

# X-band용 MMIC 전력증폭기의 설계 및 제작에 관한 연구

이성대, 이호준, 이용호, 윤용순, 박현식\*, 이진구  
동국대학교 전자공학과 밀리미터파 신기술 연구 센터  
\* 한경대학교 전자공학과  
전화 : (02) 2260-3335 / 팩스 : (02) 2277-4796

## Studies on the Design and Fabrication of MMIC Power Amplifier for X-band

S. D. Lee, H. J. Lee, E. H. Rhee, Y. S. Yoon, H. S. Park and J. K. Rhee  
Millimeterwave INnovation Technology Research Center,  
Dept. of Elec. Eng., Dongguk Univ.  
\* Dept. of Elec. Eng., Hankyong Univ.  
E-mail : jkrhee@cakra.dongguk.ac.kr

### Abstract

In this paper, we have designed and fabricated a MMIC power amplifier for X-band using AlGaAs/InGaAs/GaAs PM-HEMTs and passive devices such as Ti thin film resistors, rectangular spiral inductors and MIM capacitors. The fabricated MMIC power amplifier for X-band shows that  $S_{21}$  and  $S_{11}$  are 14.804 dB and -29.577 at 8.18 GHz, respectively. The chip size is  $1.86 \times 1.29 \text{ mm}^2$ .

### I. 서론

현대에는 이동 통신의 수요의 증가에 따라 다양한 양질의 통신 서비스가 요구된다. 이러한 요구를 충족시키기 위해서는 주파수의 광대역화가 필요하고, 무선 통신 시스템의 개발도 병행되어 진행되어야 한다. 즉, 통신 시스템은 휴대의 편리성과 대중성을 위하여 부품의 소형화, 경량화 및 저가격화가 가능한 MMIC화 기술이 필요하다.

MMIC 기술이란 MESFET(Metal Semiconductor Field Effect Transistor), HBT(Heterojunction Bipolar Transistor), HEMT(High Electron Mobility Transistor) 및 PM-HEMT (Pseudomorphic HEMT) 등의 고전력, 저잡음 능동소자와 저항, 인덕터, 캐패시터 및 스트립 라인 등의 수동소자를 GaAs 또는 InP 등의 반절연 반도체 기판에 일괄공정으로 동시에 제작하는 통신용 부품 구현

기술이다.[1]

본 논문에서는 PM-HEMT 및 수동 소자를 제작하여 본 실험실에서 직접 만든 라이브러리로 활용하여 X-band (8~12 GHz)용 MMIC 전력증폭기를 설계 및 제작하였다.

### II. PM-HEMT 제작 및 측정

그림 1은 PM-HEMT 제작에 사용된 웨이퍼 구조이다. 소자의 항복 전압과 2DEG(2 Dimensional Electron Gas)의 전하 밀도를 높이기 위해  $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 의 Si planar doping 구조로 설계하였다.[2] PM-HEMT는 금속-반도체 접촉의 접촉 저항을 줄이기 위한 저 저항 오믹접촉 공정, 미세 게이트 형성을 위한 T-게이트 전자선 묘화(e-beam lithography) 공정 및 격리된 전극을 연결하기 위해 열적 증착법을 이용한 에어 브리지(air-bridge) 공정 등의 단위 공정들을 이용하여 제작되었다.[3]

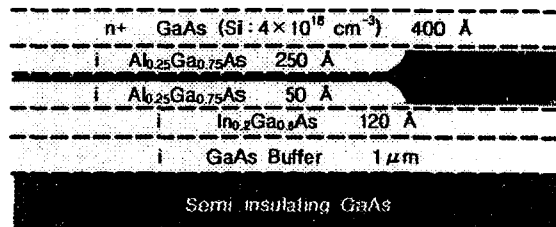
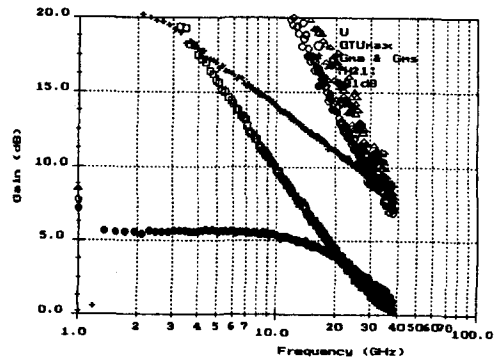


