

PHEMT소자를 이용한 K-band MMIC 발진기 설계

이지철, 채연식, 조희철, 윤용순, 이진구
동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터
전화 : (02) 2260-3335 / 팩스 : (02) 2277-4796

K-band MMIC Oscillator Design Using the PHEMT

J. H. Lee, Y. S. Chae, H. C. Cho, Y. S. Yoon, J. K. Rhee
Millimeter wave INnovation Technology Research Center, Dongguk University
E-mail : jkrhee@dgu.ac.kr

Abstract

An MMIC oscillator operating at the 24.55 GHz has been designed using 0.2 μm AlGaAs/InGaAs/GaAs Pseudomorphic HEMT technology.

The active device used in the oscillator design has a 0.2 μm gate length PHEMT with $4 \times 80 \mu\text{m}$ gate width. We obtained 4.08 dB of S_{21} gain and 317 mS/mm of transconductance, and extrapolated unit current gain cut-off frequency (f_T) and maximum oscillation frequency (f_{max}) were 62 GHz and 120 GHz, respectively.

The circuit are based on a series feedback and negative resistance topology. Microstrip line open stub is used to terminating. The oscillator circuits has designed for delivering maximum power to load and conjugated matching. The simulated small signal negative resistance was 50 Ω . We obtained 1.002 of loop gain and 0.0005° angle from the simulation by HP libra 6.1. The layout for oscillator is $1.2 \times 1.8 \text{ mm}^2$.

I. 서론

전세계적으로 FTTH(Fiber-To-The-Home)에 의한 장기적인 초고속 통신망 구축계획이 경제성 문제로 지연됨에 따라 초고속화를 위한 점진적인 망진화 전략이 필요하게 되었다. 최근 기술발전예 따라 경제적 타당성이 있는 B-WLL의 RF처리기술, 상하향 신호분리

기술, 무선신호 변복조기술 등에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 본 실험실에서 제작하고, 분석한 PHEMT소자를 사용하여 BWLL(Broadband Wireless local loop)대역에서 작동하는 발진기를 설계하였다.

PHEMT는 DC 및 RF 특성을 향상시키기 위해서는 n+ GaAs 캡층, single delta doped AlGaAs 도우너층, 채널층 그리고 버퍼층으로 구성된 GaAs/AlGaAs/InGaAs/GaAs 구조의 에피층 웨이퍼를 사용하여 단위 소자로 설계하고 MMIC 발진기의 기본소자로 활용하였다[1~2]. 발진기는 직렬 feedback 방식을 사용하여 negative resistance 회로 형태로 설계하였다. Micro strip line을 resonator로 사용하였고 road 단에 최대 전력을 전달하기 위해 부성저항의 1/3값을 갖는 부하 저항으로 설계하였고 conjugated 정합 기법을 사용하였다.

II. PHEMT 능동 소자 제작

설계에 사용된 PHEMT의 구조를 그림 1에 도식하였다. 게이트 길이는 0.2 μm , 단위 게이트 폭은 80 μm , 핑거수는 4개이고, 소오스 드레인 간격을 3 μm 로 하여 공정 오차를 최소화하도록 하였다. MMIC 발진기를 제작하기 위하여 3" GaAs/AlGaAs/InGaAs/GaAs 웨이퍼를 MBE 방식으로 성장·사용하였다. 적용된 공정은 E-beam을 이용한 0.2 μm 급 wide-head T-gate 공정 AuGe를 이용한 저 저항 오믹공정, 격리된 소오스 전극을 상호 연결하기 위한 air-bridge 공정과 후면 lapping 공정 그리고 소오스-via 공정 등이다. 게이트

의 저항을 줄여 소자의 주파수특성을 개선 할 수 있도록 wide-head 형태의 T-게이트를 PMMA계열의 레지스트를 사용하여 E-beam 공정으로 제작하였다.

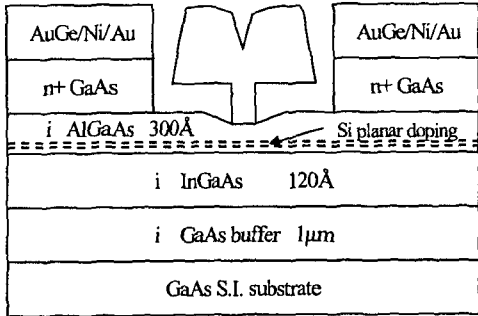


그림 1. PHEMT의 구조

단위소자 및 MMIC 발진기의 thermal 특성과 주파수 특성을 개선하기 위하여 backside Lapping 공정으로 웨이퍼의 두께를 100 µm로 얇게 한 후 소오스 전극의 인덕턴스와 ground 라인으로 인한 특성 감쇠 현상을 최소화하기 위하여 35 µm의 Via-hole 공정을 BCl₃ 가스를 사용한 RIE 공정을 수행한 후 1 µm 두께로 Ti/Au 금속을 증착하였다.

