

## 전자선 묘화 장치를 이용한 비대칭적인 0.1 $\mu\text{m}$ $\Gamma$ -게이트 PHEMT 공정 및 특성에 관한 연구

임병옥, 김성찬, 김혜성, 신동훈, 이진구

동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터

전화 : 02-2260-8698 / 핸드폰 : 019-468-6597

### A fabrication and characterization of asymmetric 0.1 $\mu\text{m}$ $\Gamma$ -gate PHEMT device using electron beam lithography

Byeong-Ok Lim, Sung-Chan Kim, Hae-Sung Kim, Dong-Hoon Shin, Jin-Koo Rhee  
Millimeter-Wave Innovation Technology Research Center of Dongguk University  
E-mail : limbo@kebi.com

#### Abstract

We have studied fabrication processes that form asymmetric  $\Gamma$ -gate with a 0.1 $\mu\text{m}$  gate length in MMIC's(Monolithic Microwave Integrated Circuits). Asymmetric  $\Gamma$ -gate was fabricated using mixture of PMMA and MCB. Thus pseudomorphic high electron mobility transistor (PHEMT's) with 0.1  $\mu\text{m}$  gate length was fabricated via several steps such as mesa isolation, metalization, recess, passivation. PHEMT's has the -1.75 V of pinch-off voltage ( $V_p$ ), 63 mA of drain saturation current( $I_{dss}$  and 363.6 mS/mm of maximum transconductance ( $G_m$ ) in DC characteristics and current gain cut-off frequency( $f_c$ ) of 106 GHz and maximum frequency of oscillation of 160 GHz in RF characteristics.

#### I. 서론

일반적으로 밀리미터파 대역에서 PHEMT가 우수한 특성을 갖기 위해서는 소자의 에피구조 및 공정의 최적화가 이루어져야 한다. PHEMT의 제작에 있어서 소자의 고속 동작 특성을 평가하는 전류 이득 차단 주파수(current gain cut-off frequency)를 결정하는 주된

요인은 소자의 게이트 길이(gate length)라 할 수 있다. 일반적으로 게이트 길이가 작아질수록 소자의 주파수 특성은 향상되지만, 게이트 길이가 작아짐에 따라 게이트 단면적이 감소된다면 게이트 저항의 증가로 인해 전력이득 감소 및 잡음지수 증가 등의 특성 저하가 야기된다.

따라서, 작은 게이트 길이와 넓은 게이트 단면적을 갖는 T-게이트 (mushroom gate) 또는  $\Gamma$ -게이트 등의 제작 기술 개발은 필수적이다. T-게이트 또는  $\Gamma$ -게이트 등의 장점으로서는 좁은 접촉 면적으로 인한 낮은 캐패시턴스 및 낮은 leakage와 넓은 단면적으로 인한 작은 게이트 저항 등이다. 이러한 T-게이트 또는  $\Gamma$ -게이트 제작을 위하여 가장 일반적으로 사용되는 방법은 전자빔 묘화(electron beam lithography) 공정이다[1].

본 논문에서는 3층 구조의 레지스터와 이중 노광 방법을 사용하여  $C_{gd}$ 와 드레인 conductance를 감소시키기 위하여 비대칭적인 0.1  $\mu\text{m}$   $\Gamma$ -게이트 PHEMT를 제작하였다.

#### II. 비 대칭성 $\Gamma$ -Gate 및 PHEMT 제작

본 논문에서 사용한 전자선 묘화 장비는 Leica Microsystems Lithography 사의 EBPG 4HR 장비로서 표 1에 실험에 사용된 EBPG 4HR 장비 조건을 나타

내었다.

