

P-HEMT를 이용한 능동 안테나용 X-Band MMIC 저잡음 증폭기 설계 및 제작

The Design and Fabrication of X-Band MMIC Low Noise Amplifier for Active Antenna using P-HEMT

강동민* · 맹성재** · 김남영* · 이진희** · 박병선** · 윤형섭** · 박철순** · 윤경식***

Dong-Min Kang* · Sung-Jae Maeng** · Nam-Young Kim* · Jin-Hee Lee** · Byung-Sun Park**
· Hyung-Sup Yoon** · Chul-Soon Park** · Kyong-Sik Yoon***

요 약

능동 안테나용 X-band(11.7~12 GHz) 단일 칩 초고주파 집적회로(Monolithic Microwave Integrated Circuits, MMICs) 저잡음 증폭기(Low Noise Amplifier, LNA)를 0.15 μm ×140 μm AlGaAs/InGaAs/GaAs 고속 전자 이동도 트랜지스터(Pseudomorphic-High Electron Mobility Transistor, P-HEMT)를 이용하여 2단으로 설계하고 제작하였다. 증폭기의 안정도 특성을 위해 이득이 다소 감소하나 입력정합이 쉽고 안정도가 좋은 소스 인덕터를 사용하여 저잡음증폭기를 설계하였다. 동작 주파수에서 약 17 dB의 이득, 1.3 dB의 잡음 지수 그리고 입 · 출력 반사손실은 -17 ~ -15 dB를 측정 결과로서 얻었다. 이러한 측정 결과는 잡음 지수를 제외하고는 설계 결과와 거의 일치하며, 제작된 MMIC LNA의 칩 크기는 1.43×1.27 mm²이다.

Abstract

The design and fabrication of X-band(11.7~12 GHz) 2-stage monolithic microwave integrated circuit(MMIC) low noise amplifier(LNA) for active antenna are presented using 0.15 μm ×140 μm AlGaAs/InGaAs/GaAs pseudomorphic high electron mobility transistor(P-HEMT). In each stage of the LNA, a series feedback by using a source inductor is used for both input matching and good stability. The measurement results are achieved as an input return loss under -17 dB, an output return loss under -15 dB, a noise figure of 1.3 dB, and a gain of 17 dB at X-band. This results almost concur with a design results except noise figure(NF). The chip size of the MMIC LNA is 1.43×1.27 mm².

I. 서 론

현대 사회의 다양화와 전문화에 따라 일상생활에서부터 업무에 이르기까지 정보와 통신의 도움없이 이루어지는 일은 없다. 특히 언제 어디서나 누구와

도 정보의 교환이 가능한 무선통신에 대한 요구는 사회의 정보화에 따라 급격히 증가하고 있다. 무선 통신 시스템은 저속 데이터통신으로 가능한 음성 및 정지영상 정보로부터 고속 데이터통신이 필요한 동영상 정보로 발전하고 있고, 무선통신 시스템의 대중화로 사용자의 수가 급격히 늘어남에 따라 통

* 광운대학교 전자공학과(Dept. of Electrical Eng., Kwangwun University)

** 한국전자통신연구원(ETRI)

*** 고려대학교 전자 및 정보공학과(Dept. of Eletronical & Information Eng., Korea University)

· 논문 번호 : 980316-034

· 수정완료일자 : 1998년 6월 23일

신용량을 수용하기 위해 사용주파수가 점차 높아지고 있으며 통신방식도 아날로그에서 디지털로 바뀌고 있다. 이에 따라 고주파 회로에 사용되는 소자는 고주파 특성이 우수해야 할 뿐만 아니라 신호 크기에 따른 특성 변화가 작아야 하며, 무선 시스템이 소형화되고 대량생산이 요구됨에 따라 이들 소자들을 반도체 기판에 일관공정으로 제작해 집적화한 MMIC(Monolithic Microwave IC)가 요구되고 있다.

MMIC는 수 mm 크기의 반도체 기판에 능동소자와 수동소자뿐만 아니라 단위소자의 연결까지도 일관공정으로 동시에 제작하므로 종래의 고주파 회로기판에 비해 크기가 작고 신뢰성이 높으며 특성이 균일하다. 또한 개별부품의 패키지가 따로 필요 없으므로 개별부품을 사용해 고주파 회로를 제작하는 경우에 비해 제작단가를 낮출 수 있어 무선통신기기의 시장경쟁력을 높일 수 있다. MMIC의 이와 같은 장점으로 인하여 이들의 용도 또한 고속 군사용 장비와 항공, 우주 통신기용 부품 등의 특수용도로부터 위성 방송 직접 수신기(Direct Broadcast Satellite, DBS)용 전단부, 고속 컴퓨터용 프로세서 및 메모리, 자동차용 충돌방지 레이더 등의 민수용으로 크게 확장되고 있다^[1].

