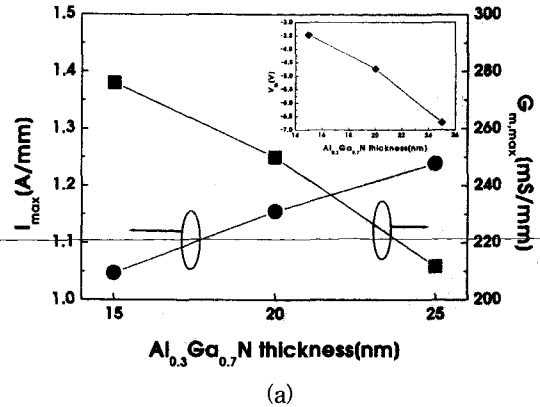


그림 5. (a)  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  의 두께에 따른 최대 포화전류, transconductance, 그리고 threshold 전압의 변화(삽입그림)와 (b)  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 의 두께가 20nm 인 소자의 드레인 I-V 특성. ( $L_g=0.6 \mu\text{m}$ ,  $W_g=34 \mu\text{m}$ )

Fig. 5. (a) Dependences of maximum saturated current, transconductance, and threshold voltage(inset) on  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  layer thickness and (a) drain I-V characteristics of  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$ (20nm/2µm) HFETs. ( $L_g=0.6 \mu\text{m}$ ,  $W_g=34 \mu\text{m}$ )

다. 따라서  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  의 두께에 따른 실험으로부터  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  층의 strain 이 완화되지 않으면서 재현성이 있는 소자구조를 성장하기 위해서 20 nm 의  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  을 선택하였다. 그림 5의 (b)는 제작된 20 nm 두께의  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  층을 가지는 HFET 소자의 전류-전압 특성을 나타내고 있다. Knee 전압이 4 V 이하로서 드레인과 소스의 ohmic contact 이 잘 형성된 것을 알 수 있으며 1.155 A/mm ( $V_{\text{gs}}=1 \text{ V}$ ) 의 최대 포화 전류와 250 mS/mm ( $V_{\text{ds}}=5.8 \text{ V}$  와  $V_{\text{gs}}=-3.4 \text{ V}$ ) 의 transconductance 를 나타내었다. 소자의 threshold

voltage 는 4.7 V 이었다. 그림 6 에서는 2 inch 크기의 wafer 상에서 제작된  $Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN$  HFET 의 최대 포화전류, transconductance, 그리고 threshold 전압 등의 균일도를 나타내었으며 2 inch 전체에서 5 % 이하의 매우 고른 분포를 나타내었다.

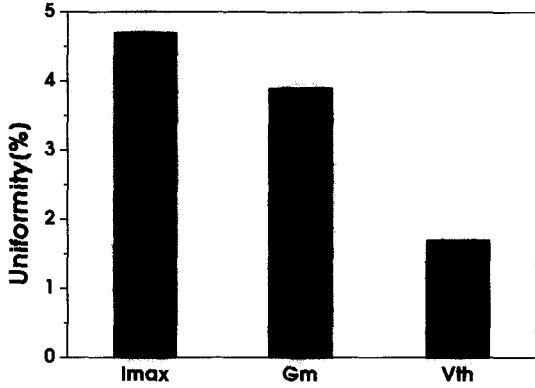


그림 6. 2 inch 기판위에 제작된  $Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN$  HFETs 의 DC 특성의 균일도

Fig. 6. Uniformity of DC characteristics in  $Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN$  HFETs which was fabricated on 2 inch wafer.

이러한 최적화된 구조를 고전력 응용에 적용하기 위해서는 제작된 소자가 응용할 주파수에 알맞은 주파수 특성을 가지면서 출력 특성을 향상하는 것이 중요하다. 따라서 최적화된 결정구조에서 게이트 길이는 고정하고 게이트와 드레인의 간격을 변화시키면서 소자를 제작하여 소자의 주파수 특성과 항복전압의 상관관계를 관찰하였다. 게이트와 드레인 간격의 변화에 따른 최대 포화전류와 3-terminal 항복전압의 특성은 그림 7의 (a) 에 나타나 있으며  $F_t$  와  $F_{max}$  의 특성은 그림 7의 (b) 에 나타내었다. 3-terminal 항복전압은 게이트와 소스 사이에 threshold 전압이 인가된 상태에서 드레인 전류가 1mA/mm 가 되는 드레인과 게이트 사이의 전압을 나타낸다. 그림 7의 (a) 에서 항복전압은 간격이 넓어짐에 따라 급격하게 증가하는 것을 알 수 있으며  $L_{g-d}$  가 15  $\mu m$  일 때 662 V 로서 약 10 배 정도 향상된 매우 높은 3-terminal  $BV_{GD}$  를 얻을 수 있었다. 이러한 항복전압의 향상은 게이트와 드레인 사이에 AlGaN 층의 trap states 와 게이트와 드레인 사이에 있는 surface charge 으로부터 주로 형성된 공핍 영역이 크게 확장된 것이 그 원인으로 생각된다.<sup>[7-9]</sup> 최대 포화전류는  $L_{g-d}=2.5 \mu m$  일 때 1.155 A/mm 에서