표 1. 실험에 사용된 EBPG 4HR의 조건

EBPG 4HR	
전자가속에너지(EHT)	50 kV
빔 전류(beam current)	1 nA
필드 크기(field size)	800 × 800 $\mu\text{m}^2$
빔 형태(beam shape)	가우시안(Gaussian)
노광방식(writing method)	벡터스캔(vector scan)
정렬도(overlay accuracy)	80 nm 이하

전자선 묘화 방법을 이용하여 0.1  $\mu\text{m}$ 의 선폭을 갖는 게이트를 형성하기 위하여 적정 Dose와 레지스트의 두께의 최적화가 필요하다. 레지스트의 두께가 증가함에 따라 전자의 forward scattering이 증가하여 현상되는 선폭도 증가하게 되므로 레지스트 두께를 줄여야만 원하는 선폭을 얻을 수 있다[2]. 그러나 전자선 묘화용 레지스트인 PMMA (PolyMethylMethAcrylate)만으로는 이와 같은 두께를 얻기가 힘들다. 따라서 본 논문에서는 이것을 해결하기 위해 PMMA와 MCB (Mono chlorobenzene)의 혼합용액을 이용하였다.

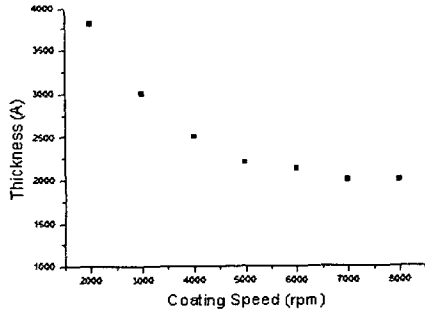


그림 1. Coating 속도에 따른 PMMA의 두께

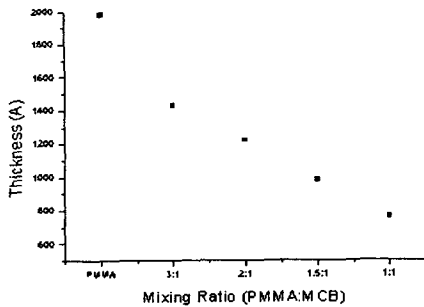


그림 2. PMMA와 MCB혼합비에 따른 두께

그림 1은 Coating 속도에 따른 PMMA의 두께를 나타낸 것으로 Coating 속도가 증가함에 따라 두께가 감소하지만 6000 rpm 이상에서는 거의 2000 Å에 머무는 것을 알 수 있다. 그림 2는 PMMA와 MCB혼합 비율에 따른 두께를 나타낸 것으로 MCB의 비율이 증가할수록 두께가 감소하는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 0.1  $\mu\text{m}$ 의 gate length를 위해 레지스트 두께 1000 Å인 PMMA와 MCB를 1.5:1로 혼합한 용액을 사용하였다.

$\Gamma$ -게이트의 제작에 앞서 재현성 있는 0.1  $\mu\text{m}$ 의 게이트 길이를 구현하기 위하여 dose와 현상시간에 따른 게이트 길이의 변화에 대한 실험을 통하여 공정조건을 확립하였다. Dose의 변화와 현상시간의 변화에 따른 현상된 선폭 변화 및 그 현상된 모양을 그림 3과 그림 4에 각각 나타내었다.

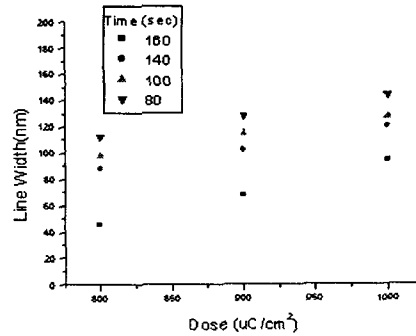


그림 4. Dose와 현상시간에 따른 Line Width

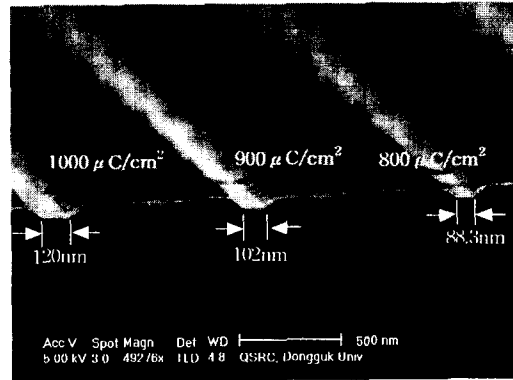


그림 4. Dose변화에 따른 현상모양(현상시간:140초)