MMIC에 이용되는 능동소자로는 GaAs를 기반으로 하는 MESFET(METal Semiconductor Field Effect), HEMT(High Electron Mobility Transistor), HBT(Heterojunction Bipolar Transistor) 등이 있다. 주로 제작단가면에서 유리한 MESFET이 사용되고 있으나 고속 무선 통신용 MMIC에서는 제작기술이 복잡하고 제작단가가 높지만 고주파 특성과 잡음 특성이 우수한 HEMT가 사용되어진다. 본 논문에서는 한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute, ETRI)에서 제작한 $0.15 \times 140 \mu\text{m}$ P-HEMT 소자^{[2],[3]}를 이용하여 DBS에서 사용되는 능동 안테나용 X-band MMIC LNA를 2-stage로 설계하고 제작하였다. DBS에서는 LNA를 포함한 저잡음블럭(Low Noise Block, LNB)을 능동안테나에 일체형으로 구성한다.

LNA는 DBS와 같은 통신시스템의 전단부를 구성하는 부품으로, 전체 시스템의 잡음지수와 전압

정재파비(Voltage Standing Wave Ratio, VSWR)를 결정하는 중요 부분이다. 따라서 저잡음 증폭기는 낮은 잡음 지수와 높은 이득, 그리고 낮은 VSWR의 특성을 동시에 만족해야 한다.

II. P-HEMT

현재 저잡음 HEMT(Low Noise HEMT) 소자들은 높은 주파수 성능과 낮은 잡음 성능으로 인하여 위성 통신, 이동 통신 및 전파 응용 분야에 광범위하게 사용되고 있다. 이러한 HEMT 소자는 전자 이동도가 크고 뛰어난 전하 수송 특성으로 단일칩 초고주파 및 초고속 LSI의 제작에 각광을 받고 있다^[4]. 또한 초기의 GaAs 채널층 대신 pseudomorphic층인 InGaAs층을 채택하여 증가된 밴드 갭의 불연속성으로 인해 2-Dimensional Electron Gas (2DEG)의 농도를 높힘으로써 초고주파 특성을 개선하였다. 그리고 T형 게이트 형성을 통하여 게이트 상부의 면적을 2배 이상으로 증가시켜 게이트 저항을 개선시키므로 인하여 소자의 잡음 특성을 향상시켰다. ETRI에서 제작한 P-HEMT의 단면을 그림 1에 나타내었다.

본 논문에서는 $0.15 \mu\text{m} \times 140 \mu\text{m}$ (2 finger \times $70 \mu\text{m}$) AlGaAs/InGaAs/GaAs P-HEMT 소자^[2]를 회로 설계에 사용하였다. P-HEMT의 층 구성은 MBE(Molecular Beam Epitaxy)를 사용하여 성장시켰고 T형 게이트는 DSM(Dose Split Electron Beam Lithography Method) 방법으로 제작되었으며, $0.15 \mu\text{m} \times 140 \mu\text{m}$ P-HEMT 소자의 전

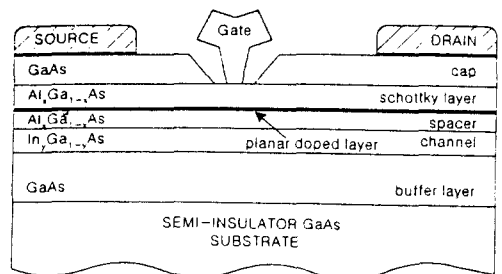


그림 1. T형 게이트 P-HEMT의 단면도

Fig. 1. Cross section of the P-HEMT with the T-shaped gate.

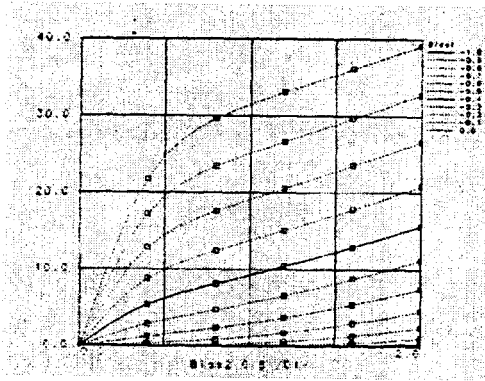


그림 2 P-HEMT 소자의 전류-전압 특성
Fig. 2. I-V characteristics of P-HEMT device.

류-전압 특성을 그림 2에 나타내었다.

