

논문 2007-44SD-9-4

94 GHz 대역의 높은 격리 특성의 MIMIC single balanced cascode 믹서

(MIMIC 94 GHz high isolation single balanced cascode mixer)

이 상 진*, 안 단****, 이 문 교*, 문 성 운*, 방 석 호*, 백 태 종*, 권 혁 자****,
전 병 철**, 윤 진 섭,*** 이 진 구**

(Sang Jin Lee, Dan An, Mun Kyo Lee, Sung-Woon Moon, Suk-Ho Bang, Tae-Jong Baek,
Hyuk-Ja Kwon, Byoung-Chul Jun, Jin-Seob Yoon, Jin-Koo Rhee)

요 약

본 논문에서는 높은 격리특성과 광대역 특성을 갖고 IF 발룬을 필요로 하지 않는 94 GHz MIMIC(Millimeter-wave Monolithic Integrated Circuit) single balanced cascode 믹서를 설계 및 제작하였다. 또한 믹서의 높은 격리특성과 광대역 특성을 위한 94 GHz 대역의 3 dB tandem 커플러를 설계 및 제작하였다. MIMIC single balanced cascode 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 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. 94 GHz MIMIC single balanced cascode 믹서의 측정결과 변환손실 특성은 LO 신호의 크기가 10.9 dBm 일 때 94 GHz에서 9.8 dB의 양호한 특성을 나타내었다. 제작된 믹서의 LO-RF 격리도는 94 GHz에서 29.5 dB 그리고 100 GHz에서 39.5 dB의 측정 결과를 얻었다. 또한 제작된 믹서는 외부의 IF 발룬을 필요하지 않아 소형화가 가능할. 본 논문에서 설계 및 제작된 94 GHz MIMIC single balanced cascode 믹서는 기존의 balanced 믹서와 비교하여 높은 격리 특성을 나타내었다.

Abstract

In this paper, the high isolation and wideband 94 GHz MIMIC(Millimeter-wave Monolithic Integrated Circuit) single balanced cascode mixer was designed and fabricated. Also, we designed and fabricated a 3 dB tandem coupler which has a high isolation and wideband characteristic. The single balanced resistive mixer which does not require an external IF balun was designed using the 0.1 μm InGaAs/InAlAs/GaAs metamorphic HEMT (High Electron Mobility Transistor). The DC characteristics of MHEMT's are 665 mA/mm of drain current density, 691 mS/mm of maximum transconductance. The current gain cut-off frequency(f_T) is 189 GHz and the maximum oscillation frequency(f_{max}) is 334 GHz. A 94 GHz single balanced cascode mixer was fabricated using our 0.1 μm MHEMT MIMIC process. From the measurements, the fabricated couplers showed wideband characteristics. The conversion loss of single balanced cascode mixer was 9.8 dB at an LO power of 10.9 dBm. The LO to RF isolation of single balanced cascode mixer was 29.5 dB at 94 GHz. We obtained in this study a higher LO-RF isolation compared to some other single balanced mixers.

Keywords : single balanced, cascode mixer, MHEMT, Tandem coupler

* 학생회원, ** 정회원 동국대학교 밀리미터파 신기술연구센터

(Millimeter-wave INnovation Technology research center, Dongguk University.)

*** 정회원, 서일대학 컴퓨터전자과(Department of computer aided system, Seoil College)

**** 정회원, 국방기술품질원(DAPA)

***** 정회원, 삼성탈레스(Sam-sung Thales)

※ 본 연구는 동국대학교 ERC 센터인 밀리미터파 신기술연구센터(MINT)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

접수일자:2007년 5월15일, 수정완료일:2007년8월17일

I. 서론

Single balanced 믹서는 높은 격리특성, 양호한 변환 손실 특성 및 낮은 IMD 특성을 만족하기 때문에 널리 사용된다. 그러나 회로의 구조가 복잡하고 크기가 큰 IF 발륄을 필요로 하기 때문에 전체적으로 크기가 커지고 시스템의 가격이 상승된다는 단점이 있다. Single balanced 믹서를 설계하기 위해서는 커플러 회로가 필요하다. 그러나 일반적으로 많이 사용하는 커플드라인 커플러는 주파수가 높아짐에 따라 라인과 라인사이의 간격이 너무 좁아져 구현하기 힘들다는 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 커플드라인을 병렬로 연결한 tandem 커플러를 설계하였다. Tandem 커플러는 제작이 용이하며 광대역 특성을 갖는다^[1]. 94 GHz 대역은 공기중 신호흡수 감쇠가 적어 레이더 및 센서 등의 응용을 위해 연구가 진행되어 왔다^[2]. 94 GHz 대역에서 동작하는 회로의 경우 매우 우수한 능동소자의 설계 및 제작기술을 필요로 한다. 그러나 현재 일반적으로 많이 사용되는 PHEMT (Pseudomorphic HEMT) 및 HBT(Heterojunction Bipolar Transistor) 소자로는 양호한 성능을 얻기가 힘들다. 따라서 외국의 경우 이들 보다 성능이 우수한 InP HEMT를 이용한 결과들이 보고되고 있다^[3]. 그러나 InP는 가격이 매우 고가이며 깨지기 쉽다는 단점이 있어, 기존의 GaAs위에 웨이퍼를 제작할 수 있는 Metamorphic HEMT(MHEMT) 최근 활발히 연구되고 있다. MHEMT의 경우 InP HEMT의 비해 상대적으로 가격이 저렴하며, 3인치 이상의 GaAs 기판에서 성장이 가능하고 InP HEMT와 대등한 성능을 갖는 결과들이 발표되고 있다^[4~6].