Dose를 800에서 1000  $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 까지 100  $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 간격으로 노광된 웨이퍼를 MIBK(MethylIsoButylKetone)와 IPA (IsoPropylAlcohol) 1:3의 혼합액을 사용하여 현상 시간을 100초에서 160초까지 20초씩 변화시켜 현상하였다. Dose가 낮거나 높을 경우 원하는 선폭을 얻

전자선 묘화 장치를 이용한 비대칭적인 0.1  $\mu\text{m}$   $\Gamma$ -게이트 PHEMT 공정 및 특성에 관한 연구

기 힘들며, 현상시간이 짧을 경우 레지스트가 남게 되었다. 본 논문에서는 실험을 통하여 Dose 900  $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ , 현상시간 140초로 공정조건을 확립하였다.

PMMA/P(MMA/MAA)/PMMA:MCB의 3층 구조로 코팅된 레지스트를 오버행 구조로 만들고 또한 게이트의 머리를 크게하기 위해 각기 다른 현상액을 사용하여 선택적인 현상을 수행하였다[3].

게이트 머리를 결정하는 3층과 2층은 과도 현상(over development)을 이용한 방법을 사용하였다[4]. 60  $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 에서 105  $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 까지 15  $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 간격으로 노광 후 PMMA/P(MMA-MAA)에 대한 MCB의 Soaking 시간 및 Methanol과 IPA 혼합액에 대한 현상 시간을 변화시켰을 경우 최적의 조건은 90  $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 으로 노광 후 가장 위층인 PMMA는 MCB를 사용하여 12초간 soaking하고, 중간층인 P(MMA-MAA) (PolyMethylMethAcrylate and MethAcrylicAcid)를 Methanol과 IPA 1:1로 혼합한 용액을 사용하여 28초간 현상 것으로 그림 5에 나타내었다.

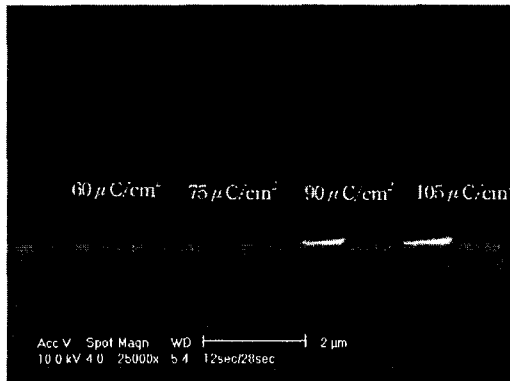


그림 5. Dose 변화에 따른 현상된 모양

위와 같은 단계를 확립 후 PHEMT를 제작하였다. 사용된 Epi-Structure는 그림 6과 같다.