P-HEMT 소자의 잡음변수는 HP8510B 회로 분석기와 ATN NP5 잡음변수 측정 장치를 사용하여 추출하였다. 추출된 최소 잡음지수 NF_{min} (minimum noise figure)의 신뢰도는 18 GHz까지 ± 0.035 dB 범위에 있다. $V_{ds}=2$ V의 조건하에서 12 GHz와 18 GHz에서 측정한 NF_{min} 의 I_{ds} 에 따른 변화는 그림 3과 같다. 그림 3에서 알 수 있듯이 I_{ds} 가 40~50 %일 때 NF_{min} 은 최소값을 가지므로 본 논문의 증폭기 회로에서 사용된 소자는 50 % I_{ds} 에서 동작하도록 설계하였다.

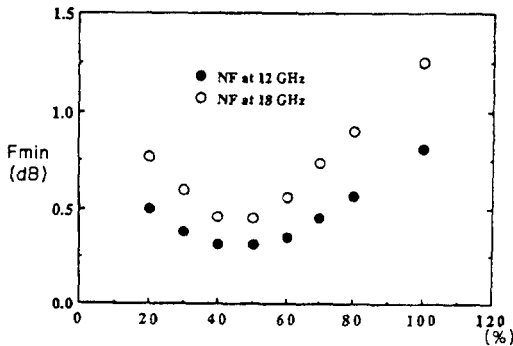


그림 3. 최소잡음지수의 드레인-소오스 전류에 따른 변화

Fig. 3. The dependence of minimum noise figure on the drain-source current, I_{ds} ($V_{ds}=2$ V, $I_{ds}=40$ mA).

표 1. $0.15 \mu\text{m} \times 140 \mu\text{m}$ P-HEMT의 잡음 파라메타
Table 1. Noise parameters of $0.15 \mu\text{m} \times 140 \mu\text{m}$ P-HEMT.

Freq. (GHz)	NF_{min} (dB)	Γ_{opt}		R_n (ohm)
		Mag	Ang	
9	0.30	0.83	19.2	24.47
10	0.34	0.83	21.9	24.95
11	0.38	0.83	24.7	25.37
12	0.42	0.84	27.4	25.71
13	0.46	0.83	30.0	25.93
14	0.50	0.83	32.4	26.00

소자의 잡음특성은 통상 최소잡음 지수 NF_{min} , 최적 입력반사계수 Γ_{opt} , 그리고 잡음저항 R_n 으로 나타내며 설계에 사용된 게이트 길이 $0.15 \mu\text{m}$ P-HEMT 소자의 50 % I_{ds} [$V_{ds}=2$ V, $I_{ds}=15$ mA]에 대한 주파수별 잡음 데이터를 표 1에 나타내었다.

III. 저잡음 증폭기 설계 및 시뮬레이션

본 논문은 2-finger $140 \mu\text{m}$ (bias condition; 2 V 50 % I_{ds}) P-HEMT 소자를 이용하여 저잡음 증폭기를 2-stage로 설계하였다. 우선 P-HEMT 소자에 대해서 회로를 설계할 때 요구되어지는 주파수 대역 (11.7~12 GHz)에서의 안정도를 확인하여 안정도(K)가 1 이상이 되도록 설계해야 한다. 따라서 소자의 안정도가 1 이하로써 불안정 할 때에는 회로 설계를 용이하게 하기 위해서 안정도(K)를 향상시킬 필요가 있다. 그러므로 요구되는 주파수 대역에서의 안정도를 확인해 본 결과 안정도(K)가 그림 4와 같이 1 이하가 되므로 무조건적인 안정을 갖도록 트랜지스터에 대하여 resistive loading 또는 series feedback을 구성하여야 한다[5].

LNA의 저잡음 특성을 향상하기 위하여 구성된 series feedback 방법은 P-HEMT의 경우 디바이스의 소스단에 인덕터를 직렬로 연결시킴으로서 안정도를 향상시키는 방법이다. 소스 인덕터(L_s)를 사용하게 되면 이득이 다소 감소하지만 입력 정합

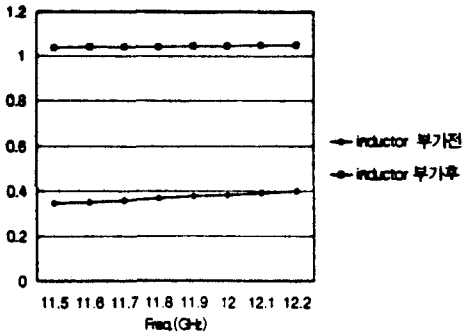


그림 4. 소스 인덕터($L_s=0.52$ nH)에 따른 안정도(K)의 변화

Fig. 4. The variations of stability(K) by source inductor($L_s=0.52$ nH).