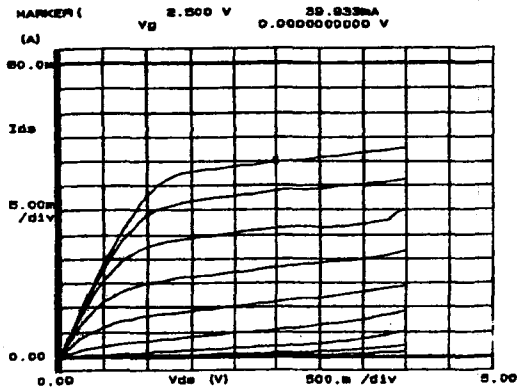
그림 1. PM-HEMT의 에피층 구조

그림 2는 게이트 길이가  $0.35\ \mu\text{m}$ 이고 단위 게이트 폭이  $40\ \mu\text{m}$ 이며 핑거 수가 4개인 PM-HEMT의 DC 및 이득 특성이다. 그림 2(a)에서 무릎 전압은  $1.3\ \text{V}$ , 핀치-오프 전압은  $-1.5\ \text{V}$ , 드레인 포화 전류는  $V_{gs} = 0\ \text{V}$  및  $V_{ds} = 2.5\ \text{V}$ 에서  $39.933\ \text{mA}$ 로 드레인 전류 밀도는  $249.58\ \text{mA/mm}$ 이다. 그리고, 그림 2(b)에서  $V_{gs} = -0.6\ \text{V}$  및  $V_{ds} = 2.75\ \text{V}$ 에서  $206.44\ \text{mS/mm}$ 의 최대 전달 컨덕턴스를 얻었다. 그림 2(c)는 이득 특성으로  $10\ \text{GHz}$ 에서의  $S_{21}$ 은  $5.04\ \text{dB}$ 이고 MAG(Maximum Available Gain)는  $13.7\ \text{dB}$ 를 얻었다. 또한, 전류 이득 차단 주파수( $f_T$ : current gain cut-off frequency)는  $35\ \text{GHz}$ 이고, 최대 공진 주파수( $f_{max}$ : maximum oscillation frequency)는  $60\ \text{GHz}$ 이다.