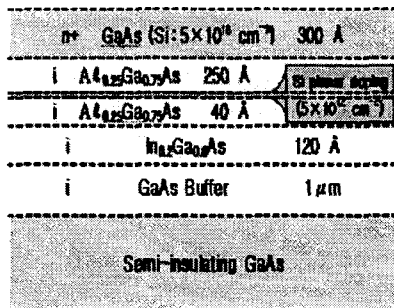


그림 6. PHEMT 제작에 사용된 Epi-Structure

소자간의 격리를 위해 황산과 과산화수소를 이용하여 Mesa를 형성하였다. 제작된 Mesa 위에 영상반전 방법을 이용하여 Ohmic pattern을 형성 후 열 증착기 (Thermal Evaporator)로 AuGe/Ni/Au를 각각 1200/300/1600 Å을 증착하였다. RTP(Rapid Thermal Process)를 이용하여 300/350  $^{\circ}\text{C}$ 에서 10초, 20초 2단계 alloy를 하여 측정된 ohmic 비저항은  $1 \times 10^{-7} \Omega\text{cm}^2$ 이다. 이렇게 형성된 ohmic metal에 별도의 recess pattern 없이 암모니아수와 과산화수소의 혼합액을 이용하여 recess를 수행하였다. PMMA/P(MMA-MAA)/PMMA:MCB의 3층 구조를 이용하여 게이트 pattern을 형성하여 Ti/Au의 게이트 금속을 각각 500/4500 Å 증착하였다. 마지막으로 소자의 외부 damage 및 특성저하를 막기 위해 Plasma Enhanced CVD(PECVD)를 이용하여  $\text{Si}_3\text{N}_4$  800 Å 쌓아 Passivation 하였다[4]. 길이 0.1  $\mu\text{m}$ 의  $\Gamma$ -게이트와 단위 게이트 폭 70  $\mu\text{m}$ , 게이트 핑거수 2개로 제작된 PHEMT의 SEM 사진을 그림 7과 그림 8에 각각 나타내었다.

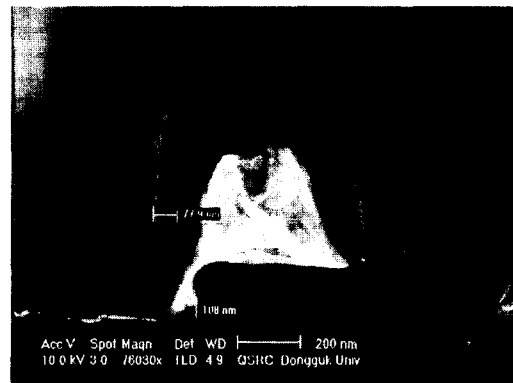


그림 7. 제작된 0.1  $\mu\text{m}$   $\Gamma$ -게이트의 SEM 사진

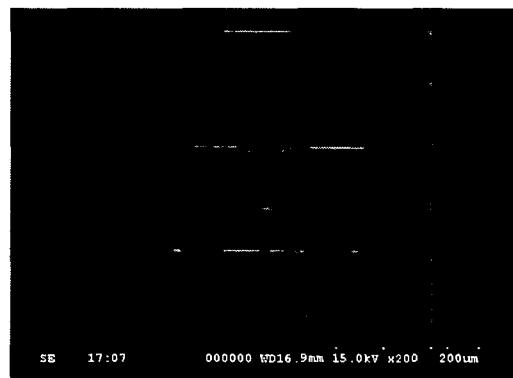
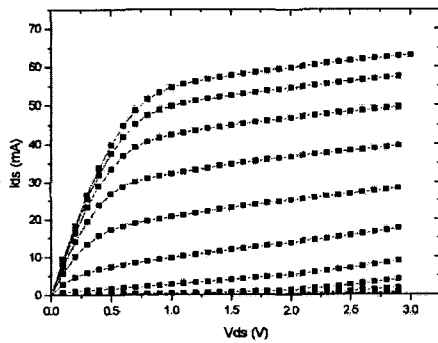


그림 8. 제작된 70  $\mu\text{m}$   $\times$  2 PHEMT의 표면 SEM 사진 (Lg=0.1  $\mu\text{m}$ )

표 2. 제작된 PHEMT 소자의 DC 및 RF 특성

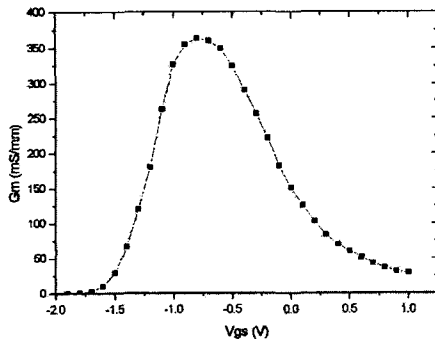
게이트 길이 ( $\mu\text{m}$ )		0.1
단위 게이트 폭 ( $\mu\text{m}$ )		70
게이트 핑거수 (개)		2
$I_{dss}$ (mA)		63
$V_p$ (V)		-1.75
$G_m$ (mS/mm)		363.6
$f_T$ (GHz)		106
$f_{max}$ (GHz)		160

