

V-band 용 고이득 저잡음 증폭기와 모듈 제작에 관한 연구

백용현*, 이복형, 안단, 이문교, 진진만, 고두현, 이상진, 임병옥, 백태종, 최석규, 이진구**
동국대학교 공과대학 전자공학과

Studies on the High-gain Low Noise Amplifier and Module Fabrication for V-band

Yong-Hyun Baek*, Bok-Hyung Lee, Dan An, Mun-Kyo Lee, Jin-Man Jin, Du-Hyun Ko,
Sang-Jin Lee, Byeong-Ok Lim, Tae-Jong Baek, Seok-Gyu Choi, Jin-Koo Rhee**

Electronics Engineering Department

Dongguk University

E-mail : *yhbaek@dgu.edu, **jkrhee@dgu.edu

Abstract

In this paper, millimeter-wave monolithic integrated circuit (MIMIC) low noise amplifier (LNA) for V-band, which is applicable to 58 GHz, we designed and fabricated. We fabricated the module using the fabricated LNA chips. The V-band MIMIC LNA was fabricated using the high performance $0.1 \mu\text{m}$ Γ -gate pseudomorphic high electron mobility transistor (PHEMT). The MIMIC LNA was designed using active and passive device library, which is composed $0.1 \mu\text{m}$ Γ -gate PHEMT and coplanar waveguide (CPW) technology. The designed V-band MIMIC LNA was fabricated using integrated unit processes of active and passive device. Also we fabricated CPW-to-waveguide fin-line transition of WR-15 type for module. The Transmission Line was fabricated using RT Duroid 5880 substrate. The measured results of V-band MIMIC LNA and Module are shown S_{21} gain of 13.1 dB and 8.3 dB at 58 GHz, respectively. The fabricated LNA chip and Module in this work show a good noise figure of 3.6 dB and 5.6 dB at 58 GHz, respectively.

I. 서론

정보화 사회로의 급속한 발전과 더불어 무선통신에 대한 수요가 급격히 증가함에 따라 새로운 개념의 무선 통신 시스템이 개발되고 있으며 전파이용 분야도 날로 확대되고 있다. 이러한 고도의 정보시대 도래로 인한 전송 정보량의 폭발적인 증가는 기존의 마이크로파 주

파수 대역만으로 대용량 정보 전송이 불가능하므로 30 GHz 이상의 밀리미터파가 차세대 무선 주파수 자원으로 부각되어 가고 있으며, 그에 따른 제반 기술 개발의 중요성이 증가되고 있다. 특히 V-band(50~75 GHz)인 60 GHz 대역은 산소분자의 강력한 신호 흡수 특성을 가지고 있어서 초 광대역 통신과 무선 LAN 등에 주로 응용되고 있다.[1]

이러한 밀리미터파 대역의 무선 통신 시스템을 구현하기 위한 필수적인 기술로 고도로 집적된 MIMIC (Millimeter-wave Monolithic Integrated Circuit)이 대두되고 있으며 우수한 주파수 특성, 재현성 및 대량 생산에 의한 소형화, 신뢰성 및 저가격화의 장점을 갖는다.

본 논문에서는 밀리미터파 대역에서 사용 가능한 PHEMT 와 CPW 구조를 이용하여 무선 LAN 에 응용할 수 있는 V-band MIMIC 저잡음 증폭기를 제작 및 분석하였다. 그리고 제작된 LNA 를 이용하여 모듈을 제작하여 분석하였다.

II. V-band MIMIC 저잡음 증폭기의 설계 및 제작

그림 1 에 V-band 저잡음 증폭기 설계에 사용된 PHEMT 의 에피구조를 나타내었다. $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ donor

layer 는 채널에서의 높은 면전하밀도와 항복전압 특성을 동시에 얻기 위해서 Upper spacer layer 위와 Lower spacer layer 아래에 Si 을 각각 5×10^{12} , $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 로 높게 도핑하는 Si delta doping 구조로 설계하였다.[2] 그리고 오믹 특성의 향상을 위하여 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 의 도핑 농도와 300 Å 의 두께로 n^+ GaAs 캡층(Cap layer)을 설계하였다.