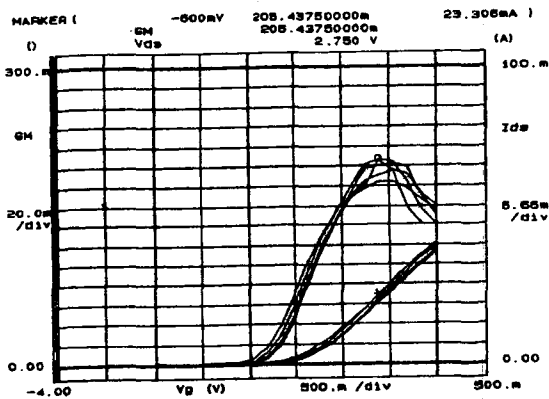


(c) 이득특성

그림 2.  $40\ \mu\text{m} \times 4$  PM-HEMT의 DC 및 이득 특성



(a) 전류-전압 특성



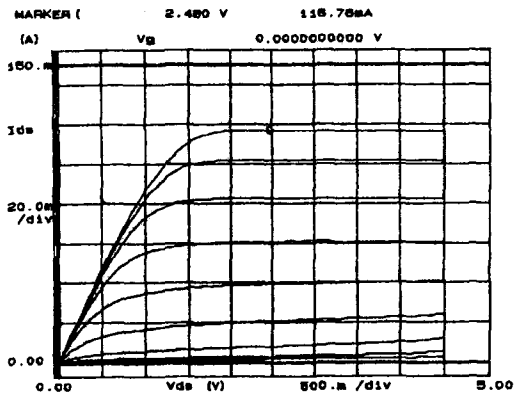
(b) 전달 컨덕턴스 특성

그림 3은 게이트 길이가  $0.35\ \mu\text{m}$ 이고 단위 게이트 폭이  $80\ \mu\text{m}$ 이며 게이트 핑거 수가 8개인 소자의 DC 및 이득 특성이다. 그림 3(a)에서 무릎 전압은  $1.5\ \text{V}$ , 핀치-오프 전압은  $-1.75\ \text{V}$ , 드레인 포화 전류는  $V_{gs} = 0\ \text{V}$  및  $V_{ds} = 2.45\ \text{V}$ 에서  $116.76\ \text{mA}$ 로 드레인 전류 밀도는  $182.44\ \text{mA/mm}$ 를 얻었다. 그리고, 그림 3(b)에서  $V_{gs} = -0.8\ \text{V}$  및  $V_{ds} = 2.75\ \text{V}$ 에서  $128.52\ \text{mS/mm}$ 의 최대 전달 컨덕턴스를 얻었다. 그림 3(c)는 이득 특성으로  $10\ \text{GHz}$ 에서의  $S_{21}$ 은  $11.3\ \text{dB}$ , MAG는  $15.5\ \text{dB}$ , 전류 이득 차단 주파수는  $48\ \text{GHz}$ , 최대 공진 주파수는  $65\ \text{GHz}$ 이다.

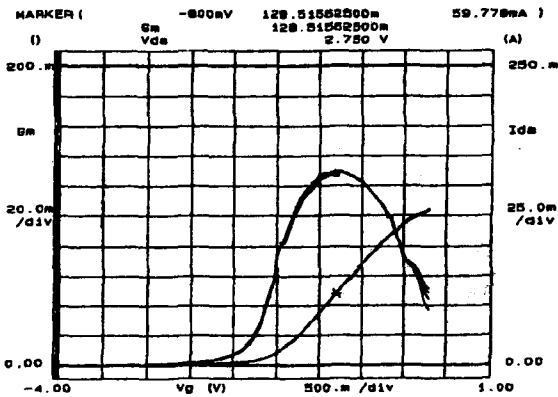
### III. 수동 소자의 설계 및 제작

본 논문에서 전력 증폭기의 정합 및 바이어스 회로에 사용되는 수동 소자를 설계 및 제작하였다. 수동 소자의 설계 범위는  $1 \sim 18\ \text{GHz}$ 이고, 모든 수동 소자의 설계 파라미터는 GaAs의 두께를  $100\ \mu\text{m}$ , 비유전율을  $12.9$ , loss tangent를  $0.003$  및 마이크로 스트립 라인의 두께를  $1.2\ \mu\text{m}$ 로 하는 공통조건으로 설계하였다. 또한, 캐패시터의 경우에는  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 의 두께를  $2000\ \text{\AA}$ , Ti 금속 저항의 경우에는 금속의 두께를  $900\ \text{\AA}$ 로 금속선의 폭은  $5\ \mu\text{m}$ 와  $10\ \mu\text{m}$ 로 설계하였다.

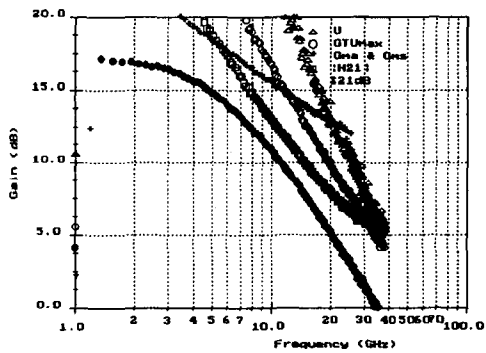
설계된 수동 소자는 그림 4의 공정 순서에 의해 제작되었으며 소자의 측정 결과를 표 1에 나타내었다.



