

DC~25 GHz MMIC Distributed Amplifier의 설계

배현철, 홍주연, 박덕수, 김성찬, 안 단, 채연식, 이진구, 윤용순, 김용호*
동국대학교 전자공학과 반도체 및 집적회로 연구실
* 배재대학교 컴퓨터·전자·정보공학부
E-mail : jkrhee@cakra.dongguk.ac.kr

Design of a MMIC Distributed Amplifier for DC to 25 GHz

H. C. Bae, J. Y. Hong, D. S. Park, S. C. Kim, D. An, Y. S. Chae, J. K. Rhee,
Y. S. Youn and Y. H. Kim
S & IC Lab., Dept. of Elec. Eng., Dongguk Univ.
* Dept. of EE. PAI CHAI Univ.

Abstract

In this paper, a wideband MMIC distributed amplifier was designed using the fabricated PHEMT with the unit gate width of 80 μm and 4 gate fingers at our Lab. S_{21} gains are 7.1~10.0 dB. Input and output reflection coefficients obtained from the distributed amplifier in the frequency range of DC~25 GHz are lower than -8 dB. A chip size of the designed wideband MMIC distributed amplifier is 1.9 mm \times 1.1 mm.

1. 서 론

이동통신 서비스가 확대됨에 따라 초고주파 특성이 우수한 반도체소자 및 통신 부품의 개발이 필수적이며 초고주파 대역의 통신 부품을 개발하기 위한 핵심 기술의 하나가 초고주파 단일칩 집적회로인 MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuits) 기술이다.

특히 특정 주파수 대역에만 사용 가능한 부품이 아닌 넓은 주파수 영역에서 동작하는 광대역 증폭기에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 광대역 특성을 갖는 증폭기의 경우 많은 종류가 있지만 distributed amplifier의 경우 매우 넓은 대역폭을 갖는 증폭기 설계가 가능하

며 PHEMT로 설계 제작할 경우 50GHz 이상의 초광대역 특성을 가질수 있다.[1]

본 논문에서는 자체 공정으로 PHEMT를 설계 제작하여 라이브러리를 구축한 후 이를 이용하여 25 GHz 이상의 대역폭을 갖는 distributed amplifier를 설계하였다. 또한 MMIC distributed amplifier 설계시 게이트 단에 직렬로 캐패시터를 추가하여 대역폭을 더욱 확장하였다.

2. Distributed Amplifier의 설계를 위한 PHEMT 제작 및 특성

PHEMT 제작에 이용된 에피층 구조는 4 x 10¹⁸ cm⁻³의 도핑농도를 갖는 n+ GaAs 캡층, AlGaAs 도우너층, 채널층 및 누설전류등의 기생성분을 차단하기 위한 버퍼층(Buffer layer) 등을 갖도록 설계하였다. AlGaAs 도우너층은 Al 물분율을 및 두께를 각각 25% 및 300Å으로 설계하였다. 또한, 높은 면전하밀도와 항복전압 특성을 위해 spacer 층의 바로 위에 Si를 5x10¹²cm⁻²로 높게 도핑하는 delta doping 구조로 설계하여 MBE로 성장하였다.[2-3]

상기의 웨이퍼 위에 PHEMT를 제작하였다. PHEMT 제작에 이용된 단위공정으로는 E-beam을 이용한 0.35 μm T-gate 공정, 격리된 다수의 소오스 전극을 상호 연결하기 위한 air-bridge 공정, 소오스 및 드레인 전극의 접촉

저항을 줄이기 위한 오믹 공정 및 제작된 PHEMT의 열 방출과 마이크로스트립 라인의 유전체로 사용하기 위해 GaAs 기판을 100 μm 두께로 얇게하는 back-side lapping 공정 등이다. [4]

PHEMT는 제작한 후 HP 4156A 로 DC 특성을 HP 8722A로 RF 특성을 측정하였다.