이 쉽고 안정도가 매우 좋아지는 장점이 있다^{[6]~[8]}. 본 설계에서는 P-HEMT의 소스단에 인덕터를 0.52 nH 부가하였다. 소스 인덕터를 0.52 nH 부가한 것은 잡음 특성을 최대로 얻기 위하여 제공된 여러 인덕턴스 중에서 선택한 것이다. 이러한 조건에서 P-HEMT는 그림 4에 나타나듯이 무조건적인 안정조건인 $K > 1$, 입력 반사 손실의 절대값 $|S_{11}| < 1$ 그리고 출력 반사 손실의 절대값 $|S_{22}| < 1$ 를 만족하였다. L_s 의 값이 증가할수록 잡음 정합에 대한 Gamma의 최적 조건인 Γ_{opt} 와 S_{11} 값이 근접하고, K 값은 주어진 P-HEMT에 대해 어떤 값 이상에서는 1보다 크게 되어 안정도가 매우 향상된다.

최소 잡음 지수(Minimum Noise Figure, NF_{min})와 정규화된 잡음 저항(Normalized Noise Resistance, R_n)은 L_s 값의 증가에 따라 감소(참조. 표 2)하고, 잡음원의 반경도 커져서 그만큼 설계가 용이하게 된다. 또한 L_s 값이 증가하면 이득이 감소하고 따라서 NF_{min} 이 감소하게 됨을 알 수 있다.

일반적인 1-stage LNA의 블록도를 그림 5에 표현하였다. 공액 정합(conjugate matching)의 관계식을 나타내 보면 아래의 식과 같다^[5].

$$\Gamma_s = \Gamma_{in}^*, \Gamma_s = \Gamma_{opt}, \Gamma_s = (S_{11} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_L}{1 - S_{22} \Gamma_L})^*$$

$$\Gamma_L = \Gamma_{out}^*, \Gamma_L = (S_{22} + \frac{S_{12} S_{21} \Gamma_{opt}}{1 - S_{11} \Gamma_{opt}})^*$$

표 2. L_s (ideal element)값의 증가에 따른 NF_{min} , K , G_{max} , R_n 의 변화(12 GHz)

Table 2. The variations of NF_{min} , K , G_{max} and R_n by L_s (12 GHz).

L_s (nH)	NF_{min}	K	G_{max}	R_n
0.17	0.4096	1.0120	12.5384	0.4493
0.23	0.4060	1.0598	10.9080	0.4287
0.52	0.3893	1.0530	8.0971	0.3434

여기서 Γ_s 는 소오스단을 바라본 반사계수이고, Γ_L 는 부하단을 바라본 반사계수이다. 가용 전력 이득 곡선(Available power gain circle, GA)과 Γ_{opt} 에서 잡음과 이득에 대해 적당한 trade off점을 정하여서 정합 회로를 구성하여야 한다. 그러나 본 논문의 LNA 설계에서는 최소의 저잡음을 얻기 위하여 위 식에서 표현한 Γ_s 를 Γ_{opt} 로 설정하고 정합 회로를 구성함으로써 이득과 입력 반사 손실에서 약간의 손실을 나타내었다.

본 논문에서 설계한 LNA는 정합 회로의 복잡함이 잡음 지수의 증가와 직결되므로 단일 스텐브를 이용하여 설계하였다. 정합회로를 설계할 때는 단락 스텐브(short stub)보다는 개방 스텐브(open stub)를 이용하는 것이 제작이 쉽고 필요할 때 튜닝(tuning)을 쉽게 할 수 있으므로 모든 회로에 대하여 개방 스텐브를 사용하였다. 그림 6과 같은 방법으로 일단 정합회로를 구성한 후에 이것을 HP-EEsof사의 Libra 6.1을 사용하여 원하는 사양에 만족을 하는지 확인작업을 수행하였다. 모든 회로의 선로를 마이크로스트립 라인으로서 구현하였고 선로의 폭은 칩 크기를 줄이기 위하여 공정이 가능한 최소폭을 선택하였다. 칩의 크기를 축소시키고 잡음의 특성을 향상시키기 위하여 선로와 개방 스

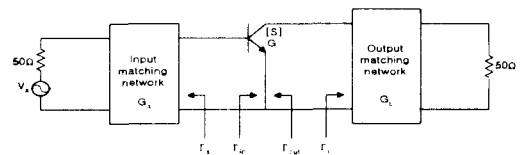


그림 5. 일반적인 1-stage 증폭기의 블록도
Fig. 5. Block diagram of typical 1-stage amplifier.