본 논문에서는 single balanced 믹서의 단점인 IF 발륄이 필요로 하지 않는 구조를 보완하기 위해 94 GHz tandem 커플러를 이용하여 single balanced cascode 믹서를 설계 및 제작하였다. 믹서의 개발을 위해 MHEMT와 CPW 라이브러리를 설계 및 제작하였으며, 회로 설계를 위한 CPW 라이브러리를 구축하였다.

II. 회로 설계

1. 라이브러리 구성

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

$\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$	$6 \times 10^{18}/\text{cm}^3$	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	24 nm
$\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$	undoped	4 nm
δ -doping $1.3 \times 10^{12}/\text{cm}^2$		
$\text{Al}_{0.48}\text{As}$	undoped	40 nm
$\text{InAl}_{1-x}\text{As}$ ($x = 0 \sim 0.5$)	undoped	100 nm
S.I. GaAs substrate		

그림 1. MHEMT 소자의 에피층 구조.

Fig. 1. Epi-structure of MHEMT device.

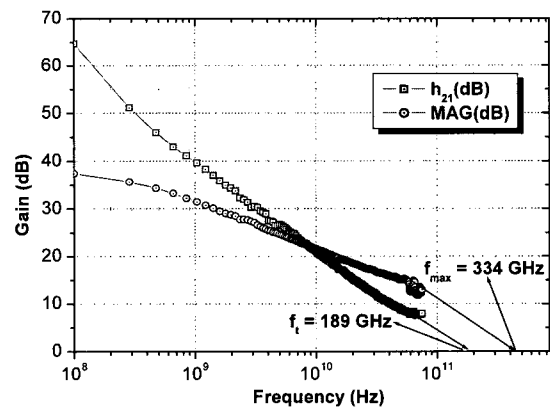


그림 2. MHEMT의 RF 특성 측정 결과.

Fig. 2. The RF measured result of MHEMT.

접촉을 위해 성장시켰다. 활성층 밑에 버퍼층은 $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$ 버퍼 레이어를 0에서 50%까지 인듐의 mole fraction을 변화시키며 S·I GaAs 기판위에 1 μm 의 두께로 성장시켰다. 또한 400 nm 두께의 $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ 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 오믹 공정, 0.1 μm Γ -gate 공정, 노출된 소자 채널을 보호하기 위한 Si_3N_4 적층 공정 및 RIE(Reactive Ion Etching), 격리된 전극의 연결을 위한 Air-bridge 공정 순으로 제작되었다^[7].

제작된 MHEMT의 DC 특성 측정결과 단위 게이트 폭이 70 μm 이고 평형 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

표 1. 70 $\mu\text{m} \times 2$ MHEMT 소자의 DC 및 RF 특성
 Table 1. DC and RF characteristics of 70 $\mu\text{m} \times 2$ MHEMT.

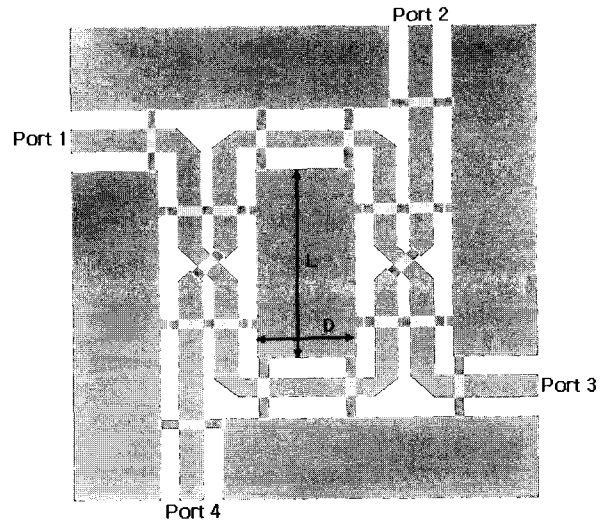
구분	값	단위
게이트 길이	0.1	μm
단위 게이트 폭	70	μm
게이트 핑거수	2	개
드레인 전류밀도	665	mA/mm
g_m	691	mS/mm
f_T	189	GHz
f_{max}	334	GHz