표 2는 게이트 길이 0.1  $\mu\text{m}$ , 단위 게이트 폭 70  $\mu\text{m}$ 이고 게이트 핑거수가 2개로 제작된 PHEMT의 특성을 요약한 것이다. 또한 DC 특성 및 RF 특성을 그림 9와 그림 10에 각각 나타내었다. 제작된 PHEMT의 DC 특성은 HP4156A DC Parameter Analyzer로, RF 특성은 HP 8510C Vector Network Analyzer를 이용하여 측정하였다.



(a) PHEMT의  $I_{ds}$  vs.  $V_{ds}$  특성  
(70  $\mu\text{m} \times 2$ )

( $V_{gs} = -2.5 \sim 0 \text{ V}$ , step : 0.25 V)



(b) PHEMT의 전달 컨덕턴스 특성( $V_{ds} = 1 \text{ V}$ )

그림 9. 제작된 PHEMT의 DC 특성

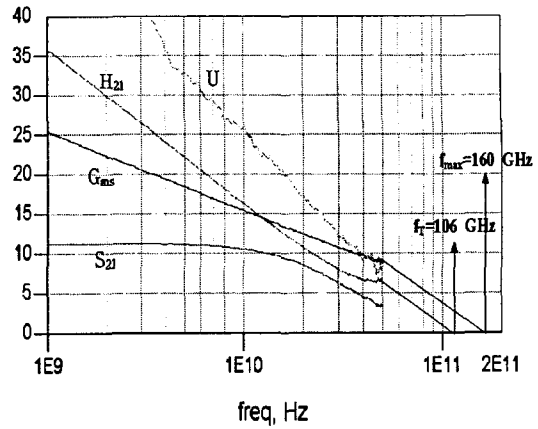


그림 10. 제작된 PHEMT의 RF 특성

### III. 결론

본 논문에서는 기존의 전자빔 묘화 방법에서 사용한 PMMA의 두께를 줄이기 위해 MCB와의 혼합액을 사용하여 레지스트의 두께를 줄이고, Dose split을 통하여 적절한 Dose 900  $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ , 현상시간 140초로 재현성 있는 0.1  $\mu\text{m}$  비 대칭성  $\Gamma$ -게이트를 제작하였다.

또한 0.1  $\mu\text{m}$ 의  $\Gamma$ -게이트 길이를 갖는 PHEMT를 제작하여 DC 특성으로는 드레인 포화 전류 63 mA, 핀치오프 전압( $V_p$ ) -1.75 V, 최대 전달 컨덕턴스( $G_m$ ) 363.6 mS/mm를 얻었으며, RF 특성으로는 전류이득 차단 주파수( $f_T$ ) 106 GHz, 최대 공진 주파수( $f_{max}$ ) 160 GHz를 얻었다.

### 참고 문헌

- [1] 최상수 외 4명 "PMMA/P(MMA/MAA) 구조에서 0.1  $\mu\text{m}$   $\Gamma$ -gate 형성을 위한 리소그래피 공정에 관한 연구", 한국재료 학회지 Vol. 5, No 1, 1995.
- [2] David R. *et. al.*, "Limits of Nano-Gate Fabrication" Proceeding of the IEEE, Vol. 79, No 8, August 1991.
- [3] Philip A. Lamarre, Developer Selection for  $\Gamma$ -Shape Gate FET's Using PMMA/P[MMA-co-MAA]/PMMA", IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 39, No 8, pp. 1844~1848, 1992.
- [4] 전병길, "0.2 $\mu\text{m}$   $\Gamma$ -게이트를 이용한 밀리미터파용 PHEMT의 제작에 관한 연구", 동국대학교 전자공학과 석사논문, 2000.

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