

논문 2004-41TC-12-13

낮은 LO 입력 및 변환손실 특성을 갖는 V-band MIMIC Up-mixer

(The low conversion loss and low LO power V-band MIMIC
Up-mixer)

이 상 진*, 고 두 현*, 진 진 만*, 안 단*, 이 문 교*, 조 창 식*,
임 병 옥*, 채 연 식*, 박 형 무*, 이 진 구*

(Sang Jin Lee, Du Hyun Ko, Jin Man Jin, Dan An, Mun Kyo Lee, Chang Shik Cho,
Byeong Ok Lim, Yeon Sik Chae, Hyung Moo Park, and Jin Koo Rhee)

요 약

본 논문에서는 낮은 LO 입력으로 저 변환손실 특성을 갖는 MIMIC(Millimeter-wave Monolithic Integrated Circuit) V-band up-mixer를 설계 및 제작하였다. Up-mixer는 0.1 μm GaAs PHEMT와 coplanar waveguide (CPW) 전송라인을 사용하여 제작되었다. Up-mixer는 60.4 GHz의 RF 주파수, 2.4 GHz의 IF 주파수와 58 GHz의 LO 주파수에서 동작되도록 설계되었다. Up-mixer는 표준 MIMIC공정을 사용하여 제작되었으며 칩 크기는 2.3 mm×1.6 mm이다. 제작된 up-mixer의 측정결과 입력신호가 -10.25 dBm 이고 LO의 입력 전력이 5.4 dBm 일 때 1.25 dB의 양호한 변환손실 특성을 얻었다. 58 GHz에서 LO와 RF의 격리특성은 -13.2 dB를 나타내었다. 제작된 V-band up-mixer는 기존에 발표된 밀리미터파 up-mixer에 비하여 낮은 LO 입력 전력과 양호한 변환손실 특성을 나타내었다.

Abstract

In this paper, we present MIMIC(Millimeter-wave Monolithic Integrated Circuit) up-mixer with low conversion loss and low LO power for the V-band transmitter applications. The up-mixer was successfully integrated by using 0.1 μm GaAs pseudomorphic HEMTs(PHEMTs) and coplanar waveguide (CPW) structures. The circuit is designed to operate at RF frequencies of 60.4 GHz, IF frequencies of 2.4 GHz, and LO frequencies of 58 GHz. The fabricated MIMIC up-mixer size is 2.3 mm×1.6 mm. The measured results show that the low conversion loss of 1.25 dB when input signal is -10.25 dBm at LO power of 5.4 dBm. The LO to RF isolation is 13.2 dB at 58 GHz. The fabricated V-band up-mixer represents lower LO input power and conversion loss characteristics than previous reported millimeter-wave up-mixers.

Keywords : Up-mixer, LO power, conversion loss, MIMIC

I. 서 론

최근 IT 산업의 발달과 폭넓게 응용되고 있는 무선

통신 산업이 급속하게 성장하고 있다. 따라서 마이크로파 대역은 주파수 대역이 한계점에 이르고 있으며, 넓은 대역폭을 제공할 수 있는 밀리미터파 대역 무선통신에 대한 기술 개발의 중요성이 증가되고 있다. 특히 밀리미터파인 60 GHz는 광대역 실내 무선통신 시스템의 응용으로 많은 연구가 진행되고 있다^[1-2]. 이러한 밀리미터파 대역에서 시스템을 구축하기 위해 송신부에 중요한 부품인 up-mixer는 LO 신호와 IF 신호를 혼합하여 RF 신호를 발생하는 부품이다. 그러나 밀리미터파

정회원, 동국대학교 밀리미터파 신기술연구센터
(Millimeter-wave INnovation Technology research
center, Dongguk University.)

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

접수일자: 2004년7월19일, 수정완료일: 2004년11월15일

대역에서 사용하기 위한 높은 주파수의 LO 출력을 생성하기가 어렵고 매우 고가이기 때문에 전체의 시스템 가격을 상승시키게 된다. 따라서 낮은 LO 입력 전력을 사용하는 mixer의 연구가 많이 진행되고 있다. 본 논문에서는 GaAs PHEMT와 CPW 기술을 이용하여 60 GHz 무선 근거리통신망에 사용할 수 있도록 낮은 LO 입력 전력과 변환손실 특성을 나타내는 MIMIC up-mixer를 설계 및 제작하였다.