(a) 전류-전압 특성



(b) 전달 컨덕턴스 특성



(c) 이득특성

그림 3. 80  $\mu\text{m}$   $\times$  8 PM-HEMT의 DC 및 이득 특성

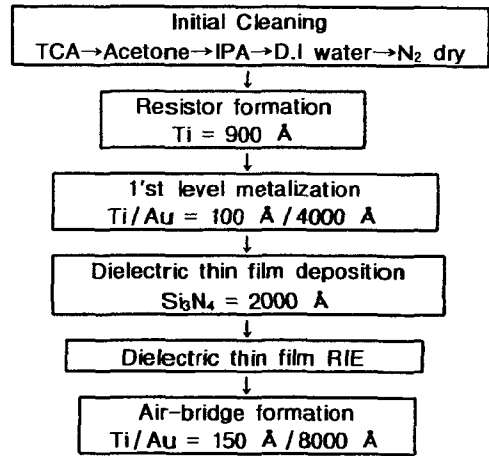


그림 4. 수동 소자 공정 순서

표 1. 수동 소자 측정 결과

소자	측정범위 (GHz)	측정값
인덕터	1 ~ 18	0.2 ~ 5 nH
캐패시터	1 ~ 18	0.1 ~ 38.5 pF
저항	1 ~ 18	선폭 5 $\mu\text{m}$ 87 ~ 2235 $\Omega$
	1 ~ 18	선폭 10 $\mu\text{m}$ 91 ~ 1581 $\Omega$

#### IV. X-band용 MMIC 전력증폭기의 설계 및 제작

본 논문에서 제작된 PM-HEMT와 수동 소자를 이용하여 X-band용 MMIC 전력증폭기를 설계하였다. 입력단에는 40  $\mu\text{m}$   $\times$  4 게이트의 PM-HEMT를, 출력단에는 80  $\mu\text{m}$   $\times$  8 게이트의 PM-HEMT를 사용하였으며, 회로 정합은 Conjugate matching 방법을 사용하였다.[4] 그림 5는 설계된 MMIC 전력증폭기의 회로도이고, 그림 6은 시뮬레이션 결과로 10 GHz에서  $S_{21}$ 은 17.4 dB,  $S_{11}$ 은 -21.9 dB의 결과를 얻었으며, 안정도 백터 K값은 4.2의 결과를 얻었다.

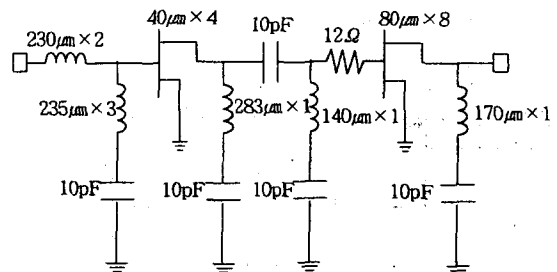


그림 5. MMIC 전력증폭기의 회로도

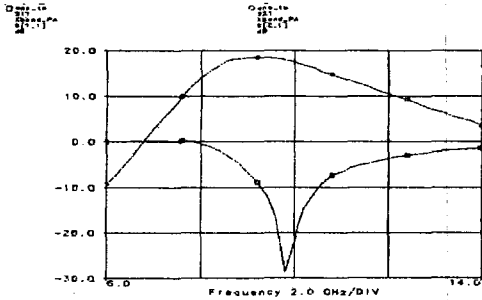


그림 6. 시뮬레이션 결과

### V. MMIC 전력증폭기 제작

MMIC 전력증폭기를 제작하기 위하여 설계된 회로의 마스크 레이아웃을 하였으며, 설계된 마스크의 수는 총 7장이고, 칩 크기는  $1.86 \times 1.29 \text{ mm}^2$ 이다.