그림 1은 MMIC distributed amplifier 설계에 사용된 게이트 길이가 0.35 μm 이고 단위 게이트 폭이 80 μm , 핑거수가 4개인 PHEMT의 이득 특성으로 f_T 및 f_{max} 는 44 GHz 및 70 GHz 이상을 얻었다. 표 1에 PHEMT의 특성을 요약하였으며 그림 2는 제작된 PHEMT의 표면사진이다.

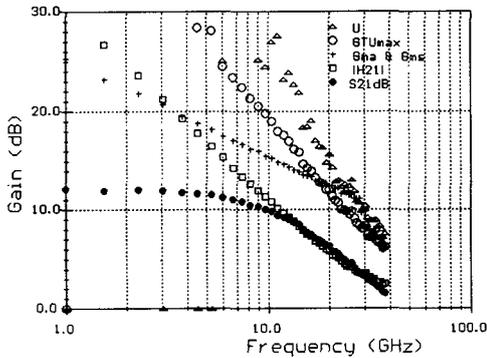


그림 1. PHEMT의 이득 특성

표 1. Distributed amplifier 설계에 사용된 PHEMT의 DC 및 RF 특성

파라메타	소자
게이트 길이 (μm)	0.35
단위 게이트 폭 (μm)	80
게이트 핑거수 (개)	4
I_{dss} (mA)	78
V_p (V)	-1.5
V_k (V)	1.2
g_m (mS/mm)	199
f_T (GHz)	>44
f_{max} (GHz)	>70

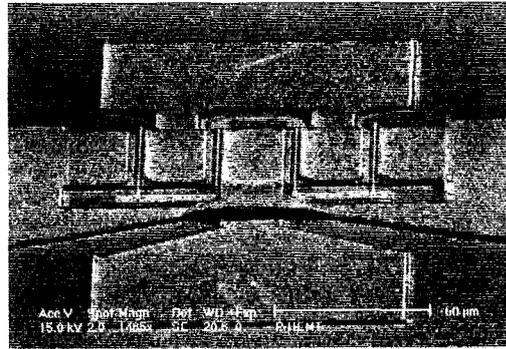


그림 2. 제작된 PHEMT의 SEM 사진(80 μm \times 4)

3. Distributed amplifier의 설계

Distributed amplifier의 동작영역은 FET의 게이트 캐패시턴스와 게이트 및 드레인 라인의 인덕턴스에 의해 결정되며 차단주파수는 다음과 같이 나타낼수 있다. [5]

$$f_c = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}$$

위 식에서 distributed amplifier의 경우 입력 게이트 캐패시턴스 값이 작을 경우 높은 차단주파수를 가지게 된다. 따라서 2개의 캐패시터를 직렬로 연결할 경우 전체 캐패시턴스 값이 작아지게 되므로 게이트 앞단에 캐패시터를 추가하여 차단주파수를 향상시킬 수 있다. [6]

본 연구에서 제작된 PHEMT의 경우 측정된 S-파라메타를 이용하여 입력 어드미턴스를 계산한 결과 게이트 입력 캐패시턴스가 1.93pF로 계산되었으며 게이트 앞단에 직렬로 1pF의 캐패시터를 추가하여 게이트 캐패시턴스 값이 0.65pF가 되게하였다. 또한 게이트단에 바이어스를 위해 100 Ω 의 저항을 캐패시터와 병렬로 연결하였다.

Distributed amplifier는 제작된 PHEMT의 소신호 S-파라메타를 이용하여 설계하였으며 4개의 PHEMT를 사용하여 4 section으로 설계하였다. 게이트와 드레인 라인의 경우 초기 설계시 집중형 소자를 사용하여 설계한 후 아래의 식을 이용하여 마이크로 스트립라인 형태로 전환하였다. [7]

