

논문 2005-42TC-5-9

낮은 변환손실 특성의 94 GHz MHEMT MIMIC Resistive 믹서

(Low Conversion Loss 94 GHz MHEMT MIMIC Resistive Mixer)

안 단*, 이복형*, 임병욱*, 이문교*, 오정훈*, 백용현*, 김성찬*,
박정동**, 신동훈*, 박형무*, 박현창*, 김삼동*, 이진구*

(Dan An, Bok-Hyung Lee, Byeong-Ok Lim, Mun-Kyo Lee, Jung-Hun Oh, Yong-Hyun Baek,
Sung-Chan Kim, Jung-Dong Park, Dong-Hoon Shin, Hyung-Moo Park, Hyun-Chang Park,
Sam-Dong Kim, and Jin-Koo Rhee)

요 약

본 논문에서는 낮은 변환손실 특성의 94 GHz MIMIC(Millimeter-wave Monolithic Integrated Circuit) resistive 믹서를 설계 및 제작하였다. MIMIC resistive 믹서는 0.1 μm InGaAs/InAlAs/GaAs Metamorphic HEMT (High Electron Mobility Transistor)를 이용하여 설계 및 제작되었다. 제작된 MHEMT는 드레인 전류 밀도 665 mA/mm, 최대 전달컨덕턴스(Gm)는 691 mS/mm를 얻었으며, RF 특성으로 fT는 189 GHz, fmax는 334 GHz의 양호한 성능을 나타내었다. 94 GHz MIMIC 믹서의 개발을 위해 MHEMT의 비선형 모델과 CPW 라이브러리를 구축하였으며, 이를 이용하여 MIMIC 믹서를 설계하였다. 설계된 믹서는 본 연구에서 개발된 MHEMT MIMIC 공정을 이용해 제작되었다. 94 GHz MIMIC resistive 믹서의 측정결과 변환손실 특성은 94 GHz에서 8.2 dB의 양호한 특성을 나타내었으며, 입력 P1 dB는 9 dBm, 출력 P1 dB는 0 dBm의 결과를 얻었다. Resistive 믹서의 LO-IF 격리도는 94.03 GHz에서 15.6 dB의 측정 결과를 얻었다. 본 논문에서 설계 및 제작된 94 GHz MIMIC resistive 믹서는 기존의 W-band 대역 resistive 믹서와 비교하여 낮은 변환손실 특성을 나타내었다.

Abstract

In this paper, low conversion loss 94 GHz MIMIC resistive mixer was designed and fabricated. The 0.1 μm InGaAs/InAlAs/GaAs Metamorphic HEMT, which is applicable to MIMIC's, was fabricated. The DC characteristics of MHEMT are 665 mA/mm of drain current density, 691 mS/mm of maximum transconductance. The current gain cut-off frequency(fT) is 189 GHz and the maximum oscillation frequency(fmax) is 334 GHz. A 94 GHz resistive mixer was fabricated using 0.1 μm MHEMT MIMIC process. From the measurement, the conversion loss of the 94 GHz resistive mixer was 8.2 dB at an LO power of 10 dBm. P1 dB(1 dB compression point) of input and output were 9 dBm and 0 dBm, respectively. LO-RF isolations of resistive mixer was obtained 15.6 dB at 94.03 GHz. We obtained in this study a lower conversion loss compared to some other resistive mixers in W-band frequencies.

Keywords : Resistive mixer, MIMIC, MHEMT, CPW

* 정희원, 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터
(Millimeter-wave Innovation Technology Research center)

** 정희원, 국방과학연구소
(Agency of Defense Development)

※ 본 연구는 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터 (MINT)를 통한 한국과학재단의 우수연구센터 (ERC) 지원금에 의하여 수행되었습니다.