그림 1 의 PHEMT 에피 구조는 상온(room temperature, 300 K)에서 $2.63 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 의 2-DEG sheet carry density 및 $6730 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 의 carrier mobility 를 나타내었다.

n^+ - GaAs Capping Layer	(Si: $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$)	300 Å
$\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ Donor Layer	undoped	250 Å
Si δ -doping	$5 \times 10^{12}/\text{cm}^2$	
$\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ Spacer Layer	undoped	45 Å
$\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ Channel Layer	undoped	120 Å
$\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ Spacer Layer	undoped	60 Å
Si δ -doping	$1 \times 10^{12}/\text{cm}^2$	
GaAs Super Lattice Buffer Layer($\times 10$)	undoped	2000 Å
GaAs Buffer Layer	undoped	5000 Å
S.I. GaAs substrate		

그림 1 PHEMT 에피 구조

설계된 에피층을 이용하여 $0.1 \mu\text{m}$ Γ -gate PHEMT 를 제작하였으며, DC 특성은 다음과 같다. 단위 게이트 폭이 $70 \mu\text{m}$ 이고 평거수가 2 개인 PHEMT 의 전류, 전압 및 전달컨덕턴스(g_m) 특성으로 핀치 오프 전압(V_p)은 -1.75 V , 드레인 포화전류(I_{dss})는 63 mA 로 $450 \text{ mA}/\text{mm}$ 의 전류 밀도 및 $363.6 \text{ mS}/\text{mm}$ 의 최대 전달컨덕턴스($g_{m, \text{max}}$) 를 나타내었다.

제작된 PHEMT 의 RF 특성은 Agilent 사의 8510C Vector Network Analyzer 와 4156A Precision Semiconductor Parameter Analyzer 를 이용하여 $45 \text{ MHz} \sim 50 \text{ GHz}$ 의 주파수 영역에서 측정하였다. 전류이득 차단주파수(f_T)는 113 GHz , 최대공진 주파수(f_{max})는 180 GHz 의 측정결과를 나타내었다.

V-band MIMIC 저잡음 증폭기의 설계에서 임피던스

정합을 위해 다양한 CPW 패턴을 설계, 제작하여 수동 소자 라이브러리를 구축하였다.

그림 2 는 PHEMT 및 CPW 라이브러리를 이용하여 설계된 V-band MIMIC 저잡음 증폭기의 회로도이다. 전체 회로는 2 단으로 구성되었으며, CPW 를 사용하여 정합회로를 구성하였다. 또한 저잡음 증폭기의 잡음특성의 향상을 위해 첫 번째 단계에 series feedback 을 사용하였으며, 광대역 특성을 얻도록 정합회로를 설계하였다. 설계된 전체 회로 패턴은 모멘텀 시뮬레이션을 이용하여 최적화를 수행하였다.

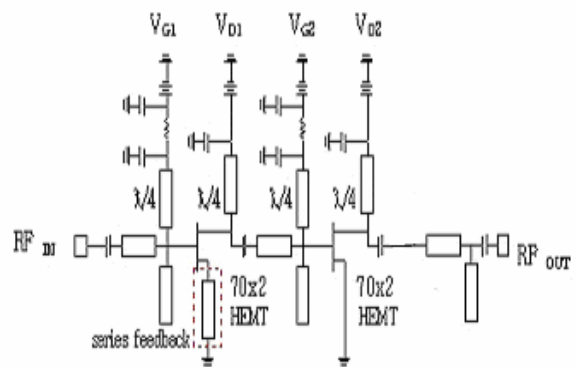


그림 2 V-band MIMIC 저잡음 증폭기의 회로도

설계된 V-band MIMIC 저잡음 증폭기는 연구실에서 사용하는 PHEMT MIMIC 공정 방법을 이용하여 제작하였다.[3,4] 그림 3 에 제작 공정 단계를 나타내었다. 그림 4 는 제작된 V-band MIMIC 저잡음 증폭기의 표면 사진이다.