mA/mm 이며, 최대 전달컨덕턴스(G_m)는 $691 \text{ mS}/\text{mm}$ 를 얻었다. 또한, 제작된 MHEMT의 RF 특성은 ME7808A Vector Network Analyzer를 이용하여 $0.1 \sim 75 \text{ GHz}$ 의 주파수 영역에서 측정하였다. 그림 2는 MHEMT의 RF 특성을 나타낸 것으로 전류이득 차단주파수는 189 GHz , 최대공진 주파수는 334 GHz 의 양호한 측정결과를 얻었다. 표 1은 제작된 MHEMT의 DC 및 RF 특성을 요약한 것이다.

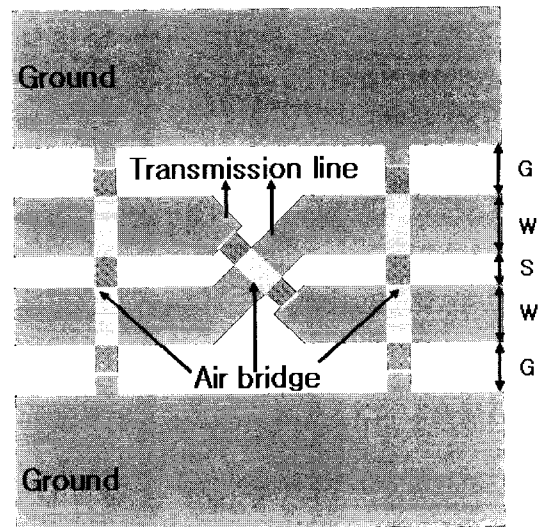
MIMIC 믹서의 설계를 위해서는 HEMT의 동작 특성을 표현하는 소자 모델의 개발을 해야만 한다. 따라서 본 논문에서는 MHEMT의 비선형 모델을 추출하였다. 단위게이트 폭이 $70 \mu\text{m}$ 이고 핑거수가 2개인 MHEMT 소자의 비선형 모델을 추출하였다. 또한 MIMIC 믹서의 설계 및 제작을 위해 CPW(coplanar waveguide) 라이브러리를 구축하였다. CPW 라이브러리를 구축하기 위하여 $35, 50, 70 \Omega$ 의 특성 임피던스를 갖는 전송 선로를 설계 및 제작하였으며, 불연속 특성을 고려하기 위하여 Curve, Tee, Cross의 라이브러리를 구축하였다. 또한 90 nm Ti 금속을 사용한 박막저항과 $100 \text{ nm Si}_3\text{N}_4$ 박막을 이용한 MIM 커패시터를 설계 및 제작하여 모델을 구축하였다. 제작된 박막저항의 측정결과는 $31.1 \sim 35.1 \Omega/\square$ 의 sheet 저항 값을 얻었고 MIM 커패시터의 측정결과는 $0.485 \sim 0.538 \text{ fF}/\mu\text{m}^2$ 의 값을 얻었다.

2. 94 GHz tandem 커플러

94 GHz single balanced casocde 믹서에 사용하기 위하여 94 GHz Tandem 형 3 dB 방향성 커플러를 설계 및 제작하였다. 이는 기존의 edge-coupled 선로를 이용한 3 dB 커플러가 가지는 제작의 어려움과 방향성의 문제를 개선하기 위해 단일 결합선로를 다단으로 병행하게 연결한 구조이다. 그리고 기존의 Tandem 커플러 제작에서 사용되어왔던 다층 기판 구조나 본딩 구조



(a) Tandem 커플러 레이아웃
 (a) Layout of tandem coupler.



(b) 에어브리지 구조
 (b) Air-bridge structure.

그림 3. 94 GHz tandem 커플러의 레이아웃
 Fig. 3. Layout of the 94 GHz tandem coupler.

가 아닌 에어브리지 구조를 이용하여 단일 평면으로 쉽게 구현할 수 있도록 하였다^[8].

94 GHz tandem 커플러는 특성 임피던스를 위한 전송선로의 두께 (W)와 전송선로와 그라운드 사이의 간격 (G), 커플링 효과를 위한 전송선로와 전송 선로 사이의 간격 (S)을 기본으로 설계되었다^[1]. 그림 3은 설계된 94 GHz tandem 커플러의 평면도이며, 포트 1은 입력포트, 포트 2와 3은 thru와 coupling 포트 그리고 포트 4는 격리포트이다. 94 GHz tandem 커플러에 사용된 각 파라미터의 값들은 표 2에서 보여준다. 이 커플러는

표 2. 94 GHz tandem 커플러의 파라미터
Table 2. Parameters of the 94 GHz tandem coupler.