접수일자: 2004년4월4일, 수정완료일: 2005년5월14일

I. 서 론

W-band(75~110 GHz) 대역인 94 GHz 대역은 이전 부터 신호 흡수 감쇠가 적어 밀리미터파 레이다 및 센서 등의 응용을 위해 연구가 진행되어 왔다^[1]. 그러나 W-band 대역에서 동작하는 회로의 경우 75 GHz 이상 및 100 GHz 대역에서 동작을 해야 하기 때문에 매우 우수한 특성을 갖는 능동소자의 설계, 제작기술이 필요하다. 따라서 현재 일반적으로 많이 사용되는 PHEMT (Pseudomorphic HEMT) 및 HBT (Heterojunction Bipolar Transistor) 소자로는 양호한 성능을 얻기가 힘들다. 특히 소형화 및 신뢰성의 장점이 있는 MIMIC (Millimeter-wave Monolithic Integrated Circuits) 회로는 94 GHz 대역의 경우 국내에서 보고가 거의 없는 실정이다. 외국의 경우 PHEMT가 아닌 이보다 성능이 우수한 InP HEMT를 이용한 결과들이 보고 되고 있다^[2]. 그러나 InP의 경우 매우 고가이며 3인치 이상의 기판에서 성장하는 것이 어려운 단점이 있어, 기존의 GaAs 기판위에서 성장시킬 수 있는 Metamorphic HEMT (MHEMT)가 최근 활발히 연구되고 있다. MHEMT의 경우 InP HEMT의 비해 상대적으로 가격이 저렴하며, 3인치 이상의 GaAs 기판에서 성장이 가능하면서도 InP HEMT와 대등한 성능을 갖는 결과들이 발표되고 있다^[3]. W-band 대역 시스템에서 주파수 혼합 기능을 수행하는 믹서는 매우 핵심적인 부품으로 낮은 변환손실 및 선형 특성이 요구된다. 특히, 믹서의 여러 구조중 resistive 믹서의 경우 양호한 변환 손실과 선형성 특성으로 밀리미터파 대역에 많이 응용되어지고 있다.

본 논문에서는 GaAs MHEMT 소자를 이용하여 94 GHz MIMIC resistive 믹서를 설계 및 제작하였다. Resistive 믹서의 개발을 위해 Metamorphic HEMT를 설계, 제작하였으며, 회로 설계를 위한 CPW 라이브러리를 구축한 후 이를 이용하여 94 GHz MIMIC resistive를 설계 및 제작하였다.

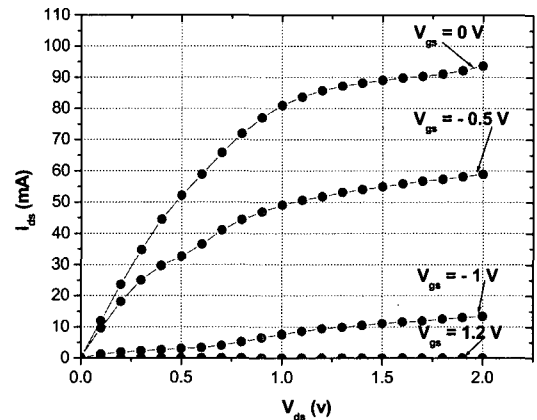
II. 94 GHz MIMIC 믹서의 설계 및 제작

94 GHz MIMIC 믹서에 사용된 MHEMT의 활성층은 23 nm 두께의 $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 채널층과 Si로 도핑된 double δ -doping층으로 구성되어 있으며, 15 nm 두께의 n+ $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ Cap 레이어를 소스-드레인 간의 오믹 접촉을 위해 성장시켰다. 활성층 밑에 버퍼층은

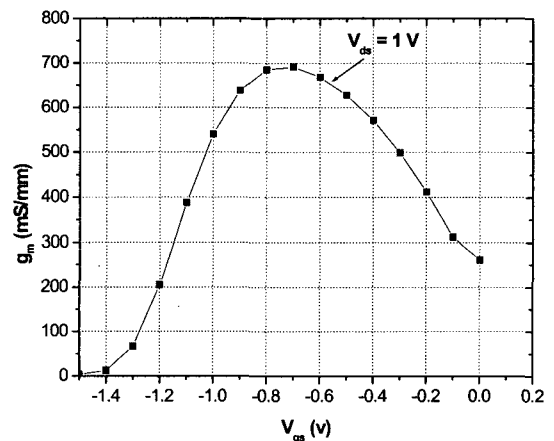
$\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$	$6 \times 10^{18}/\text{cm}^3$	15 nm
$\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$	undoped	15 nm
δ -doping $4.5 \times 10^{12}/\text{cm}^2$		
$\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$	undoped	3 nm
$\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$	undoped	23 nm
$\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$	undoped	4 nm
δ -doping $1.3 \times 10^{12}/\text{cm}^2$		
$\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$	undoped	400 nm
$\text{In}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ ($x = 0 \sim 0.5$)	undoped	1000 nm
S.i. GaAs substrate		

그림 1. MHEMT 소자의 에피층 구조.