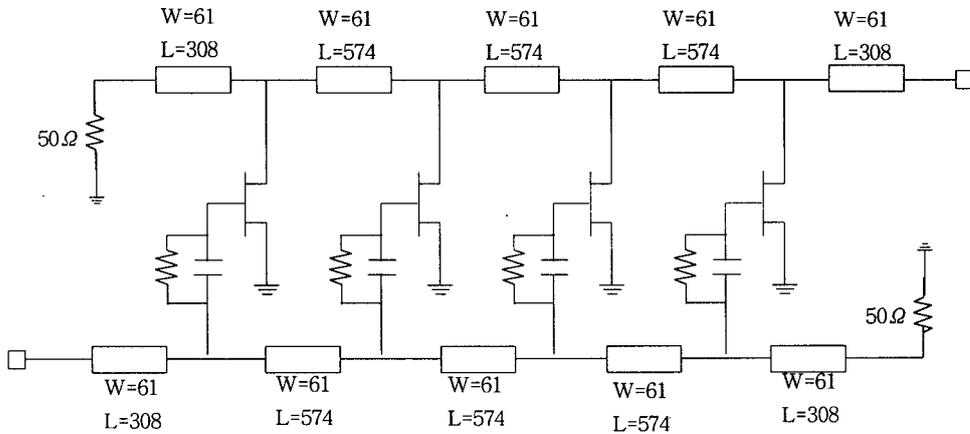


그림 3. MMIC Distributed Amplifier의 회로도

$$l_L = \frac{\lambda_{eff}}{2\pi} \tan^{-1}(\omega L/Z_0)$$

마이크로 스트립라인은 Libra에 내장된 라이브러리를 이용하였으며 GaAs의 유전율 12.9, 유전체 두께 100 μ m, metal 두께 1.2 μ m로 설정한 후 설계하였다.

그림 3에 집중형 소자를 마이크로스트립 라인 형태로 전환한 후 Libra에서 최적화하여 완성된 MMIC distributed amplifier의 회로도를 나타내었다.

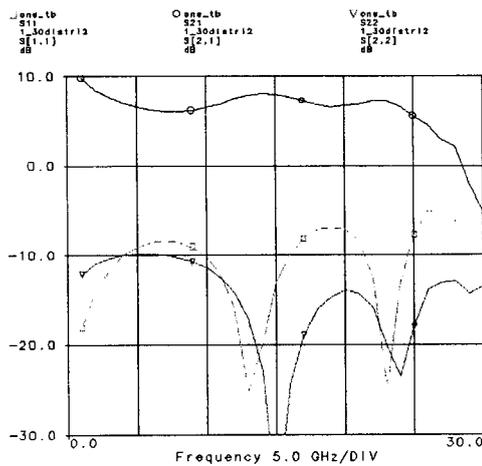


그림 4. Distributed Amplifier의 설계 결과

설계된 distributed amplifier의 시뮬레이션 결과 DC~25GHz의 주파수 영역에서 이득 7.1 dB~ 10.0 dB, 이득평탄도 ± 1.4 dB를 얻었으며, 입력 반사계수 S_{11} 과 출력 반사계수 S_{22} 는 전 대역폭에서 -8dB 이하의 시뮬레이션 결과를 얻었다

Distributed amplifier의 설계 결과 대역폭과 이득, 입력반사계수 및 출력반사계수는 양호한 값을 얻었으나 이득평탄도가 ± 1.0 dB이상으로 이득평탄도에 대한 개선이 필요할 것으로 분석되었다.

그림 4에 설계된 distributed amplifier의 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

4. Distributed Amplifier의 마스크설계

상기에서 설계된 distributed amplifier는 제작하기 위해 메사, 오믹, 1st 금속, 유전체 via, Air-bridge PR via, 2nd 및 air-bridge 금속 등 총 7장으로 마스크를 설계하였다.

Distributed amplifier의 제작은 PHEMT의 제작공정과 수동소자 제작공정을 통합하여 동시에 제작되도록 마스크를 설계하였다. 설계된 MMIC distributed amplifier의 마스크 레이아웃은 그림 5에 나타내었으며 distributed amplifier의 전체 칩 크기는 1.9mm \times 1.1mm이다