구분	값	구분	값
ϵ_r (GaAs)	12.9	L (커플러)	268 μm
h (GaAs)	680 μm	W (커플러)	26 μm
Loss tangent (GaAs)	0.003	G (커플러)	22 μm
Metal thickness (Au)	0.7 μm	S (커플러)	14 μm
H (air bridge)	3 μm	D (커플러)	108 μm

50 Ω 의 특성임피던스이고, Agilent사의 Line-Calculator를 이용하여 설계되었다.

3. 94 GHz single balanced cascode 믹서

Single balanced 믹서는 입출력 합성회로와 독립된 두 개의 single ended 믹서로 이루어진 형태이다. Single balanced 믹서는 합성회로에 의해 두 개의 믹서의 입력측에 일정한 위상차를 가지는 두 개의 입력신호가 입력된다. 이와 같은 balanced 형태의 믹서를 이용하면 불필요한 신호를 쉽게 제거하거나, 각 포트간 격리 특성을 우수하게 설계할 수 있다.

그림 4는 cascode 형태의 드레인 믹서 구조이다. 그림에서 볼 수 있듯이 RF 신호는 FET1의 게이트에, LO 신호는 FET2의 게이트에 인가된다. 주파수 혼합이 일어나는 FET1을 기준으로 볼 때 LO신호가 드레인에 인가되기 때문에 드레인 믹서로 동작한다. LO 신호가 커질 때에는 FET1이 전류 포화영역에 들어가게 된다. 그러면 G_m 은 커지고 드레인과 소스 사이의 컨덕턴스(g_{ds})는 작아지게 된다. 반대로 LO 신호가 작아지면 다

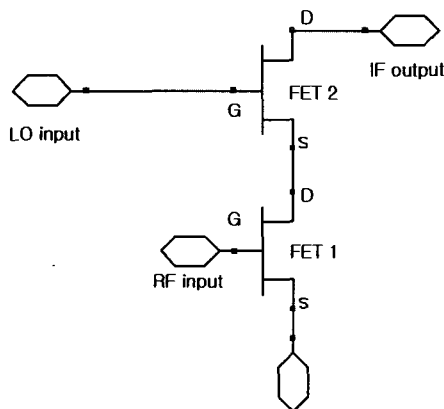


그림 4. 드레인 형태의 cascode FET 믹서구조
Fig. 4. Cascode drain type FET mixer structure.

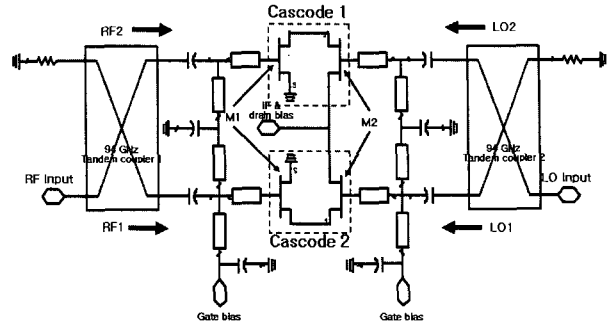


그림 5. 94 GHz MIMIC single balanced cascode 믹서의 회로도

Fig. 5. Circuit diagram of the 94 GHz MIMIC single balanced cascode mixer.

시 선형영역으로 들어오게 되고, G_m 은 작아지고 g_{ds} 는 커지게 된다. 이와 같이 두 파라미터의 비선형성을 이용해서 주파수 혼합을 일으키는 것이다. 또한 드레인 믹서는 드레인에서 게이트 쪽으로 기본적인 분리도 특성을 가지고 있기 때문에 우수한 LO-RF 격리도를 얻을 수 있다.

그림 5는 설계된 94 GHz single balanced cascode 믹서의 회로도를 보여준다.