Fig. 1. Epi-structure of MHEMT device.



(a)



(b)

그림 2. MHEMT의 DC 특성 측정 결과: (a) DC-IV 특성, (b) 전달컨덕턴스 특성.

Fig. 2. The DC measured result of MHEMT: (a) DC-IV characteristics, (b) Transconductance characteristics.

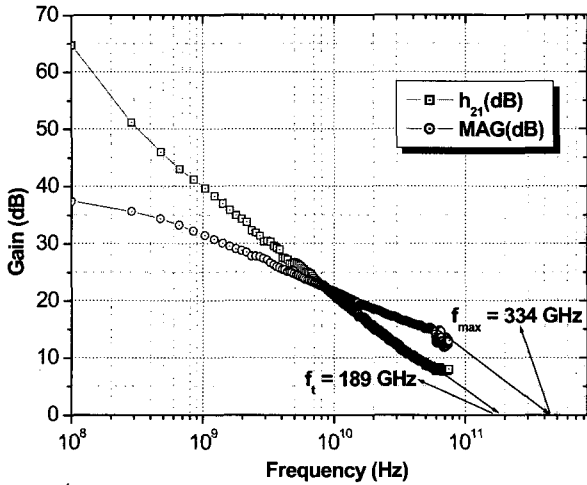


그림 3. MHEMT의 RF 특성 측정 결과.
Fig. 3. The RF measured result of MHEMT.

In_xAl_{1-x}As 버퍼 레이어를 0에서 50 %까지 인듐의 mole fraction을 변화시키며 S·I GaAs 기판위에 1 μm의 두께로 성장시켰다. 또한 400 nm 두께의 In_{0.52}Al_{0.48}As 버퍼를 활성층을 보호하기 위하여 성장시켰다. 그림 1에 설계된 MHEMT의 에피층을 나타내었다.

설계된 에피층을 이용하여 MHEMT를 제작하였으며 MHEMT의 제작 공정은 소자의 전기적 격리를 위한 MESA 에칭 공정, AuGe/Ni/Au 계의 금속층을 이용한 옴릭 공정, 0.1 μm Γ-gate 공정, 노출된 소자 채널을 보호하기 위한 Si₃N₄ 적층 공정 및 RIE(Reactive Ion Etching), 격리된 전극의 연결을 위한 Air-bridge 공정 순으로 제작되었다^[4]. 제작된 MHEMT의 DC 특성을 그림 2에 나타내었으며, 측정결과 단위 게이트 폭이 70 μm이고 핑거 수가 2개인 소자의 I-V 및 전달컨덕턴스 특성으로 핀치 오프 전압은 -1.2 V, 포화전류는 V_{gs} = 0 V에서 93 mA 로 드레인 전류 밀도는 665 mA/mm이며, 최대 전달컨덕턴스(Gm)는 691 mS/mm를 얻었다.

제작된 MHEMT의 RF 특성은 ME7808A Vector Network Analyzer를 이용하여 0.1~75 GHz의 주파수 영역에서 측정하였다. 그림 3은 MHEMT의 RF 특성을 나타낸 것으로 전류이득 차단주파수는 189 GHz, 최대공진 주파수는 334 GHz의 양호한 측정결과를 얻었다.

MIMIC 믹서의 설계를 위해서는 HEMT의 동작 특성을 표현하는 소자 모델의 개발이 필수적이다. 이를 위해 본 논문에서는 MHEMT의 비선형 모델을 추출하였다^[5]. 비선형 모델링은 단위게이트 폭이 70 μm이고 핑거

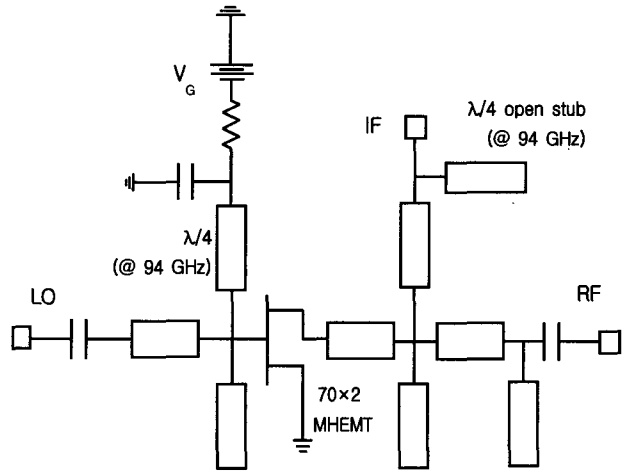


그림 4. 94 GHz MIMIC resistive 믹서의 회로도.
Fig. 4. The circuit diagram of 94 GHz resistive mixer.