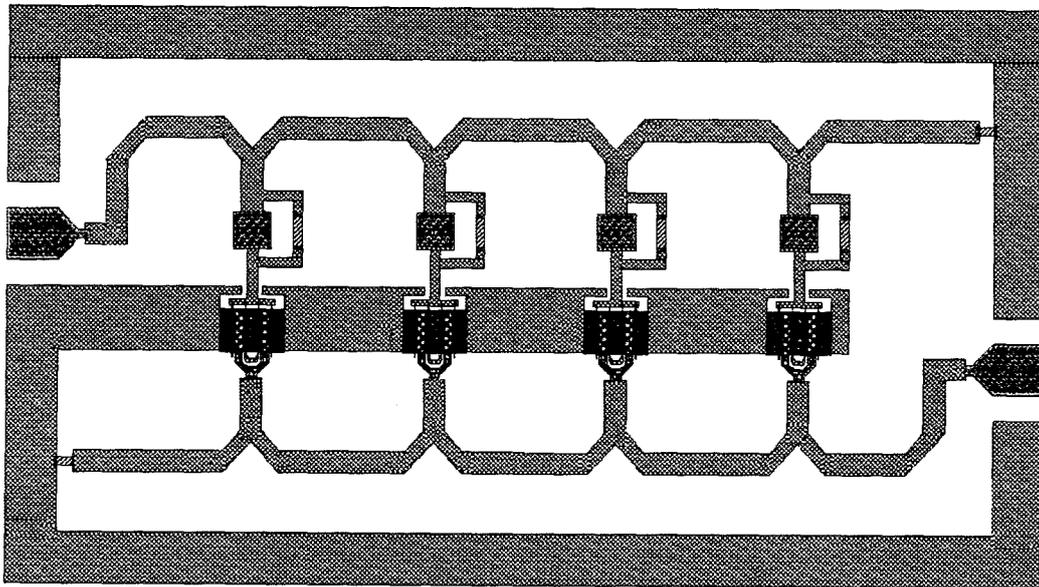


그림 5. Distributed amplifier의 마스크 레이아웃

5. 결 론

본 논문에서는 PHEMT를 설계, 제작하여 측정하였다. 측정결과 $80 \mu\text{m} \times 4$ PHEMT의 경우 f_r 및 f_{max} 는 44 GHz 및 70 GHz 이상을 얻을 수 있었다.

다음으로 제작된 PHEMT의 측정된 소신호 S-파라메타를 이용하여서 광대역 distributed amplifier를 설계하였으며 더욱 넓은 주파수 특성을 위하여 게이트 앞단에 1pF의 캐패시터를 직렬로 연결하였다. 설계된 MMIC distributed amplifier의 설계 결과 DC~25 GHz의 주파수 영역에서 이득 7.1 dB ~ 10.0 dB, 이득평탄도 ± 1.4 dB를 얻었으며, 입력 반사계수 S_{11} 과 출력 반사계수 S_{22} 는 전 대역폭에서 -8 dB 이하의 시뮬레이션 결과를 얻었다. 설계된 MMIC distributed amplifier는 총 7장으로 마스크를 설계하였으며 전체 칩 크기는 $1.9 \text{ mm} \times 1.1 \text{ mm}$ 이다.

본 논문에서 설계된 distributed amplifier는 매우 넓은 이득특성을 보여 25GHz까지의 주파수 영역의 무선 송수신 시스템에 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

參 考 文 獻

- [1] I. D. Robertson "MMIC DESIGN", pp. 193
- [2] P. M. Smith, W. F. Kopp, et al., "Ku-band high efficacy high gain pseudomorphic HEMT," Electron Letter., vol. 27, no 3, pp. 270~271, 1991.
- [3] E. F. Schubert et al., "The delta-doped field-effect transistors(δ -FET)," IEEE Transactions Electron Devices, vol. 33, no. 5, pp. 625~632, 1986.
- [4] 이진구의 4명, "0.35 μm T-gate Pseudomorphic HEMT 제작 연구", 대한전자공학회 추계종합 학술대회 논문집(B), 제 19권 제2호, pp. 1245-1248, 1996. 11.
- [5] I. D. Robertson "MMIC DESIGN", pp. 165
- [6] I. D. Robertson "MMIC DESIGN", pp. 187
- [7] Allen A. Sweet, MIC & MMIC Amplifier and Oscillator Circuit Design, Artech House, Inc., 1990