그림 7은 제작된 MMIC 전력증폭기의 표면사진이며, 그림 8은 제작된 MMIC 전력증폭기의 소신호 이득 특성을 측정된 것으로 8.18 GHz에서  $S_{21}$ 은 14.804 dB이고,  $S_{11}$ 은 -29.577 dB를 얻었다.

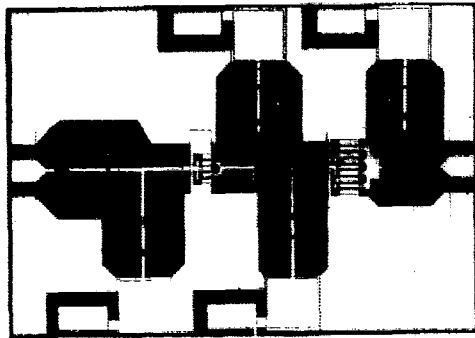


그림 7. MMIC 전력증폭기의 표면사진

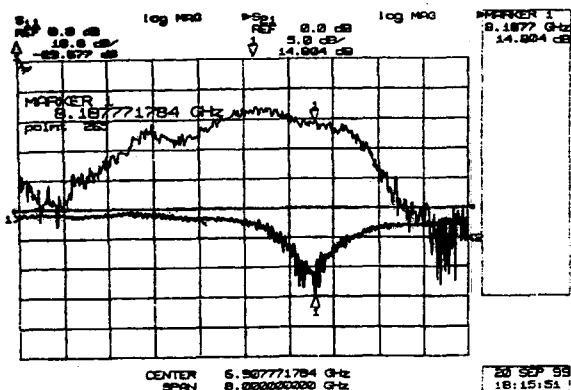


그림 8. 측정된 이득 특성

### VI. 결 론

본 논문에서는 X-band용 MMIC 전력증폭기를 설계 및 제작하기 위하여 PM-HEMT 및 수동 소자를 제작 하였다.

입력단에  $40 \mu\text{m} \times 4$  게이트의 PM-HEMT를, 출력단에  $80 \mu\text{m} \times 8$  게이트의 PM-HEMT를 MMIC 전력증폭기 설계에 사용하였다. 또한 제작된 수동 소자를 conjugate matching 방법을 사용한 정합 회로에 사용하였다. 설계된 MMIC 전력증폭기의 시뮬레이션 결과, 10 GHz에서  $S_{21}$ 은 17.3 dB,  $S_{11}$ 은 -21.9 dB 그리고 안정도 백터 K값은 4.2를 얻었다

총 7장의 마스크를 사용하여 제작된 MMIC 전력증폭기의 칩 크기는  $1.86 \times 1.29 \text{ mm}^2$ 이고, 얻어진 주파수 특성은 8.18 GHz에서  $S_{21}$ 이 14.804 dB이고,  $S_{11}$ 이 -29.577 dB이다

공정 단계의 안정도를 향상시켜 소자 및 MMIC의 재현성과 신뢰도를 향상시키는 기술이 필요하다. 또한 습득된 연구 결과는 광대역의 밀리미터파 대역에서 동작 가능한 통신용 부품 개발에 기반이 될 것임을 확신 한다.

### Reference

- [1] Don Renkowitz, "Satellite Systems For Cellular Telephones," IEEE MTT-S Digest, pp. 1619-1621, 1994.
- [2] Dong-Ho Jeong, "DC and AC characteristics of AlGaAs/GaAs quantum-well delta-doped channel FET grown by LP-MOCVD," IEEE Electron Devices Letters, vol. 13, no. 5, May, 1992.
- [3] 이진구, "열적 증착법을 이용한 Air-Bridge 제작과 그 응용에 관한 연구", 대한전자공학회지 제 33권 A편, PP. 53-58, 1996년 12월
- [4] Guillermo gonzalez, Microwave transistor amplifier analysis and design , p. 240, Prentice-Hall, 1990

※ 이 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 우수연구센터(MINT)의 지원에 의한 연구 결과임