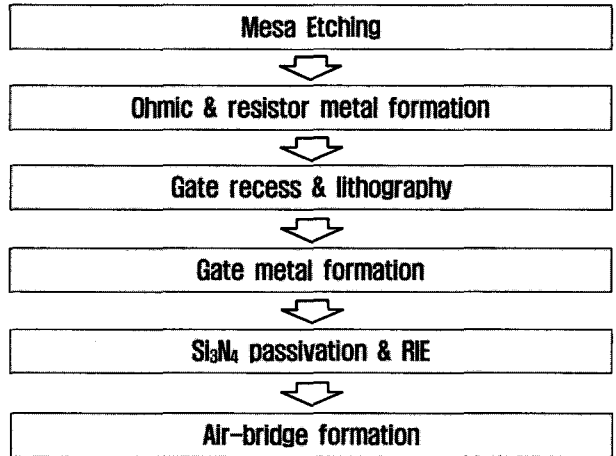


그림 5. MIMIC resistive 믹서의 제작 공정.
Fig. 5. Process procedure of MIMIC resistive mixer.

수가 2개인 MHEMT 소자를 추출하였다. 또한 MIMIC 믹서의 설계 및 제작을 위해 CPW(coplanar waveguide) 라이브러리를 구축하였다. CPW는 마이크로 스트립 라인에 비하여 via hole 공정이 필요 없는 장점이 있어 밀리미터파 대역에서 많이 응용되고 있으며, 다수의 회로들이 발표되고 있다^[6]. CPW 라이브러리를 구축하기 위하여 35, 50, 70 Ω의 특성 임피던스를 갖는 전송 선로를 설계 및 제작하였으며, 불연속 특성을 고려하기 위하여 Curve, Tee, Cross의 라이브러리를 구축하였다.

그림 4에 설계된 MIMIC resistive 믹서의 회로를 나타내었다. Resistive 믹서는 HEMT 소자에 드레인 바이어스를 인가하지 않거나 낮은 드레인 바이어스를 인가하여, HEMT의 채널이 매우 선형적인 저항 특성을 갖게 된다. 이것은 HEMT의 비선형성이 전자의 drift velocity가 포화되어 충분히 가속된 상태에서에서만 발생되

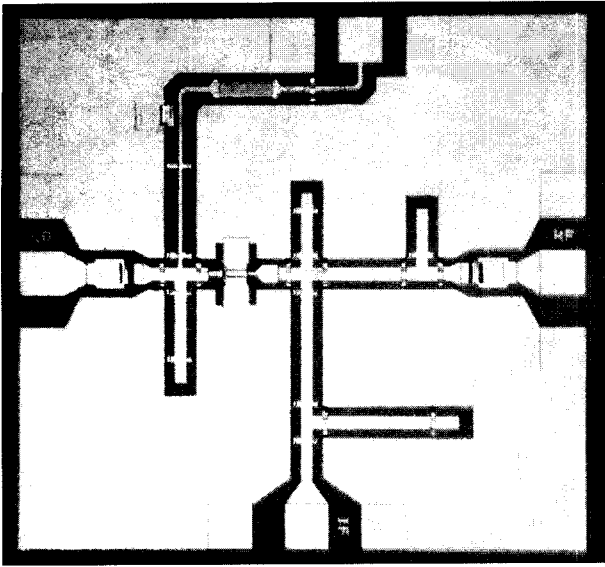


그림 6. 제작된 94 GHz MIMIC resistive 믹서의 사진.
Fig. 6. Photograph of the fabricated 94 GHz MIMIC resistive mixer.