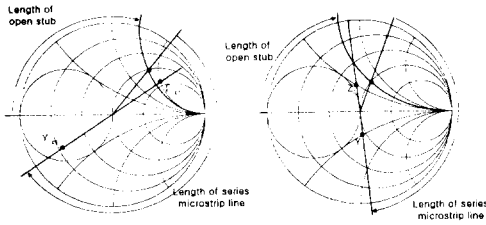


그림 6. 단일 스텐트를 이용한 입·출력 정합 회로 설계^[13]

Fig. 6. The design of input/output matching circuit using single stub^[13].

터브의 폭을 전부 10 μm 로 하여 정합 회로를 구성하였다^[10]. 그리고 bias단의 RF-choke 부분을 선로 대신 인덕터를 사용함으로써 표 3과 같이 잡음에 있어 많은 이득을 얻는 결과를 나타내었다

첫단과 둘째단 모두 저잡음 특성을 얻고자 Γ_{opt} 로서 소스단을 공액 정합하였다. 2-stage 형태로 설계된 X-band LNA의 회로도들 그림 7에 나타내었다. 칩 크기를 줄이기 위하여 모든 선로의 폭을 10 μm 로 하였고, 모든 이상적인 집중 소자를 실제 집중 소자로 교체하여 시뮬레이션(simulation)하였

표 3. 1-stage LNA의 시뮬레이션 결과

Table 3. Simulation results of 1-stage LNA.

Freq. (GHz)	S[2,1] (dB)	NF (dB)	K	S[1,1] (dB)	S[2,2] (dB)
11.7	7.8087	0.7896	1.1146	-14.9626	-13.9503
11.8	7.7256	0.79	1.1169	-14.6105	-14.1225
11.9	7.6427	0.7909	1.1192	-14.2685	-14.2881
12	7.56	0.7924	1.1214	-13.9372	-14.4465

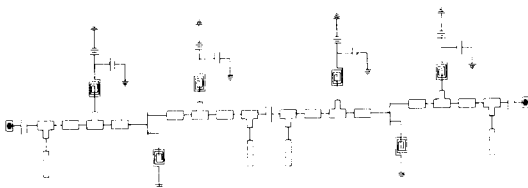
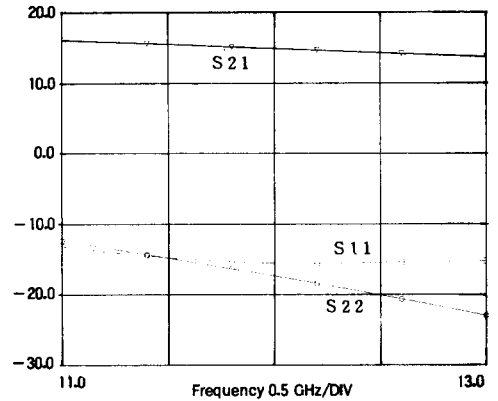
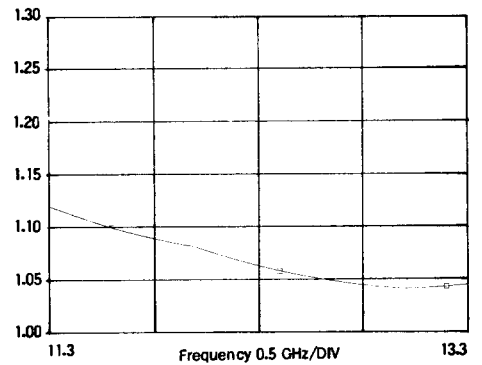


그림 7. 2-stage LNA의 회로도

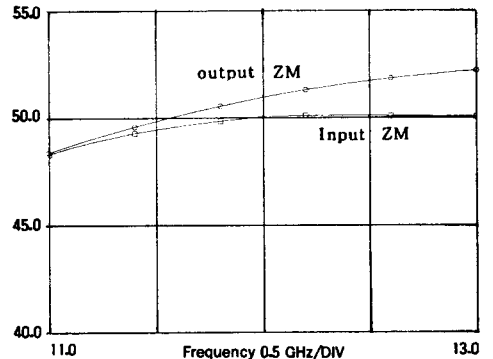
Fig. 7. Block diagram of 2-stage LNA.



(a) Gain, return loss



(b) NF(Noise Figure)



(c) ZM(Input/Output impedance matching)

그림 8. Layout을 고려한 2-stage LNA의 시뮬레이션 결과

Fig. 8. Simulation results of 2-stage LNA that consider a layout.

다. 또한 접지 부위는 모두 via-hole 처리를 하였다.