Tandem 커플러 2에 입력된 LO 신호는 0° 위상 지연된 LO1 신호와 90° 위상 지연된 LO2 신호로 분리된다. Tandem 커플러 2를 거쳐 0° 위상 지연된 LO1 신호는 cascode2를 지나 tandem 커플러 1의 0° 위상 지연되는 경로를 통해 RF 입력포트로 입력된다. 이때 LO1 신호는 총 0°의 위상 지연을 갖는다. 또한 Tandem 커플러 2를 거쳐 90° 위상 지연된 LO2 신호는 cascode1을 지나 tandem 커플러 1의 90° 위상 지연되는 경로를 통한 후 RF 입력포트로 입력된다. 이때 LO2 신호는 총 180°의 위상 지연을 갖는다. RF 입력포트에서 합쳐지는 LO1 (0° 위상지연)과 LO2 (180° 위상지연)된 신호는 180°의 위상차를 갖고 서로 상쇄된다. 따라서 LO-RF의 높은 격리특성을 얻을 수 있다. Tandem 커플러 1을 통한 RF 신호는 0° 위상 지연된 RF1 신호와 90° 위상 지연된 RF2 신호로 나누어진다. RF2 신호는 cascode1의 M1으로 입력되어 M2로 입력된 LO2 신호와 혼합된다. 또한 RF1 신호는 cascode2의 M1으로 입력되어 M2로 입력된 LO1 신호와 혼합된다. Cascode1과 cascode2에서 혼합된 신호는 IF 신호를 만들어 내며, cascode1에서 만들어진 IF 신호는 식(1)과 같고, cascode2에서 만들어진 IF 신호는 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} & \cos(\omega_{RF}t + 90') + \cos(\omega_{LO}t + 90') \\ &= \cos[(\omega_{RF} - \omega_{LO})t + (90' - 90')] \end{aligned} \quad (1)$$

$$= \cos(\omega_{RF} - \omega_{LO})t$$

$$\begin{aligned} & \cos(\omega_{RF}t) + \cos(\omega_{LO}t) \\ &= \cos(\omega_{RF} - \omega_{LO})t \end{aligned} \quad (2)$$

위 식과 같이 casocde1과 cascode2에서 만들어진 IF 신호의 위상이 같기 때문에 별도의 IF 발룬이 필요 없다. 설계된 믹서는 RF와 LO 포트에 두 개의 tandem 커플러를 사용하였고, 4개의 $70 \times 2 \mu\text{m}$ MHEMTs를 주파수 혼합용 부품으로 사용하였다.

III. 실험 결과

설계된 MIMIC single balanced cascode 믹서는 MHEMT MIMIC 공정을 사용하여 제작되었다^[9~10]. 그림 6에 94 GHz MIMIC 믹서의 제작 공정 단계를 나타내었다. 그림 7은 제작된 94 GHz MIMIC 믹서의 표면 사진으로 칩 면적은 $2.58 \text{ mm} \times 1.38 \text{ mm}$ 이다. LO, RF, Vg의 포트는 시스템상의 여러 부품과 연결하기 용이하게 칩의 끝에 위치하여 있다. 그러나 IF&Vd 포트는 칩 중앙에 있다. 포트의 위치는 회로의 구조상 어찌할 수 없으며, 비교적 주파수가 낮은 IF 포트를 중앙에 위치시켰다.

그림 8은 65 GHz ~ 110 GHz 대역에서의 94 GHz tandem 커플러의 측정 결과와 시뮬레이션 결과를 보여준다. 측정결과 94 GHz 대역에서 3.93 dB의 thru 특성과 3.26 dB의 커플링 특성을 얻었다. 또한 전 대역에서 -17 dB 이하의 반사손실과 -15.5 dB이상의 격리특성을

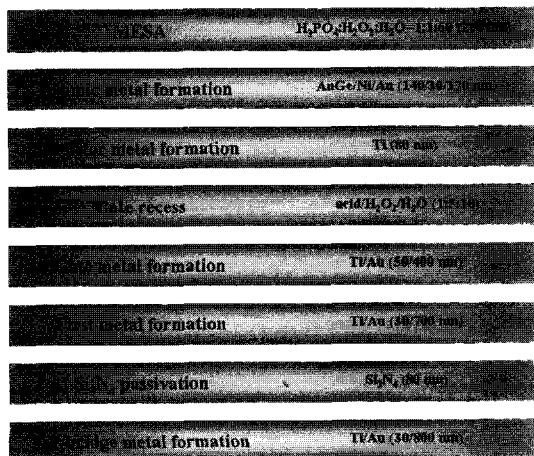


그림 6. MIMIC 믹서의 제작 공정
Fig. 6. Process procedure of MIMIC mixer.

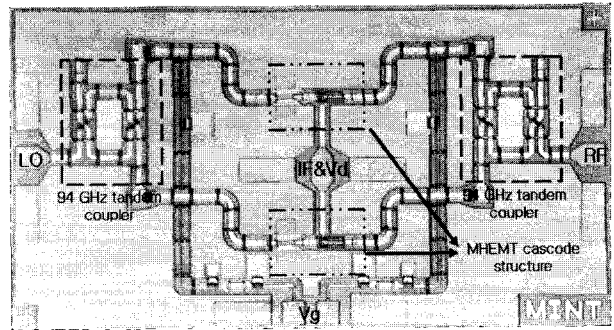


그림 7. 제작된 MIMIC 94 GHz single balanced cascode 믹서의 칩 사진
Fig. 7. A photograph of the fabricated MIMIC 94 GHz single balanced cascode mixer.

