

## 게이트 리세스 식각 방법에 따른 PHEMT 특성 변화

이한신, 임병옥, 김성찬, 신동훈, 전영훈, 이진구

동국대학교 밀리미터파 신기술 연구소

전화 : 02-2260-8831 / 핸드폰 : 011-9069-2638

### Analysis of characteristics of PHEMT's with gate recess etching method

Han Shin Lee, Byeong Ok Lim, Sung Chan Kim,  
Dong Hoon Shin, Young Hoon Chun, Jin Goo Rhee

Milimeter-Wave Innovation Technology Research Center of Dongguk University

E-mail : bi234@dongguk.edu

#### Abstract

we have studied the characteristics of PHEMT's with gate recess etching method. The DC characterization of PHEMT fabricated with the wide single recess methods is a maximum drain current density of 319.4 mA/mm and a peak transconductance of 336.7 mS/mm. The RF measurements were performed in the frequency range of 1 ~ 50 GHz. At 50 GHz, 3.69dB of  $S_{21}$  gain were obtained and a current gain cut-off frequency( $f_T$ ) of 113 GHz and a maximum frequency of oscillation( $f_{max}$ ) of 172 GHz were achieved from this device. On the other hand, a maximum drain current of 367 mA/mm, a peak transconductance of 504.6 mS/mm,  $S_{21}$  gain of 2.94 dB, a current gain cut-off frequency( $f_T$ ) of 101 GHz and a maximum frequency of oscillation( $f_{max}$ ) of 113 GHz were achieved from the PHEMT's fabricated by the narrow single recess methods.

#### I. 서론

최근 무선통신 시장의 급격한 발전에 따라 데이터 통신량의 증가로 인한 사회적 수요를 충족시키기 위하

여 고품질 및 고속전송이 가능한 밀리미터파의 넓은 대역을 활용하려는 연구활동이 활발이 진행되고 있다.

이에 따라 밀리미터파 대역에서 사용할 고신뢰도, 고효율 특성을 지니는 PHEMT(Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor), HBT(Heterojunction Bipolar Transistor)와 같은 능동소자의 기술개발이 필수적이다.

본 논문에서는 밀리미터파 대역에서 사용 가능한 GaAs PHEMT의 특성향상을 위하여 게이트 식각에 따른 소자의 특성 변화를 연구하였다. 리세스 식각 방법에 따라 각각 wide 리세스와 narrow 리세스를 이용하여 PHEMT를 제작하였다. 이렇게 제작된 PHEMT의 DC 및 RF 특성 변화를 소신호 모델에서 각 파라미터의 변화와 비교하였다.

#### II. 리세스 방법에 따른 PHEMT 제작

일반적으로 게이트 리세스 식각 용액으로는 암모니아( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), 인산( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) 및 구연산(Citric acid) 계열의 용액이 사용되고 있다[1]. 하지만 암모니아 계열의 용액은 실제 게이트보다 큰 패턴 형성으로 인한 단점이 있고, 인산계열의 용액은 높은 점착도로 인하여 초순수(D.I. water)세척시에도 잔여 인산으로 인한 지속적인 식각현상이 발생하여 식각 범위의 조절이 어려운

단점이 있어서 본 논문에서는 구연산 계열의 용액을 사용하였다[2].

그림 1은 50 %의 구연산 용액과 과산화수소, 초순수 및 FC-93의 비율이 1 : 3 : 1 : 0.2인 용액으로 식각 후 GaAs 표면의 SEM(Scanning Electron Microscope) 사진이다. 식각율은 0.7 Å/sec이고 GaAs 표면이 깨끗하게 식각된 것을 확인할 수 있다.

그림 2는 상기 용액을 사용하여 식각 후 GaAs 표면의 거칠기를 확인하기 위한 AFM(Atomic Force Microscope) 사진이다. 3.7 Å의 평균 거칠기 및 4.7 Å의 RMS(Root Mean Square) 거칠기를 나타내었다.