회로의 구성은 1-stage LNA를 기본으로 첫 단과 둘째 단 모두를 같은 P-HEMT 소자를 이용하여 2-stage로 설계하였고, 원하는 사양을 만족하는 목적치를 두어 최적화(Optimize)작업을 수행하였다. DC block 부분은 단과 단 사이의 bias 분리 및 RF 신호의 결합을 위해서 ETRI의 library에서 제공되는 microstrip thin flim capacitor를 사용하였다. 그리고 잡음 특성을 향상시키기 위하여 rectangular spiral inductor를 RF-choke 부분에 이용하였다. Layout된 회로의 결과를 알아보기 위해서 layout된 회로의 형태와 똑같이 마이크로스트립의 곡선 등을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 이 시뮬레이션 결과를 그림 8에 나타내었다.

Layout을 고려한 회로를 시뮬레이션한 결과 이득은 그림 8(a)에 나타난 것과 같이 약 18 dB 정도를 나타내고 있으며 잡음 특성은 그림 8(b)에서 약 1.15 dB 정도를 나타내고 있다. 이 결과는 layout을 고려치 않은 2-stage LNA의 결과와 약간 다른 특성을 나타내고 있는데, layout을 하기 위한 형태로 회로를 변형시킴으로 인하여 정합회로가 저잡음만을 위한 정합에서 이득 정합 쪽으로 정합점이 이동된 것으로 간주된다. 그림 8(c)는 입·출력단이 모두 50 Ω으로 잘 정합되고 있는 것을 나타내었다.

IV. 제작 및 측정결과

본 논문에서는 P-HEMT를 이용하여 2-stage LNA를 MMIC 형태로 설계 및 레이아웃을 하였으며 이를 이용하여 제작, 측정을 하였다. MMIC의 제작은 한국전자통신연구소의 foundry를 이용하였고, 측정은 on-wafer상에서 s-파라미터와 잡음지수만을 측정하였다. 제작된 X-band MMIC LNA의 사진을 그림 9에 나타내었다. 회로의 크기는 1.4 × 1.3 mm²이며, 각 바이어스 부분은 회로의 복잡함을 줄이고 측정의 편리를 위해 게이트(gate)와 드레인(drain)으로 나누어 각각을 하나로 묶어서 사용하였다.

제작된 LNA의 특성 측정은 HP8510B회로분석기를 이용하였다. S-파라미터에 대한 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 그림 10에 나타내었다. 측정 결

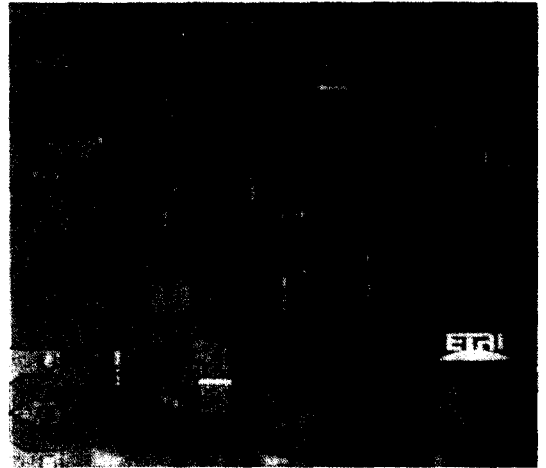


그림 9. 실제 제작된 MMIC LNA의 사진

Fig. 9. Photograph of fabricated MMIC LNA.

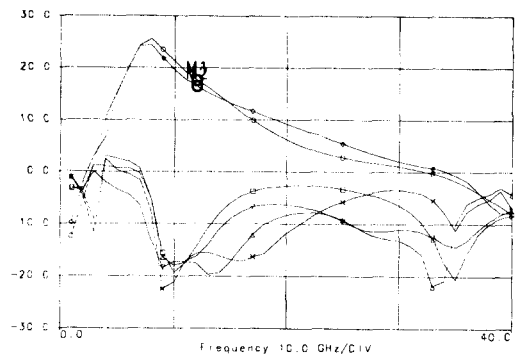


그림 10. 시뮬레이션 결과와 측정 결과의 비교

(M1 : 시뮬레이션 결과, M2 : 측정 결과)

Fig. 10. Comparison of simulation results and measurement results.

(M1 : simulation results,
M2 : measurement results)

과, 이득은 약 17 dB, 입·출력반사손실은 약 -17 dB ~ -15 dB 그리고 잡음 지수는 약 1.3 dB 정도를 나타내었다. 잡음지수를 제외한 나머지 파라미터들은 대부분 설계 결과와 일치하는 것을 나타내고 있고, 안정도 측면에서는 회로의 발진이 없는 것으로 보아 안정한 것으로 판단된다. 잡음 지수에 대한 측정 결과는 그림 11에 나타내었다. 잡음지수의