얻었다. Single balanced cascode 믹서는 온-웨이퍼 측정시스템을 이용하였고, 측정시 생긴 케이블로스와 프

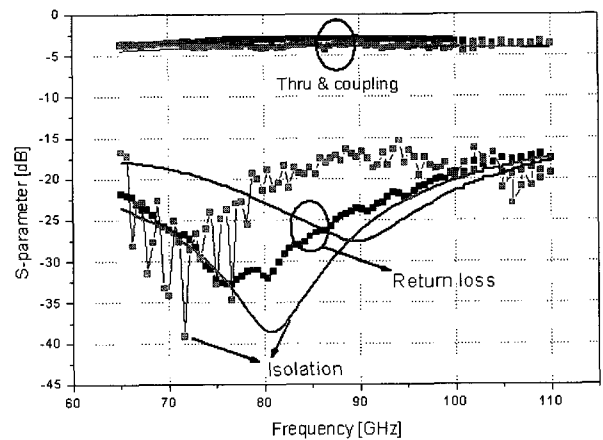


그림 8. 94 GHz tandem 커플러의 측정 및 시뮬레이션 결과 (o : 측정, — : 시뮬레이션)
Fig. 8. Measured and simulation 4 port S-parameter of 94 GHz tandem coupler. (o : measurement, — : simulation)

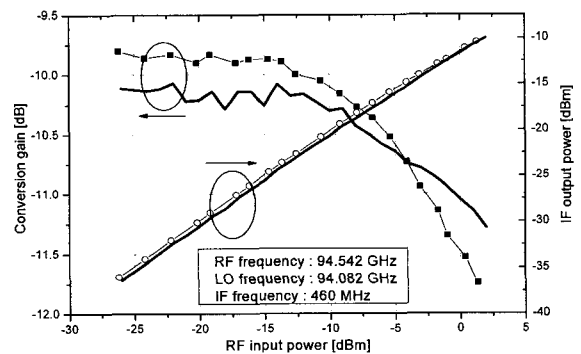


그림 9. RF 입력 파워에 대한 변환손실과 IF 출력파워 (o : 측정, — : 시뮬레이션)
Fig. 9. Conversion gain and IF output power versus RF input power. (o : measurement, — : simulation)

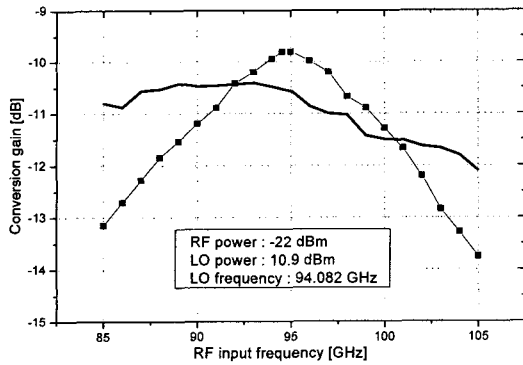


그림 10. RF 입력 주파수 변화에 대한 변환손실 (o : 측정, — : 시뮬레이션)

Fig. 10. Conversion gain versus RF input frequency. (o : measurement, — : simulation)

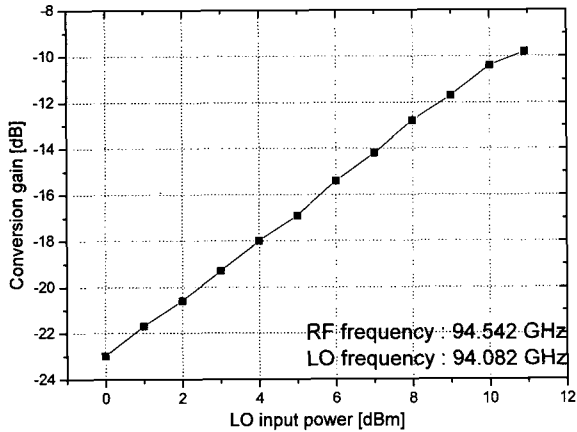


그림 11. LO 입력 파워에 대한 변환손실특성 Fig. 11. conversion gain versus LO input power.

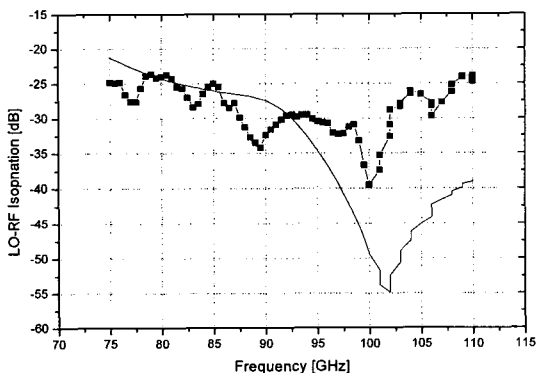


그림 12. RF 입력 주파수에 대한 LO-RF 격리특성 (o : 측정, — : 시뮬레이션) Fig. 12. LO to RF isolation versus frequency. (o : measurement, — : simulation)

로브로스는 보상하였다. 믹서는 파워가 -19.1 dBm이고 주파수가 94.542인 RF 신호와, 크기가 10.9 dBm이고

표 3. 보고된 밀리미터파 대역의 single balanced 믹서와 비교

Table 3. Comparison of the reported millimeter wave single balanced mixer.