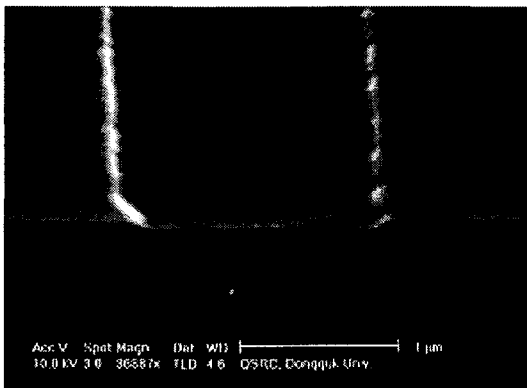


그림 1. 구연산 용액 : 과산화수소 : 초순수 : FC-93(1 : 3 : 1 : 0.2)의 식각 후 SEM사진

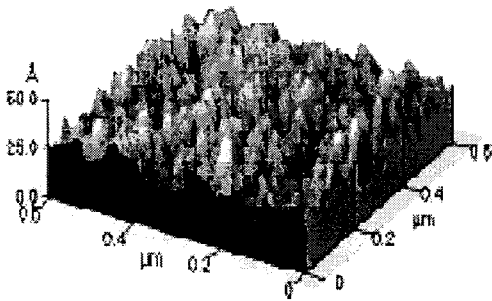


그림 2. 상기 용액을 사용한 식각 후 AFM 사진

PHEMT 제작을 위한 wide 리세스의 공정 순서는 황산과 과산화 수소 및 초순수를 1 : 8 : 160의 비율로 혼합한 용액을 사용하여 mesa 식각을 하였다. IR (Image Reversal) 공정을 이용하여 패턴을 형성하였고 형성된 오믹 패턴 위에 AuGe/Ni/Au를 각각 1250 Å/250 Å/1500 Å 증착하였다. 증착된 금속을 리프트-오프 한 후 구연산 계열의 식각 용액을 사용하여 리세스를 수행하였다. 여기에 레지스트를 3단으로 코팅하고 다음으로 전자선 묘화 장비를 이용하여 게이트 head,

foot을 2단계로 노광과 현상하였다. 현상 후 Ti/Au를 각각 500 Å/4000 Å 증착하였다. 게이트 금속의 증착 후 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>를 쌓아 passivation 하였다. dielectric-via 패턴 현상후 RIE(Reactive Ion Etch)를 이용하여 측정을 위한 금속 패드를 열어주었다[3].

그림 3은 상기 제작 공정과정을 이용하여 게이트 길이 0.1 μm, 단위 게이트 폭 70 μm, 핑거수 두 개로 제작된 PHEMT의 표면 사진이다.

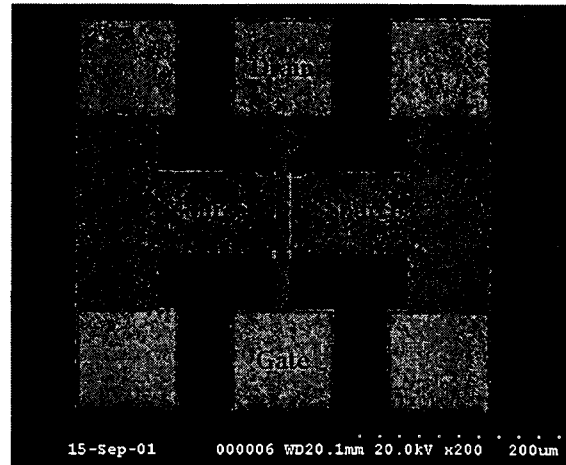


그림 3. 제작된 70 μm × 2 fingers PHEMT

그림 4에서 보여 주는 것처럼 narrow 리세스 공정은 wide 리세스 공정순서와 거의 비슷하지만 게이트 패턴을 형성후 0.1 μm의 게이트 패턴을 이용하여 수행하였다는 차이점이 있다. 이는 리세스 단면적을 크게 줄일 수 있게 하였다.

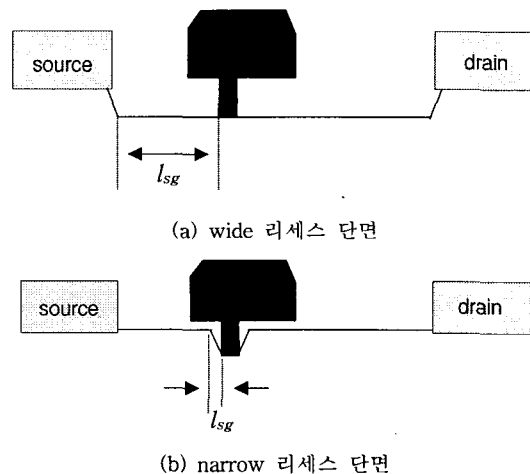


그림 4. 리세스 방법에 따른 리세스 단면

### III. 리세스 방법에 따른 특성 분석

리세스 식각 방법에 따른 PHEMT의 특성 분석을 위해 각각의 방법에 의해 제작된 PHEMT의 측정을 통하여 소신호 모델을 추출하였다.

표 1, 표 2는 리세스 방법에 따른 소신호 모델의 intrinsic 파라미터와 extrinsic 파라미터의 변화를 나타내었다.