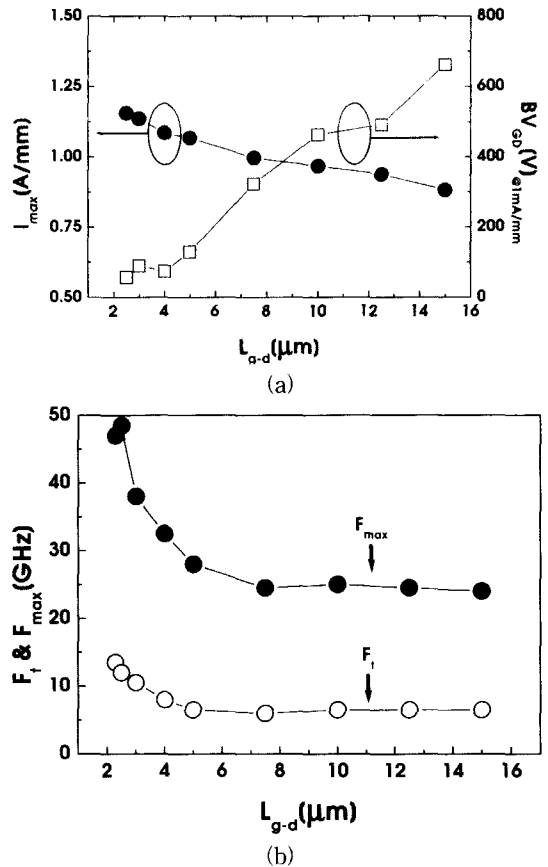


그림 7.  $L_g=0.6 \mu m$  와  $W_g=34 \mu m$  로 제작된  $Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN$  (20nm/2 $\mu m$ ) HFETs 의 게이트-드레인 간격에 따른 (a)  $I_{max}$  와 transconductance, 그리고 (b)  $F_t$  와  $F_{max}$  의 특성 변화

Fig. 7. Dependence of (a)  $I_{max}$  & transconductance and (b)  $F_t$  &  $F_{max}$  as a function of gate-drain spacing ( $L_{g-d}$ ) in the fabricated  $Al_{0.3}Ga_{0.7}N/GaN$  (20nm/2 $\mu m$ ) HFETs with  $L_g=0.6 \mu m$  and  $W_g=34 \mu m$ .

$L_{g-d}=15 \mu m$  일 때 881.8 mA/mm 으로  $L_{g-d}$  에 선형적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 게이트와 드레인의 거리가 증가할수록  $V_{rs}=+1 V$  에서의 최대 포화전류를 얻기 위한  $V_{ds}$  가 증가를 하여 소자의 동작온도가 증가하였고 이와 함께 공핍영역이 증가하였기 때문에 생각하고 있다. 그림 7의 (b) 는 소신호 특성을 나타내며  $L_{g-d}=2.5 \mu m$  인 경우  $L_g=0.6 \mu m$  에서 각각  $F_t = 13.5 GHz$  와  $F_{max} = 47 GHz$  를 나타내었고  $L_{g-d}=7.5 \mu m$  까지  $F_t$  와  $F_{max}$  가 급격히 감소하고 7.5  $\mu m$  이상에서는  $F_t = 6 GHz$  와  $F_{max} = 24.5 GHz$  로 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 7.5  $\mu$

m 이하에서의 급격한 감소는 소자내의 전자 이동 거리가 증가한 것이 그 원인으로 생각되며  $7.5 \mu\text{m}$  이상에서 일정하게  $F_t$  와  $F_{\text{max}}$  가 유지되는 것에 대해서는 더 많은 연구가 현재 진행중이다. 그림 7의 (a) 와 (b) 로부터 실제로 소자를 응용하려는 주파수에서 최대의 출력특성을 나타낼 수 있도록 게이트와 드레인의 거리를 정하여 제작함으로써 고전압과 고전력 응용에 알맞은 소자로서 최적화할 수 있을 것으로 생각되어진다.

#### IV. 결 론

서로 다른  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  의 두께를 가지는  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$  HFET 의 특성을 비교하여  $20 \text{ nm}$  의  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$  을 가진 HFET 가 고전력 응용에 가장 최적임을 알 수 있었다.  $L_{g-d}=2.5 \mu\text{m}$  이고  $L_g=0.6 \mu\text{m}$  와  $W_g=34 \mu\text{m}$  로 제작된  $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}/\text{GaN}$  ( $20\text{nm}/2 \mu\text{m}$ ) HFET 에서  $1.155 \text{ A}/\mu\text{m}$  의 최대 포화전류와  $250 \text{ mS}/\mu\text{m}$  의 transconductance 및  $13.5 \text{ GHz}$  의  $F_t$  와  $47 \text{ GHz}$  의  $F_{\text{max}}$  와 같은 매우 우수한 소자 특성을 얻을 수 있었다. 또한 게이트와 드레인 간격을  $2.5 \mu\text{m}$  에서  $15 \mu\text{m}$  까지 변화시키면서 소자의 주파수 특성과 항복전압을 관찰하였으며  $15 \mu\text{m}$  의  $L_{g-d}$  에서  $F_t = 6 \text{ GHz}$  와  $F_{\text{max}} = 24.5 \text{ GHz}$  를 가지면서  $881.8 \text{ mA}/\text{mm}$  의 최대 포화전류와  $226.5 \text{ mS}/\text{mm}$  의 transconductance 그리고  $662 \text{ V}$  의 3-terminal  $\text{BV}_{\text{GD}}$  를 얻을 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

[1] B. Green, et al, "The effect of surface passivation on the microwave characteristics of undoped  $\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$  HEMTs," IEEE Electron Device Lett., vol. 21, no. 6, pp. 268-270, 2000.