Ref.	주파수 (GHz)	LO-RF Isolation (dB)	Device
[11]	77	30.0	GaAs PHEMT
[12]	30	22.0	GaAs FET
[13]	94	27.0	Inp HEMT
This paper	94	29.5	GaAs MHEMT
	100	39.5	

주파수가 94.082 GHz인 LO 신호를 사용하여 측정하였으며 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 그림 9은 RF 입력 파워 변화에 대한 변환손실 특성 및 IF 출력파워 특성을 보여준다. LO 신호가 10.9 dBm일 때 9.8 dB의 변환손실 특성을 얻었다. 그리고 -4 dBm의 input P_{1dB}와 -14.8 dBm의 P_{1dB} 특성을 측정하였다.

그림 10은 RF 입력 파워가 -22 dBm일 때 RF 입력 주파수 변화에 대한 변환손실 특성을 측정한 결과이며, 그 결과 86 ~ 102 GHz 대역에서 12.8 dB 이하의 변환손실 특성을 보여준다. 그림 11은 LO 입력파워에 대한 변환손실 특성을 보여주는 그래프이다. LO 입력파워가 증가함에 따라 변환손실특성이 좋아짐을 보여준다. 그러나 현재 보유하고 있는 94 GHz VCO의 최대 파워가 제한이 있기 때문에 LO 입력파워가 10.9 dBm일 때 까지 측정 하였다. 그림 12는 LO-RF 격리도 특성을 측정한 결과이며 94 GHz와 100 GHz에서 각각 -29.5 dB와 -39.5 dB의 양호한 격리 특성을 보여준다. 표 3은 이미 발표된 밀리미터파 대역의 single balanced 믹서들과 비교한 것을 보여 준다^[11~13]. 밀리미터파 대역에서 보고된 single balanced 믹서의 특성으로 기존 믹서의 LO-RF 격리도 22 ~ 30 dB에 비하여 본 논문에서 제작된 94 GHz MIMIC single balanced cascode 믹서가 더 높은 LO-RF 격리도 특성을 나타내었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 94 GHz tandem 커플러를 이용하여 높은 LO-RF 격리특성의 MIMIC single balanced cascode 믹서를 설계 및 제작하였다. MIMIC 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.

MIMIC single balanced cascode 믹서의 변환손실 특성은 94 GHz에서 9.8 dB의 양호한 특성을 나타내었으며, LO-RF 격리도는 94 GHz와 100 GHz에서 29.5 dB와 39.5 dB로 양호한 특성을 얻었다. 본 논문에서 설계 및 제작된 94 GHz MIMIC single balanced cascode 믹서는 기존의 밀리미터파 대역 믹서와 비교하여 높은 LO-RF 격리도 특성을 나타내었다. 또한 single balanced cascode 믹서를 구성하는 두 개의 single ended cascode 믹서에서 주파수 합성으로 생성된 IF 신호의 위상이 같기 때문에 IF 발룬을 필요로 하지 않아 시스템 응용에 장점을 가지고 있다.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 우수연구센터육성사업의 지원으로 수행되었음(R11-1999-058-01005-0)