시뮬레이션 결과는 1.15 dB였으나 제작후 측정 결과는 1.3 dB를 보였다. 그리고 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 표 4에서 비교하였다. 또한 최근에 발표된 다른 12 GHz MMIC LNA와 본 논문에서 수행한 결과를 함께 표 5에서 비교하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 한국전자통신연구원에서 제공하는 공정을 이용하여 잡음성능이 우수한 P-HEMT 소자를 기본으로 하여 X-band MMIC LNA를 설계, 제작하였다. 제작된 LNA의 측정 결과, 이득은 약 17 dB, 입력 반사손실은 약 -17 dB, 출력반사손실은 약 -15 dB 그리고 잡음지수는 약 1.3 dB 정도를 나타내었다. 그리고 제작된 회로의 칩 크기는 $1.4 \times 1.3 \text{ mm}^2$ 이다. 측정치는 잡음지수를 제외하고는 설계치와 유사한 결과를 보였다. 국내 MM-

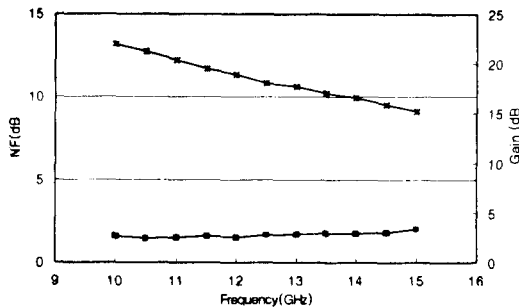


그림 11. 측정된 잡음지수와 이득특성
Fig. 11. Measured noise figure and gain.

표 5. 12 GHz MMIC LNA의 제작 결과 비교
Table 5. Fabrication results comparison of 12 GHz MMIC LNA.

제작회사	Gain (dB)	NF (dB)	Stage	Chip size (mm ²)	Device	Ref.
TRW	20	1.3	2	1.3 × 1.3	HEMT	11
Mitsubishi	14	1.6	2	3.9 × 3.9	HEMT	12
Matsushita	16.4	1.2	2	3.2 × 3.2	HEMT	13
Sharp	16.6	2.5	2	1.4 × 1.4	MESFET	14
Hitachi	15.4	1.3	2	3.0 × 3.0	2DEGFET	15
This work	18	1.3	2	1.4 × 1.3	P-HEMT	

표 4. 시뮬레이션 결과와 측정 결과의 비교
Table 4. Comparison of simulation results and measurement results.

항 목	시뮬레이션 결과	측정 결과
1. Frequency	11.7~12 GHz	11.7~12 GHz
2. Linear gain	>17 dB	>17 dB
3. Gain variation over frequency	±0.5 dB max	±0.5 dB max
4. Noise figure	1.15 dB	1.3 dB
5. Input return loss	-15 dB	-17 dB
6. Output return loss	-16 dB	-16 dB
7. Chip size	1.4×1.3 mm ²	1.4×1.3 mm ²

IC library와 foundry를 이용하여 MMIC LNA를 설계하고 제작함으로써 X-band 대역의 MMIC 설계 및 제작 기술을 확보하였다.

앞으로의 연구방향으로서는 향상된 잡음특성과 칩 크기를 최대한 축소할 수 있는 토폴로지에 관한 연구가 계속되어야 할 것으로 본다.

참 고 문 헌

[1] 강광남, "Monolithic Microwave Integrated Circuits의 현황과 장래 전망." 대한전자공학회지, 제14권 제1호, pp. 56-63, 1987.
[2] J. -H. Lee et al., "Pseudomorphic AlGa-As/InGaAs/GaAs/GaAs High Electron

- Mobility Transistors with Super Low Noise Performances of 0.41 dB at 18 GHz," *ETRI Journal* vol. 18, no. 3. 1996.
- [3] ETRI, *GaAs MMIC Design Guide Version 3.1*, 한국전자통신연구원 1996.
- [4] C. Y. Chang et al., *GaAs High-Speed Devices*, John Wiley & Sons Inc., 1994.
- [5] G. Gonzalez, *Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design*, Prentice Hall 1996.
- [6] N. Shiga et al., "X-Band MMIC Amplifier with Pulse-Doped GaAs MESFET's," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 39, no. 12, 1991.
- [7] R. E. Lehmann et al., "X-Band Monolithic Series Feedback LNA," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 33, pp. 1560-1566, 1985.
- [8] B. Hughes et al., "12 GHz Low Noise MMIC Amplifier Designed with a Noise Model that Scales with MODFET Size and Bias," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 41, no. 12, 1993.
- [9] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison-Wesley, 1993.
- [10] K. Sakuno et al., "A Miniature Low Current GaAs MMIC Downconverter for Ku-Band Broadcast Satellite Applications," *IEEE Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symp.* pp. 101-104, 1992.
- [11] K. Hubbard et al., "A Family of Low Cost High Performance HEMT MMICs for Commercial DBS Applications," *IEEE Micro. and Millimeterwave Monolithic Circuits Symp.*, pp. 133-136, 1995.
- [12] N. Ayaki et al., "A 12 GHz Band Monolithic HEMT Low Noise Amplifier," *GaAs IC Symp.*, pp. 101-10, 1988.
- [13] H. Tsukada et al., "A 12 GHz Band MMIC Low Noise Amplifier with low Rg and low Rn HEMTs," in *3rd Asia-Pacific Microwave Conf.* Tokyo. pp. 955-958, 1990.
- [14] K. Sakuno et al., "A Miniature Low Current GaAs MMIC Downconverter for Ku-Band Broadcast Satellite Applications," *IEEE Microwave and Millimeterwave Monolithic Circuits Symp. Dig.*, pp. 101-104, 1992.
- [15] M. Yamane et al., "Low Noise 2DEGFET MMIC Amplifier for DBS," *3rd Asia-Pacific Microwave Conf. Proc.*, Tokyo, pp. 951-954, 1990.