기 때문이며, 선형 채널의 resistance는 게이트에 LO 신호를 인가하여 변화를 줄 수 있다. LO 신호는 게이트 밑에 공핍영역의 두께를 변화시켜 전체적인 채널의 resistance를 변화시키게 된다. 이러한 채널의 resistance의 변화영역은 전체적으로 믹서의 양호한 변환특성을 갖게 해 준다. 이러한 resistive 믹서를 구현하기 위해 $70 \mu\text{m} \times 2$ MHEMT 소자를 사용하여 설계하였으며, CPW 라인을 이용하여 LO 및 RF 정합회로를 설계하였다. 게이트 바이어스 회로는 LO 신호에 대해 $\lambda/4$ short stub와 120Ω Ti 박막저항을 사용하여 설계하였다. IF 단에는 low pass filter 구조 및 94 GHz $\lambda/4$ open stub를 추가하여 LO, RF 신호 및 고주파 신호의 IF단으로의 leakage를 방지하도록 설계하였다. 설계된 전체 회로 패턴은 모멘텀 시뮬레이션을 이용하여 최적화를 수행하였다. 설계된 MIMIC resistive 믹서는 MHEMT MIMIC 공정을 사용하여 제작되었다^[7-8]. 그림 5에 94 GHz MIMIC resistive 믹서의 제작 공정 단계를 나타내었다. 그림 6은 제작된 94 GHz MIMIC resistive 믹서의 표면사진으로 칩 면적은 $1.2 \text{ mm} \times 1.1 \text{ mm}$ 이다.

III. 94 GHz MIMIC 믹서의 특성 측정

제작된 MIMIC resistive 믹서는 Anritsu 사의 110 GHz ME7808A Vector Network Analyzer를 사용하여

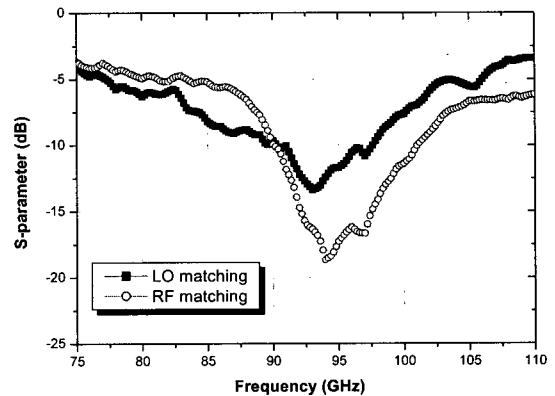


그림 7. MIMIC 믹서의 S-parameter 특성 측정결과.
Fig. 7. S-parameter measured results of MIMIC mixer.

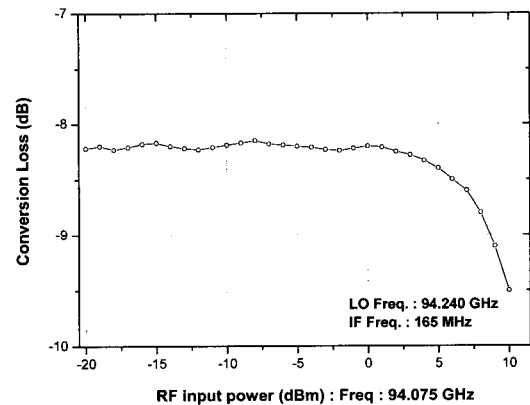


그림 8. RF 입력에 대한 변환손실 특성 측정결과.
Fig. 8. RF input vs. conversion loss measured results of MIMIC mixer.

75~ 대역에서 On-wafer 측정 방법으로 S-parameter 특성 측정을 수행하였다. 제작된 resistive 믹서의 S-parameter 측정결과 LO 포트 및 RF 포트에서 반사계수는 각각 -12.4 dB 및 -18.7 dB 로 -10 dB 이하의 양호한 반사계수 특성을 나타내었다. 그림 7의 MIMIC resistive 믹서의 S-parameter 특성 측정 결과를 나타내었다. MIMIC Resistive 믹서의 변환손실 및 출력전력 측정은 RF 입력 94.075 GHz, 94.240 GHz LO 신호를 10 dBm 의 전력으로 입력하여 165 MHz의 IF 신호를 측정하였다. Resistive 믹서의 측정결과 변환손실 특성은 8.2 dB 의 양호한 특성을 나타내었으며, 입력 $P_1 \text{ dB}$ 는 9 dBm , 출력 $P_1 \text{ dB}$ 는 0 dBm 의 결과를 얻었다. 그림 8에 RF 입력에 대한 변환손실 측정 결과 나타내었으며, 그림 9에 RF 입력에 대한 IF 출력전력 특성을 나타내었다. 그림 10은 MIMIC resistive 믹서의 LO-RF