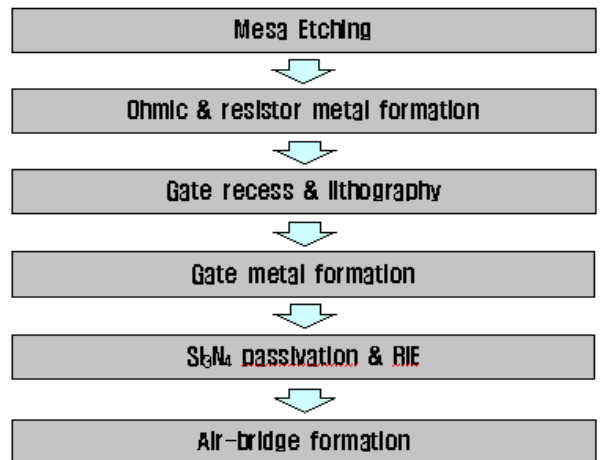


그림 3 V-band MIMIC 저잡음 증폭기의 제작 단계

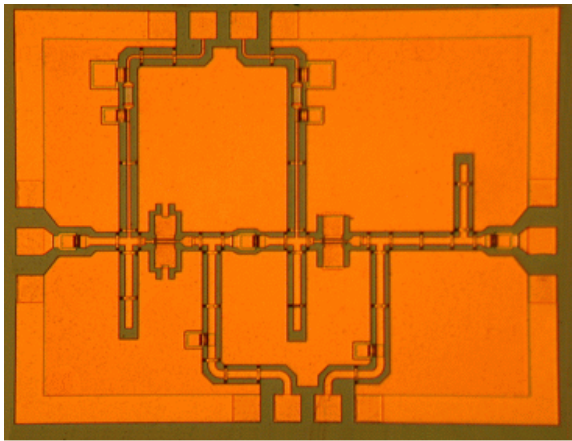


그림 4 V-band MIMIC 저잡음 증폭기의 표면 사진

III. V-band MIMIC 저잡음 증폭기의 모듈 제작과 특성 분석

모듈 제작을 위해서 본 논문에서는 먼저 V-band wireless transceiver 에 제작된 칩을 마운트(mount)하기 위해서 WR-15 형태의 CPW-to-waveguide fin-line transition module 을 제작하였다.[5,6] 전송 선로는 RT Duroid 5880 기판을 사용하여 제작하였다. 그림 5 는 제작된 CPW-to-waveguide transition 사진이다. 측정 결과 insertion loss 와 return loss 는 58 GHz 에서 각각 -1.34 와 -27.13 dB 를 나타내었다. 측정 결과값들은 시뮬레이션 결과값들과 좋은 일치를 나타내었다. 그림 6 은 제작된 V-band MIMIC 저잡음 증폭기 모듈의 사진이다.

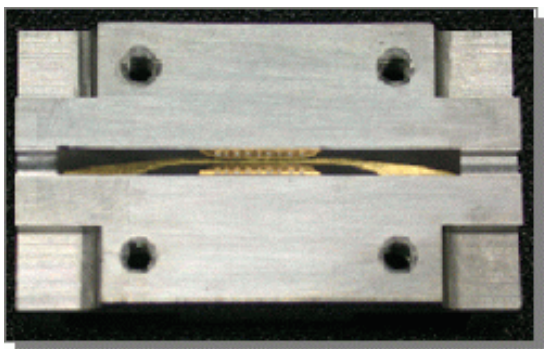


그림 5 제작된 CPW-to-waveguide transition 사진

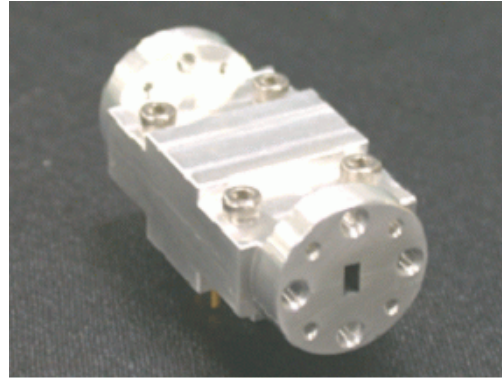


그림 6 제작된 V-band MIMIC 저잡음 증폭기 모듈

제작된 LNA 칩과 모듈을 측정한 결과 S_{21} 이득은 58 GHz 에서 각각 13.1 과 8.3 dB 로 양호한 특성을 나타내었다. 그리고 noise figure 의 측정 결과 58 GHz 에서 각각 3.6 과 5.8 dB 를 나타내었다. 그림 7 은 S-parameter 의 측정 결과이고, 그림 8 은 noise figure 측정 결과값이다.