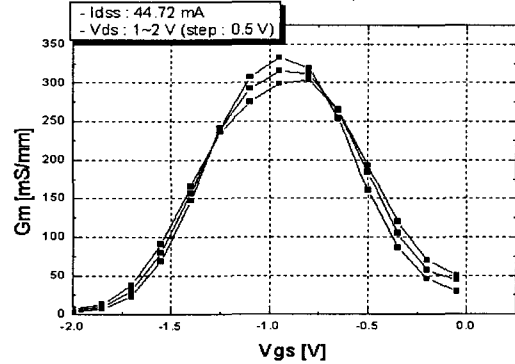
표 1. 제작된 PHEMT의 소신호 intrinsic 파라미터

파라미터	Wide 리세스	Narrow 리세스
$C_{gs}$ [pF]	0.083	0.132
$C_{gd}$ [pF]	0.014	0.025
$C_{ds}$ [pF]	0.028	0.056
$g_{ds}$ [mS]	3.629	5.125

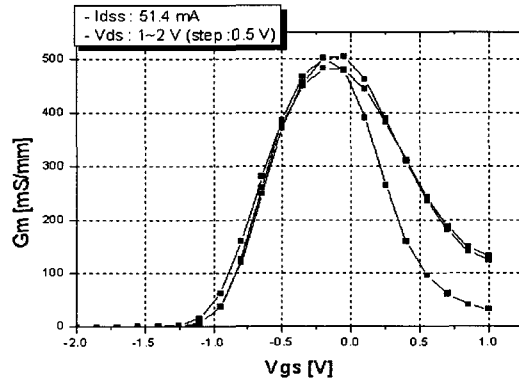
표 2. 제작된 PHEMT의 소신호 extrinsic 파라미터

파라미터	Wide 리세스	Narrow 리세스
$l_{sg}$ [ $\mu$ m]	2	0.1
$R_s$ [ohm]	3.542	3.215
$R_g$ [ohm]	13.32	14.28
$R_d$ [ohm]	6.365	6.334
$L_g$ [nH]	0.095	0.080
$L_d$ [nH]	0.099	0.098
$L_s$ [nH]	0.003	0.003
$C_{pg}$ [pF]	0.053	0.062
$C_{pd}$ [pF]	0.049	0.047

그림 5는 각 리세스 방법에 따른 최대 전달 컨덕턴스의 측정값을 보여주고 있다. wide 리세스와 narrow 리세스의 최대 전달 컨덕턴스는 각각 332.7 mS/mm와 504.6 mS/mm의 값을 얻었다. 먼저 최대 전달 컨덕턴스의 변화와  $R_s$ 의 변화를 보면 게이트와 소오스 간의 거리( $l_{sg}$ )가 wide 리세스에서 narrow 리세스로 갈수록 짧아지고 이에 따라서  $R_s$ 는 작아지며  $g_m$ 은 증가됨을 알 수 있다(식1).



(a) Wide 리세스를 이용하여 제작된 PHEMT



(b) Narrow 리세스를 이용하여 제작된 PHEMT

그림 5. 리세스 방법에 따른 PHEMT의 전달 컨덕턴스( $g_m$ ) 특성

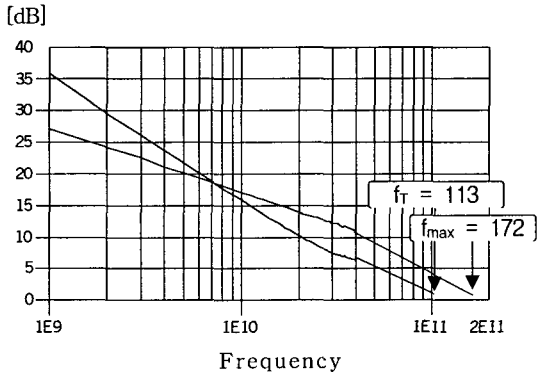
그러나  $g_m$ 의 변화에 비해 표1과 표2에서의  $R_s$  변화는 매우 작은 것을 알 수 있다. 이와 달리  $g_{ds}$ 는  $g_m$ 의 변화와 비슷한 비율로 변화되어  $g_m$ 의 변화는 리세스 폭에 따른  $R_s$ 의 변화보다  $g_{ds}$ 의 변화에 더 큰 영향을 받게 되는 것을 알 수 있다(식 2, 식 3). 다시 말해서 wide 리세스에서 narrow 리세스의 변화는  $R_s$ 의 변화에 큰 변화는 주지 않지만,  $g_{ds}$ 의 값이 더 높아지게 되어  $g_m$ 이 더 높은 값을 갖게 되는 것이라 할 수 있다.