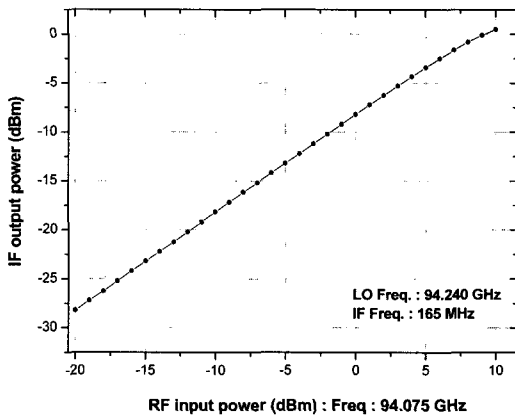


그림 9. RF 입력에 대한 IF 출력 특성 측정결과.
Fig. 9. RF input vs. IF output measured results of MIMIC mixer.

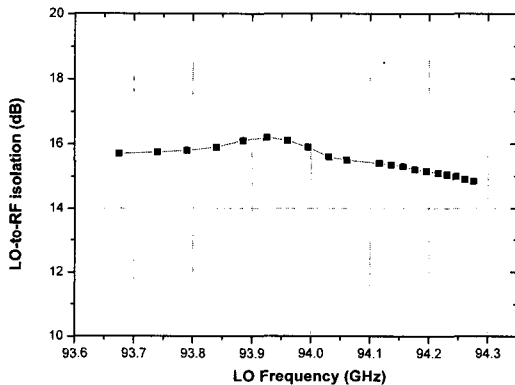


그림 10. MIMIC 믹서의 LO-RF 격리도 특성 측정결과.
Fig. 10. LO-RF isolation measured results of MIMIC mixer.

표 1. 보고된 W-band resistive 믹서.
Table 1. The reported W-band resistive mixer.

Ref.	Frequency (GHz)	Conversion Loss (dB)	Device
[9]	93	12.8	GaAs PHEMT
[10]	94	9.0	InP HEMT
[11]	77	10.6	GaAs PHEMT
This Work	94	8.2	GaAs MHEMT

격리도 측정결과로 94.03 GHz에서 15.6 dB, 93.925 GHz에서 16.2 dB의 LO-RF 격리도 측정 결과를 얻었다.

표 1은 W-band 대역에서 보고된 resistive 믹서의 특성으로 기존 믹서의 변환손실 특성인 9.0 ~ 12.8 dB에 비하여 본 논문에서 제작된 94 GHz MIMIC resistive 믹서가 더 낮은 변환 손실 특성을 나타내었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 낮은 변환손실 특성의 94 GHz MIMIC resistive 믹서를 설계 및 제작하였다. MIMIC resistive 믹서는 0.1 μm Metamorphic HEMT를 이용하여 설계 및 제작하였다. 제작된 MHEMT는 드레인 전류 밀도 665 mA/mm, 최대 전달컨덕턴스는 691 mS/mm를 얻었으며, RF 특성으로 f_T 는 189 GHz, f_{max} 는 334 GHz의 양호한 성능을 나타내었다. 94 GHz MIMIC 믹서의 개발을 위해 MHEMT의 비선형 모델과 CPW 라이브러리를 구축하였으며, 이를 이용하여 MIMIC 믹서를 설계하였다. 설계된 믹서는 본 연구에서 개발된 MHEMT MIMIC 공정을 이용해 제작되었다. 제작된 resistive 믹서의 S-parameter 측정결과 LO 포트 및 RF 포트에서 반사계수는 각각 -12.4 dB 및 -18.7 dB로 -10 dB 이하의 양호한 반사계수 특성을 나타내었다. MIMIC resistive 믹서의 변환손실 특성은 94 GHz에서 8.2 dB의 양호한 특성을 나타내었으며, 입력 P1 dB는 10.7 dBm, 출력 P1 dB는 0.1 dBm의 결과를 얻었다. Resistive 믹서의 LO-IF 격리도는 94.03 GHz에서 15.6 dB의 측정 결과를 얻었다. 본 논문에서 설계 및 제작된 94 GHz MIMIC resistive 믹서는 기존의 W-band 대역 resistive 믹서와 비교하여 낮은 변환손실 특성을 나타내었다.