참고 문헌

- [1] Sung-Woon Moon, Min Han, Jung-Hun Oh, Jin-Koo Rhee, Sam-Dong Kim, "V-Band CPW 3-dB Tandem coupler Using Air-Bridge Structure," *IEEE Microw. Wirelee Compon. Lett.*, Vol 16, NO 4, pp. 149~151. 2006
- [2] 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.
- [3] H. Wang, R. Lai, T. H. Chen, P. D. Chow, J. Velebir, K. L. Tan, D. C. Streit, P. H. Liu and G. Ponchak, "A Monolithic W-band Three-stage LNA Using 0.1 μ m InAlAdInGaAs/InP HEMT Technology", *Microwave Symposium Digest, 1993, IEEE MTT-S International*, vol.2, pp. 519 - 522. 1993
- [4] Bok Hyung Lee, Dan An, Mun Kyo Lee, Byeong Ok Lim, Sam Dong Kim, and Jin Koo Rhee, "Two stage broadband high gain W-band amplifier using 0.1- μ m metamorphic HEMT technology," *IEEE Elec. Device Lett.*, vol. 25, no. 12, pp. 766-768, Dec. 2004.
- [5] M. Dammann, A. Leuther, A. Tessmann, H. Massler, M. Mikulla and G. Weimann, "Reliability of 50nm low-noise metamorphic HEMTs and LNAs", *Electronics Letters*, Vol.41, Issue 12, pp.699~701, June 2005.
- [6] Mikael Malmkvist, Anders Mellberg, and Jan Grahn, "A W-band MMIC amplifier using 70-nm gate length InP HEMT technology" *Gallium Arsenide and Other Semiconductor Application Symposium*, 2005. EGAAS 2005. European, pp. 165~168. Oct. 2005.
- [7] Bok-Hyung Lee, Dong-Hoon Shin, Sam-Dang Kim, and Jin-Koo Rhee, "High Maximum Frquency 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.
- [8] Tien-Yu Chang; Chun-Lin Liao; Chun Hsiung Chen, "Coplanar-waveguide tandem couplers with backside conducto:", *MWCL, IEEE*, Vol.13, Issue 6, pp. 214~216. June 2003.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Ludger Verweyen, Hermann Massler, Markus Neumann, Ulrich Schaper, and William H. Haydl, "Coplanar Integrated Mixers for 77-GHz Automotive Applications," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 8, no. 1, pp. 38~40, Jan. 1998.
- [12] Thomas A. Bos, and Edmar Camargo, "A Balanced Resistive Mixer Avoiding an IF Balun," *2002 IEEE MTT-S Digest*, pp. 245~248.
- [13] A. R. Barnes, P. Munday, R. Jennings, and M. T. Moore, "A comparison of W-band monolithic resistive mixer architectures," *2002 IEEE MTT-S Digest*, pp. 1867~1870.

저 자 소 개



이 상 진(학생회원)
 2003년 중부대학교 정보통신 공학과 공학사,
 2005년 동국대학교 전자공학과 공학석사
 2005년~현재 동국대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 반도체 및 RF 집적회로 설계, MIMIC를 이용한 통신 모듈설계, Flip chip 기술을 이용한 패키징>



안 단(정회원)
 1998년 동국대학교 전자공학과 공학사
 2000년 동국대학교 전자공학과 공학석사
 2006년 동국대학교 전자공학과 공학박사

2007년~현재 국방기술품질원 연구원
 <주관심분야 : 마이크로파 소자 및 회로설계, MMIC 설계 및 소자 모델링>



이 문 교(학생회원)
 1999년 배재대학교 전자공학과 공학사,
 2001년 동국대학교 전자공학과 공학석사,
 2001년~현재 동국대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 무선통신 시스템, MIMIC 설계 및 소자 모델링>



문 성 운(학생회원)
 2004년 동국대학교 전자공학과 공학사
 2006년 동국대학교 전자공학과 공학석사
 2006년~현재 동국대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 초고주파회로 및 Radar시스템설계>



방 석 호(학생회원)
 2006년 배재대학교 정보통신 공학과 공학사
 2006년~현재 동국대학교 전자공학과 석사과정
 <주관심분야 : 밀리미터파 수동소자 및 MMIC 설계>



백 태 중(학생회원)
 2003년 중부대학교 정보통신 공학과 공학사,
 2005년 동국대학교 전자공학과 공학석사
 2005년~현재 동국대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : RF MEMS 설계 제작, E-Beam Lithography, MMIC 공정>



권 혁 자(정회원)
 2005년 동국대학교 전자공학과 공학사
 2007년 동국대학교 전자공학과 공학석사
 2007년~현재 삼성탈레스
 <주관심분야 : 밀리미터파 수동소자 및 MMIC 설계>



전 병 철(정회원)
 1999년 한경대학교 전자공학과 공학사
 2001년 동국대학교 전자공학과 공학석사
 2004년 (주)아이티에프 연구원
 2004년~현재 밀리미터파 신기술 연구센터 연구원

<주관심분야 : MIMIC 부품 설계 및 제작>

저 자 소 개

윤진섭(정회원)
대한전자공학회 논문지
제 38 권 SD 편 제 1호 참조



이진구(정회원)
1969년 국립항공대학교
전자공학과 공학사
1975년 서울대학교
전자공학과 공학석사
1982년 Oregon State University,
전기공학과 공학박사

1985년 Cray Research, USA, Research Scientist

1985년 Microwave Semiconductors, USA,
Senior Engineer

1990년~1991년 University of Michigan, Visiting
Research Scientist

1995년~현재 한국전자파학회 이사

2005년~2006년 대한전자공학회 회장

1985년~현재 동국대학교 공과대학 전자공학과
교수

1999년~현재 동국대학교 밀리미터파 신기술연구
센터 소장

<주관심분야 : MMIC 설계, 소자 모델링>