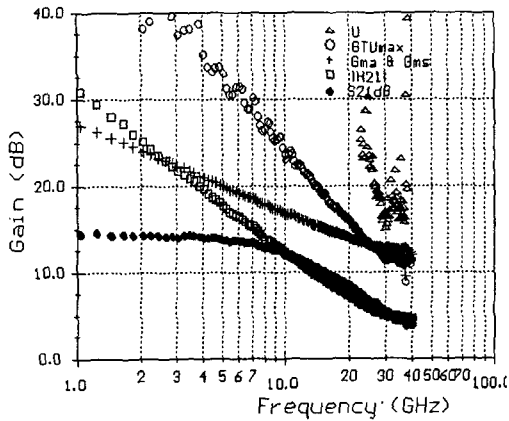


그림 2. PHEMT의 이득특성

그림 2에 나타낸 80 µm × 4 PHEMT의 이득 특성으로부터 외삽하여 얻어진 전류이득차단주파수와 최대 공진주파수는 62 Hz와 120 GHz이다. 또한 측정된 그림 3의 데이터로부터 최대전달컨덕턴스는 -1.0V의 Vgs에서 317 mS/mm를 얻었다. 제작된 PHEMT의 사

진을 그림 4에 나타내었다

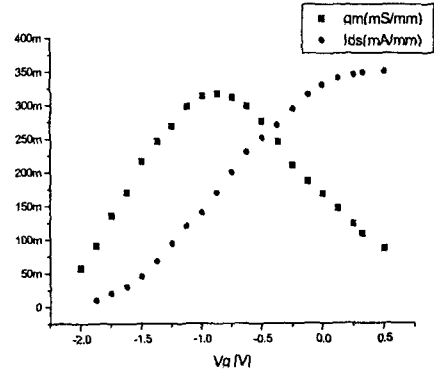


그림 3. 전달 컨덕턴스 특성

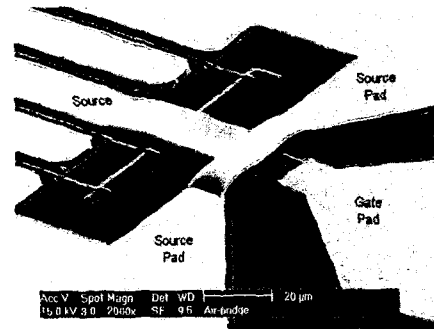


그림 4. 제작된 PHEMT의 표면 SEM 사진

III. 발진기 설계

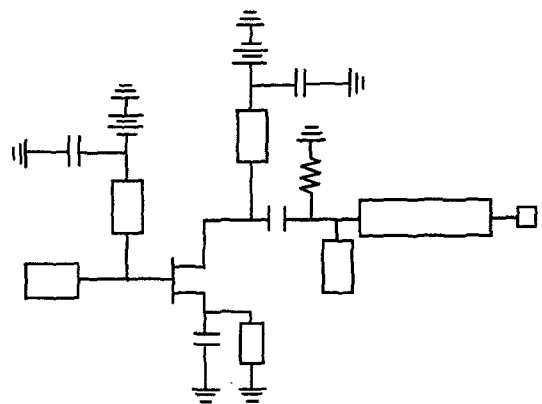


그림 5. 발진기 회로도

그림 5는 발진기의 회로도이다. 공진회로는 그림 6의 안정도 원에서 불안정한 영역의 임피던스를 계산하여 특성임피던스가 50 Ω인 microstrip line를 사용하였다[3].

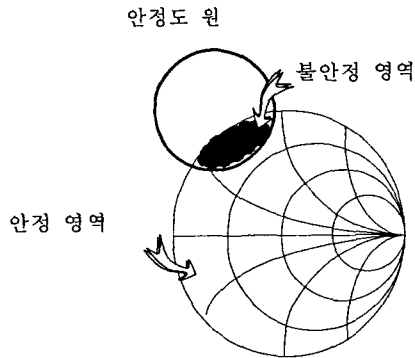


그림 6. 안정도 원의 조건불안정 영역 표기도

부성저항을 이용하기 위해 current carrying element인 직렬 feedback을 사용하였다[4]. 표 1과 같이 feedback에 사용된 capacitance가 작아질수록 부성저항의 절대값은 증가하기 때문에, 공정 library를 고려하여 0.24 pF로 설계하였다. Capacitor와 병렬로 연결되는 microstrip line을 DC bias line로 사용하였으며, DC bias line의 길이를 λ/4로 설계하여 회로에 주는 영향을 최소화하였다[5]. 시뮬레이션 결과로 S11은 49 dB, 부성저항 값은 50 Ω을 얻었다.