참 고 문 헌

[1] K. W. Chang, G. S. Dow, H. Wang, T. H. Chen, K. Tan, B. Allen, and J. Berenz, "A W-band Single-chip Transceiver for FMCW Radar," *IEEE 1993 Microwave and Millimeter-wave Circuit Symposium*, pp. 41~44, 1993.

[2] Yun Wei, Sangmin Lee, Krishnan Sundararajan, Mattias Dahlstrom, Muguel Urteaga, and Mark Rodwell, "W-band InP/InGaAs/InP DHBT MMIC Power Amplifier," *2002 IEEE MTT-S Digest*,

- pp. 917~920.
- [3] C. S. Whelan, W. E. Hoke, R. A. McTaggart, S. M. Lardizabal, P. S. Lyman, P. F. Marsh, and T. E. Kazior, "Low Noise In_{0.32}(AlGa)_{0.68}As/In_{0.43}Ga_{0.57}As Metamorphic HEMT on GaAs substrate with 850 mW/mm output power density," *IEEE Elec. Device Lett.*, vol. 21, no. 1, pp. 5~8, Jan. 2000.
- [4] Bok-Hyung Lee, Dong-Hoon Shin, Sam-Dang Kim, and Jin-Koo Rhee, "High Maximum Frequency of Oscillation of 0.1 μ m Off-set Γ -Shaped Gate InGaAs/InAlAs/GaAs Metamorphic HEMTs," *J. Korean Phys. Soc.*, vol. 43, no. 6, pp. 427~430, Sep. 2003.
- [5] W. R. Curtice, and R. L. Camisa, "Self-consistent GaAs FET Models for Amplifier Design and Device Diagnostics," *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, vol. 32, pp. 1573~1578, Dec. 1984.
- [6] Dan An, Sung Chan Kim, Woo Suk Sul, Hyo Jong Han, Hyung Moo Park, and Jin Koo Rhee, "High Conversion Gain Millimeter-wave $\times 4$ Subharmonic Mixer with Cascode 4-th Harmonic Generator," *Microwave Optical Tech. Lett.*, vol. 41, no. 6, pp. 490~493, June 2004.
- [7] Tae-Sin Kang, Seong-Dae Lee, Bok-Hyoung Lee, Sam-Dong Kim, Hyun-Chang Park, Hyung-Moo Park, and Jin-Koo Rhee, "Design and Fabrication of a Low-Noise Amplifier for the V-band," *J. Korean Phys. Soc.*, vol. 41, no. 4, pp. 533~538, Oct. 2002.
- [8] Il-Hyeong Lee, Seong-Dae Lee, and Jin-Koo Rhee, "Studies on Air-Bridge Processes for mm-wave MMIC's Applications," *J. Korean Phys. Soc.*, vol. 35, no. 12, pp. S1043~S1046, 1999.
- [9] Masayuki Kimishima, Tsuyoshi Ataka, and Hideyuki Okabe, "A Family of Q, V and W-band Monolithic Resistive Mixers," 2001 *IEEE MTT-S Digest*, pp. 115~118.
- [10] Robiner S. Virk, Long Tran, Mehran Matloubian, Minh Le, Mechael G. Case, and Catherine Ngo, "A Comparison of W-band MMIC Mixer Using InP HEMT Technology," 1997 *IEEE MTT-S Digest*, pp. 435~438.
- [11] K. W. Chang, E. W. Lin, H. Wang, K. L. Tan, and W. H. Ku, "A W-band Monolithic, Singly Balanced Resistive Mixer With Low Conversion Loss," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 4, no. 9, pp. 301~302, Sep. 1994.

 저 자 소 개



안 단(정회원)
 1998년 동국대학교 전자공학과 졸업(공학사),
 2000년 동국대학교 전자공학과 석사과정(공학석사),
 2000년~현재 동국대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : MMIC 설계, 소자 모델링>



김 성 찬(정회원)
 1999년 동국대학교 전자공학과 (공학사),
 2001년 동국대학교 전자공학과 (공학석사),
 2001년 3월~현재 동국대학교 대학원 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 밀리미터파 소자 및 회로 설계, 제작>



이 북 형(정회원)
 1999년 동국대학교 전자공학과 졸업(공학사),
 2001년 동국대학교 전자공학과 석사과정 (공학석사),
 2001년~현재 동국대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : MMIC 공정, V-band system>