$$R_s = \frac{\rho l_{sg}}{w_x a} \quad (식 1)$$

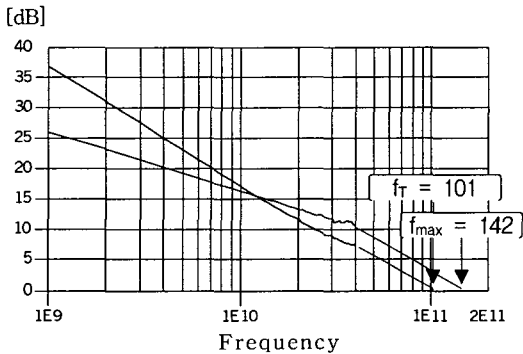
$$g_m = \frac{g_m'}{1 + R_s g_m'} \quad (식 2)$$

$$g_m = g_{ds} \frac{(V_D + V_{bi} - V_G)^{\frac{1}{2}} - (V_{bi} - V_G)^{\frac{1}{2}}}{V_{PO}^{\frac{1}{2}}} \quad (\text{식 3})$$

그림 6은 각각의 리세스 식각 방법에 따른 RF특성 곡선을 나타내었다. 각각의 PHEMT들은 HP 8510C Vector Network-Analyzer로 측정 후 6 dB octave 의 삽입을 사용하여  $f_T$ 와  $f_{max}$ 를 계산하였다.  $f_T$ 와  $f_{max}$ 는 wide 리세스의 경우 113 GHz와 172 GHz, narrow 리세스의 경우 101 GHz, 142 GHz를 각각 얻을 수 있었다. 이는 wide 리세스에 비해 narrow 리세스의  $C_{gs}$ ,  $C_{gd}$ ,  $C_{ds}$  값들이 각각 증가하여 소자의 RF특성,  $f_T$ 와  $f_{max}$ 가 감소하는 것으로 사료된다.



(a) Wide 리세스를 이용하여 제작된 PHEMT



(b) Narrow 리세스를 이용하여 제작된 PHEMT

그림 6. 리세스 방법에 따른 PHEMT의 RF 특성

#### IV. 결 론

리세스 조건을 달리하여 실험된 결과를 표 3에 나타내었다. 리세스 식각 방법을 달리하여 제작되어진 소자의 특성분석 결과 최대 전달 컨덕턴스는 narrow 리

세스 경우 504.6 mS/mm 로써 wide 리세스의 332.7 mS/mm 보다 높은 값을 보였으며, 반면에 소신호 주파수 특성 결과로는 wide 리세스의  $f_T$ 는 113 GHz,  $f_{max}$ 는 172 GHz값을 보였고 narrow 리세스의 경우는  $f_T$ 가 101 GHz,  $f_{max}$ 는 142 GHz값을 가지며 wide 리세스가 narrow 리세스 보다 더 높은 값의 결과치를 보였다.

따라서 gate 유효폭의 변화에 따른  $g_{ds}$ 값에 의하여  $g_m$ 값이 영향을 받고, 소신호 주파수 특성은 고주파가 되면서  $C_{gs}$ ,  $C_{gd}$ 값에 의하여 영향을 받는 것으로 사료된다.

표 3. 리세스 방법에 따른 PHEMT 특성

	$g_m$ [mS/mm]	$f_T$ [GHz]	$f_{max}$ [GHz]
Narrow 리세스	504.6	101	142
Wide 리세스	332.7	113	172

#### Reference

- [1] Tomoyuki Ohshima et. al., "Improvement of 0.1  $\mu$ m-gate InGaAs/AlGaAs HEMT performance by suppression of electro-chemical etching in deionized water", Solide-State Electronics, No. 43, pp. 1519-1526, 1999
- [2] 설우석, 이복형, 김성찬, 이성대, 김삼동, 신동훈, 이진구, "Citric acid 조성 비율에 따른 식각 특성에 관한 연구", 대한 전자공학회 하계학술 대회, Vol. 2, No. 24, pp. 33-36, June, 2001.
- [3] Woo-Suk Sul, Byeong-Ok Lim, Seong-Dae Lee, Dong-Hoon Shin, Sam-Dong Kim, Soon-Koo Kim, Yong-Hoh Kim, and Jin-Koo Rhee, "Studies on the fabrication of 0.1  $\mu$ m  $\Gamma$ -gate PHEMT's", Proceedings of ITC-CSCC '01, Tokushima, Japan, pp. 1017-1021, 2001.

\* 이 연구는 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터를 통한 한국과학 재단의 우수 연구센터 지원금에 의하여 수행되었습니다.