표 1. Feedback capacitor와 부성저항의 크기

C(pF)	0.18	0.2	0.22	0.24	0.26
R ₀ (Ω)	67	58	54	50	45

식 (1)의 발진기의 초기조건과 같이, 부성저항 R₀의 절대값이 부하 저항 R_L보다 큰 값을 갖고 있으면 신호는 loop를 돌아 계속 증가한다. 이러한 현상은 부성저항(절대값)의 비선형 특성으로 인하여 안정된 값을 가질 때까지 진행된다[4]. 발진기의 출력이 최대가 되는 조건인 식 (2)를 만족시키기 위하여 R_L은 17 Ω으로 정하였다[3].

$$|R_0| > R_L \text{ ----- (1)}$$

$$R_L = \frac{|R_0|}{3} \text{ ----- (2)}$$

출력단은 conjugated 정합기법으로 특성임피던스 50 Ω의 microstrip open stub와 특성임피던스의 값이 134 Ω이며 길이가 λ/4인 microstrip line으로 정합하였다.

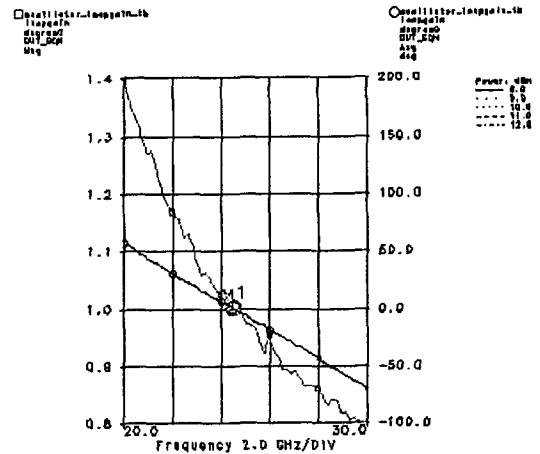


그림 7. loop gain의 절대값과 각도

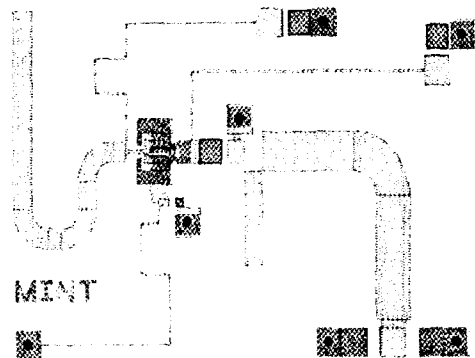


그림 8. 24.55 GHz 발진기 layout

시뮬레이션은 HP libra ver. 6.1을 사용하였고 중심 주파수 24.55 GHz에서 loop gain의 절대값은 1.002, 그 각도는 0.0005°를 얻었고 그림 7에 결과를 나타내었다. 설계된 발진기 제작을 위하여 총 8장의 mask를 설계하고 layout 하였다. 그림 8은 설계된 회로의 layout이며, 칩 면적은 1.2×1.8 mm²이다.

IV. 결론

밀리미터파 PHEMT를 single Si planar doping층을 갖는 GaAs/AlGaAs/InGaAs/GaAs epi 웨이퍼를 사용하여 제작하고 24.55 GHz에서 동작하는 발진기의 능동소자 라이브러리로 활용하였다. 제작된 PHEMT의 주파수 특성은 동작 주파수 35 GHz에서 4 dB 이상의 S_{21} 이득과 317 mS/mm의 최대 전달컨덕턴스 그리고 62 GHz의 차단주파수와 120 GHz의 최대 공진 주파수를 얻었다. 설계한 발진기는 S_{11} 이 49 dB이고, 부성저항은 50Ω 이며, 최대 전력을 전달할 수 있도록 17Ω 의 저항을 단 후 conjugate 정합 방법으로 출력단을 정합하였다. 이 발진기는 loopgain $1.002 \angle 0.005^\circ$ 로 안정적인 발진조건을 만족하였다. Layout 된 칩의 크기는 $1.2 \times 1.8 \text{ mm}^2$ 이다.

참고문헌

- [1] 이일형, "PM-HEMT를 이용한 MMIC 전력증폭기 설계 및 제작에 관한 연구", 동국대학교 대학원 박사학위논문, 1999.
- [2] P.M. smith, W.F. kopp et al, "Ku-band high efficiency high gain pseudomorphic HEMT," Electron letter., vol.27, no. 3, pp. 270~271, 1991.
- [3] Guillermo Gonzalez, "Microwave Transistor Amplifiers analysis and design", Prentice Hall. 1997
- [4] Allen A. Sweet, "MIC & MMIC Amplifier and Oscillator Circuit Design ", Artech House. 1990
- [5] Mourad AHDJOUF, Ali BOUDIAF, Pierre POUVIL, "K-Band Monolithic VCO Using PHEMT Technology", Gallium Arsenide Application Symposium GAAS'96, 5-7, June 1996.
- [6] I.D. Robertson, "MMIC Design", IEE circuit and systems series7 . 1995

※ 본 연구는 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구 센터를 통한 한국과학재단의 우수연구센터 지원금에 의하여 수행되었습니다.