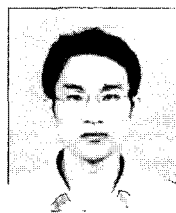
백 용 현(정회원)
 2003년 동국대학교 전자공학과 졸업(공학사),
 2005년: 동국대학교 전자공학과 석사과정 (공학석사)

<주관심분야 : MMIC 설계 및 공정>

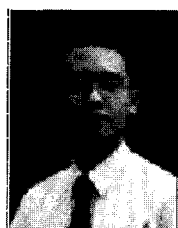
저 자 소 개



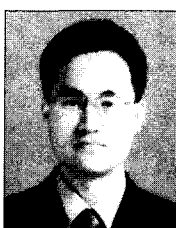
이 문 교(정회원)
 1999년 배재대학교
 전자공학과 공학사,
 2001년 동국대학교
 전자공학과 공학석사,
 2001년~현재 동국대학교
 전자공학과 박사과정
 <주관심분야 : 무선통신 시스템, MIMIC 설계 >



임 병 옥(정회원)
 2000년 동국대학교 전자공학과
 졸업(공학사),
 2002년 동국대학교 전자공학과
 석사과정(공학석사),
 2002년~현재 동국대학교
 전자공학과 박사과정
 <주관심분야 : MMIC 설계 및 공정, RF MEMS>



오 정 훈(정회원)
 2003년 동국대학교 기계공학사,
 전자공학사 학위 취득,
 2005년 동국대학교 전자공학과
 석사과정(공학석사)
 2005년~현재 동국대학교 전자공
 학과 박사과정 재학 중
 <주관심분야 : 미소 고체전자 현상 분석, MMIC
 공정>



박 정 동(정회원)
 1998년 동국대학교 전자공학과
 졸업(공학사),
 2000년 광주과학기술원 정보통신
 공학과(공학석사),
 2000년~2002년 고등기술연구원
 연구원,
 2002년~현재 국방과학연구소 연구원
 <주관심분야 : 밀리미터파 회로 및 레이더 시
 스템>



김 삼 동(정회원)
 1984년 서울대학교 재료공학과
 (공학사)
 1986년 서울대학교 공학 석사,
 1992년 스탠포드대학교 공학박
 사,
 1993년~1999년 하이닉스 반도체
 선임연구원,
 2001년~현재 동국대학교 조교수
 <주관심분야 : 미소 고체전자 현상 분석, MMIC
 공정>



신 동 훈(정회원)
 1982년 동국대학교
 물리학과(이학사),
 1984년 동국대학교
 물리학과(이학석사),
 1999년 런던대학교 전기전자
 공학과(공학박사),
 1999년~현재 동국대학교 MINT 연구교수
 <주관심분야 : 밀리미터파 소자 및 회로 설계, 제작>



박 형 무(정회원)
 1978년 서울대학교 전자공학과
 졸업(공학사),
 1980년 한국과학 기술원 전자공
 학과 석사과정(공학석사),
 1984년 한국과학 기술원 전자공
 학과 박사과정(공학박사),
 1999년~현재 동국대학교 전자공학과 교수
 <주관심분야 : MMIC 설계, 소자 모델링>



박 현 창(정회원)
 1986년 서울대학교
 전자공학과 학사,
 1989년 미국 Cornell University
 전자공학과 석사,
 1993년 미국 Cornell University
 전자공학과 박사,
 1993년 미국 University of Virginia, Research
 Associate,
 1995년~현재 동국대학교 공과대학 전자공학과
 교수
 <주관심분야 : 반도체 소자, MMIC, MEMS, 무선
 응용시스템>

— 저 자 소 개 —



이진구(정회원)

1969년 국립항공대학교 전자공학과 졸업(공학사),

1975년 서울대학교 전자공학과 석사과정(공학석사),

1982년 Oregon State Univ. 전기공학과(공학박사),

1985년 Cray Research Scientist,

1985년 Microwave Semiconductors, USA, Senior Engineer,

1995년~현재 한국 전자파학회 이사,

2005년~현재 대한전자공학회 회장,

1985년~현재 동국대학교 전자공학과 교수,

1999년~현재 밀리미터파 신기술 연구센터 소장

<주관심분야 : MMIC 설계, 소자 모델링>