[2] S. T. Sheppard, et al, "High-Power microwave  $\text{GaN}/\text{AlGaIn}$  HEMT's on semi-insulating silicon carbide substrates," IEEE Electron Device Lett., vol. 20, no. 4, pp. 161-163, 1999.

[3] Y. F. Wu, et al, "GaN-based FETs for microwave power amplifications," IEICE Trans. Electron., vol. E82-C, no. 11, pp. 1895-1905, 1999.

[4] Y. F. Wu, et al, "High Al-content  $\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$  HEMTs on SiC substrate with very high power performance," IEEE 1999 IEDM, Technical Digest, pp. 925-927, 1999.

[5] K. K. Chu, et al, " $\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$  piezoelectric HEMT's with submicron gates on sapphire," Electrochemical Society Proceedings, vol. 98-12, pp. 46-51, 1999.

[6] O. Ambacher, et al, "Two dimensional electron gases induced by spontaneous and piezoelectric polarization in undoped and doped  $\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$  heterostructures," J. Appl. Phys., vol. 87, pp. 334-344, 2000.

[7] Z. Fan, et al, "Suppression of leakage currents and their effect on the electrical performance of  $\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$  modulation doped field effect transistors," Appl. Phys. Lett., vol. 69-9, pp.1229-1231, 1996.

[8] Y. F. Wu, et al, "Very high breakdown voltage and large transconductance realized on GaIn heterojunction field effect transistors," Appl. Phys. Lett., vol. 69-10, pp. 1438-1440, 1996.

[9] R. Gaska, et al, " $\text{AlGaIn}/\text{GaIn}$  heterojunction FETs with offset gate design," Electron. Lett., vol. 33-14, pp. 1255-1257, 1997.

저 자 소 개



金 鍾 旭(正會員)

1995년 2월 한양대학교 전자공학과 공학사. 1997년 2월 : 한양대학교 전자공학과 공학석사. 2000년 8월 한양대학교 전자공학과 공학박사. 2001년 현재 LG 전자기술원 소자재료연구소 RF소자그룹 선임연구원.

주관심분야 : AlGaIn/GaN HEETs의 제작 및 모델링, 기지국용 선형전력증폭기의 설계 및 제작

鄭 斗 燦(正會員)

1998년 2월 명지대학교 무기재료공학과 공학사. 2000년 2월 명지대학교 세라믹공학부 공학석사. 2001년 현재 LG전자기술원 소자재료연구소 RF소자그룹 연구원. 주관심분야 : GaAs-based HBT의 설계 및 제작



李 宰 承(正會員)

1996년 2월 경북대학교 물리학과 이학사. 1998년 2월 경북대학교 전자공학과 공학석사. 2001년 8월 경북대학교 전자공학과 공학박사. 2001년 현재 LG 전자기술원 소자재료연구소 RF소자그룹 연구원. 주관심분야 :

AlGaIn/GaN HEETs, GaN 계 화합물반도체 소자, Wide-Bandgap electronics.

李 在 鶴(正會員)

1988년 2월 서울대학교 전자공학과 공학사. 1990년 2월 포항공과대학교 전기, 전자공학부 공학석사. 2001년 2월 서울대학교 전자, 컴퓨터 공학부 공학박사. 1990~2001년 LG전자기술원 소자재료연구소 RF소그룹 선임연구원. 2001년 현재 Wavics 기술이사. 주관심분야 : Microwave와 millimeter-wave 용 III-V 소자와 회로의 설계 및 제작.



金 昌 奭(正會員)

2000년 2월 한양대학교 전자, 전기, 컴퓨터, 제어공학부 공학사. 2001년 현재 한양대학교 전자, 컴퓨터 공학부 석사과정 및 LG전자기술원 소자재료연구소 RF 소자그룹 촉탁연구원. 주관심분야 : AlGaIn/GaN

HEETs의 제작 및 모델링, 기지국용 선형전력증폭기의 설계 및 제작

申 振 鎬(正會員)

1985년 2월 서울대학교 전자공학과 공학사. 1987년 2월 한국과학기술원 전기, 전자공학부 공학석사. 1997년 2월 포항공과대학교 전기, 전자공학부 공학박사. 1987~2001년 현재 LG전자기술원 소자재료연구소 RF소자그룹 책임연구원. 주관심분야 : III-V HBT 소자 및 전력증폭기의 개발