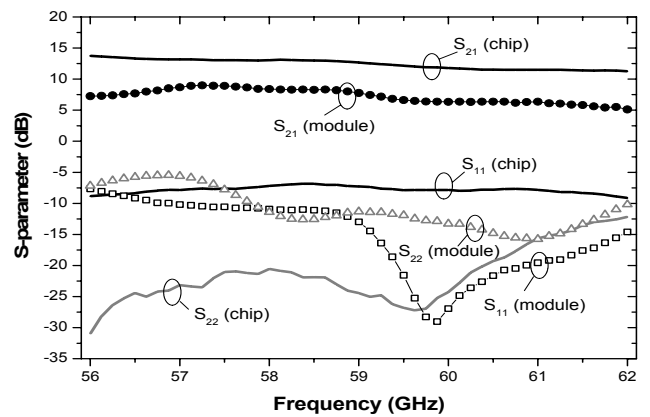


그림 7 S-parameter 측정 결과

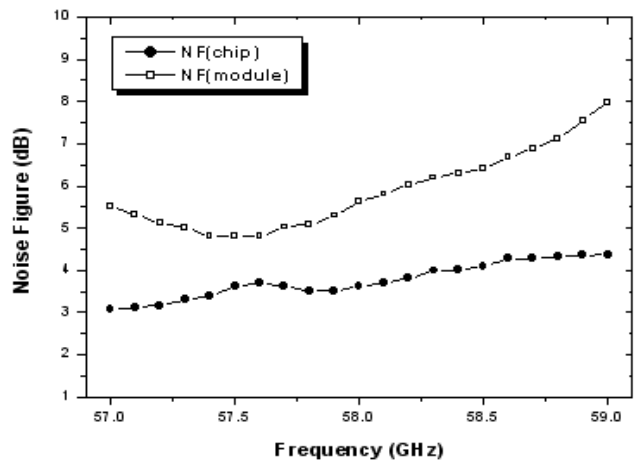


그림 8 Noise figure 측정 결과

IV. 결론

본 논문에서는 0.1 μm PHEMT 를 이용하여 V-band 용 MIMIC 저잡음 증폭기를 설계 및 제작하였다. 그리고 제작된 LNA 칩을 이용하여 모듈까지 제작하였다. V-band MIMIC 저잡음 증폭기의 설계는 PHEMT 의 비선형 모델과 CPW 라이브러리를 이용하여 설계하였으며, 설계된 저잡음 증폭기는 PHEMT MIMIC 공정 기술을 이용하여 제작되었다. 모듈을 제작하기 위해서 CPW-to-waveguide fin-line transition 모듈을 제작하고, 그 위에 제작된 LNA 칩을 올려놓고 wire bonding 방법으로 연결하였다.

제작된 V-band MIMIC 저잡음 증폭기와 모듈의 측정 결과, 58 GHz 에서 최대 S_{21} 이득은 각각 13.1 과 8.3 dB 로 양호한 특성을 나타내었다. 그리고 잡음지수는 각각 3.6 과 5.8 dB 를 나타내었다.

본 논문에서 연구된 V-band 저잡음 증폭기는 고이득 및 저잡음지수의 특성을 나타내고, 제작된 모듈도 특성이 크게 나빠지지 않기 때문에 V-band 대역의 응용에 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Skolnik, M.I., "Millimeter and Submillimeter Wave Application," Proceedings. of IEEE Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symp, pp. 15-18, 1987.
- [2] J.B. Shealy, M. M. hashemi, K. Kiziloglu, S. P. DenBaars, U. K. Mishira, T. K. Liu, J. J. Brown, and M. Lue, "High-Breakdown voltage AlInAs/GaInAs Junction Modulated HEMT's(JHEMT's) with Regrown Ohmic Contacts by MOCVD," IEEE Electron Device Letters, vol. 14, no. 12, pp. 545-547, 1993.
- [3] J. W. Shin, Y. S. Yoon, S. D. Lee, H. C. Park, and J. K. Rhee, "Effects of He gas on hydrogen content and passivation of GaAs PHEMT with SiN films," Proceeding of Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWARD), pp. 121-124, 2000.
- [4] Il-Hyeong Lee, Seong-Dae Lee, and Jin-Koo Rhee, "Studies on Air-Bridge Processes for mm-wave MMIC's Applications," Journal of the Korean Physical Society, vol. 35, no. 12, pp. S1043-S1046, 1999.
- [5] D. H. Ko, J. Y. Moon, D. An, M. K. Lee, S. J. Lee, J. M. Jin, Y. S. Chae, S. W. Yun, S. D. Kim, H. M. Park, and J. K. Rhee, "V-band Waveguide-to-Coplanar Waveguide Transition for 60 GHz Wireless LAN application," 34th European Microwave Conference, pp. 641-644, 2004.
- [6] Jimmy G. M. Yip, Adam K. Jastrzebski, Richard J. Collier, and Daiqing Li, "The Design of Waveguide-to-Finline Taper Transition at Millimeter Wave Frequencies," Microwaves, Radar and Wireless Communications 2002, vol. 1, pp. 282-285, May 2002.