강 동 민

1997년 : 순천대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년 3월~현재 : 광운대학교 전자공학과 석사과정
 1997년 4월~1997년 12월 : 한국전자통신연구원 화합물소자 연구실 위촉연구원
 [주 관심분야] 고주파 MMIC 설계, 저잡음증폭기 설계

맹 성 재

1984년 2월 : 서울대학교 무기재료공학과 (공학사)
 1986년 2월 : 한국과학기술원 재료공학과 (공학석사)
 1996년 2월 : 한국과학기술원 재료공학과 (공학박사)
 1986년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
 [주 관심분야] 전력증폭기 설계 및 고주파 MMIC 설계

김 남 영

1987년 2월 : 광운대학교 전자공학과 (공학사)
1991년 2월 : SUNY at Buffalo 전자공학과 (공학석사)
1994년 2월 : SUNY at Buffalo 전자공학과 (공학박사)
1994년 9월~현재 : 광운대학교 전자공학과 조교수
[주 관심분야] 고주파 MMIC 설계, 전력증폭기, 저잡음 증폭기 및 오실레이터 설계, 초고속 화합물 반도체 소자 (HEMT/HBT/MESFET)

이 진 희

1980년 : 영남대학교 물리학과 (이학사)
1982년 : 영남대학교 대학원 물리학과 (이학석사)
1987년 : 영남대학교 대학원 물리학과 (이학박사)
1992년 : 일본 동경대학 첨단과학기술연구소 연구원
1984년~현재 : 한국전자통신연구원 반도체연구단 책임연구원
[주 관심분야] 초고속 화합물 반도체 소자(HEMT/HBT/MESFET) 및 공정, MMIC 공정 및 설계, 광소자중 레이저다이오드, 양자소자

박 병 선

1981년 : 원광대학교 화학과 (이학사)
1983년 : 원광대학교 대학원 화학과 (이학석사)
1998년 : 원광대학교 대학원 화학과 (이학박사)
1984년~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
[주 연구분야] 초고속 HEMT소자 및 MMIC제작 공정
[주 관심분야] E-beam lithography 및 PSM 이용한 HEMT공정 개발

윤 형 섭

1980년 : 광운대학교 전자재료공학과 (공학사)
1984년 : 인하대학교 응용물리학과 (공학석사)
1991년 : 인하대학교 응용물리학과 (공학박사)
1984년~현재 : 한국전자통신연구원 반도체연구단 책임연구원
[주 관심분야] 초고속 화합물 반도체 소자(HEMT, HBT) 및 공정, MMIC 공정 및 설계, 유전체 박막 물성 및 계면 특성

박 철 순

1980년 : 서울대학교 금속공학과 (공학사)
1982년 : 한국과학원 재료공학과 (공학석사)
1985년 : 한국과학기술원 재료공학과 (공학박사)
1987년~1989년 : 미국 AT & T Bell Lab 방문연구원
1985년~현재 : 한국전자통신연구원 반도체연구단 화합물소자 연구실장
[주 연구분야] 초고속 화합물반도체소자

윤 경 식

1967년 3월~1971년 2월 : 서울대학교 공과대학(공학사)
1976년 9월~1977년 7월 : 프랑스 Strasbourg 대학 D.E.A
1982년 9월~1988년 8월 : Utah 대학 전자공학과(공학박사)
1974년 9월~1978년 4월 : 프랑스 국립해양개발연구소 방문연구원
1978년 5월~1982년 9월 : 한국해양연구소 해양기기술 실장
1988년 9월~현재 : 고려대학교 전자 및 정보공학부 교수
[주 관심분야] 초고속/초고주파소자 모델링 및 파라메타추출, 고속 및 고주파회로 설계