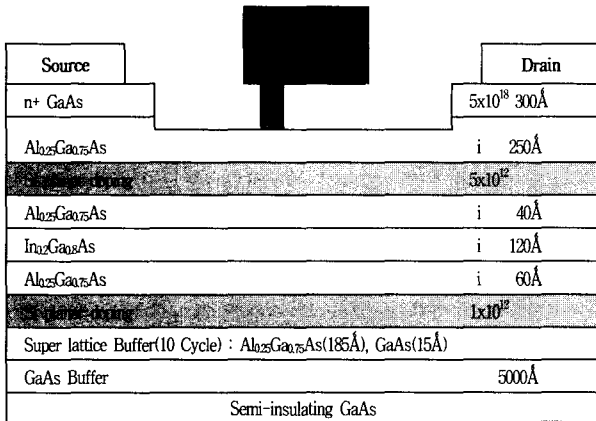


그림 1. Pseudomorphic HEMT 에피층의 단면도
Fig. 1. Cross-sectional view and epi-structure of the GaAs PHEMT.

표 1. 70 μm×2 PHEMT 소자의 DC 및 RF 특성
Table 1. DC and RF characteristics of 70 μm×2 PHEMT.

| Parameters | Data | Units |
|------------|-------|-------|
| 게이트 길이 | 0.1 | μm |
| 단위 게이트 폭 | 70 | μm |
| 게이트 핑거수 | 2 | 개 |
| g_m | 522.4 | mS/mm |
| f_T | 113 | GHz |
| f_{max} | 180 | GHz |

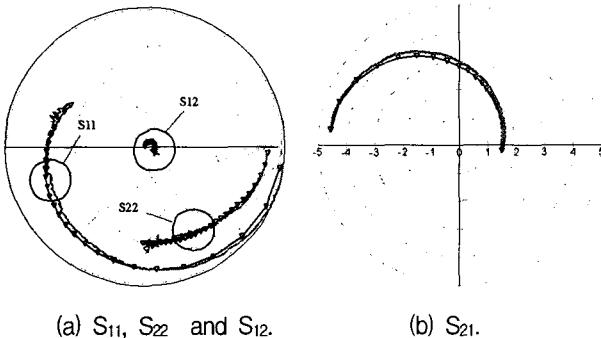


그림 2. PHEMT모델의 추출결과 (o : 측정결과, - : 모델)
Fig. 2. Modeling result of PHEMT (o : measured, - : model).

II. 소자 라이브러리

그림 1은 PHEMT 제작에 사용한 에피층 구조로서 n+ GaAs 캡층, AlGaAs 도우너층, 채널층(channel layer) 및 버퍼층(buffer layer)으로 설계되었다. 그리고 높은 면전하밀도와 항복전압을 개선하기 위하여 spacer 층 바로 위에 Si을 $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 로 높게 도핑 하는 delta doping을 이용하였다.

표 1은 제작된 PHEMT의 특성을 요약한 것으로 게이트 길이가 0.1 μm, 단위 게이트 폭이 70 μm, 핑거 수가 2개이며, 최대 전달컨덕턴스(g_m)는 522.4 mS/mm이고 전류이득차단주파수(f_T)는 113 GHz이고, 최대작동주파수(f_{MAX})는 180 GHz이다. PHEMT 모델은 EEHEMT1 비 선형 모델을 이용하여 추출하였다^[3].

그림 2는 추출된 PHEMT 모델의 S-parameter와 측정된 PHEMT의 S-parameter를 비교한 것이다. 비교시의 바이어스 조건은 $V_G = -0.7 \text{ V}$, $V_D = 2 \text{ V}$ 이고 비교대역은 1~50 GHz이며 비교 결과 제작된 PHEMT와 모델이 잘 일치하였다.

V-band up-mixer는 MIMIC 표준공정을 이용하여 제작되었으며 후면공정이 필요 없는 CPW 구조를 사용했다. CPW 구조는 Microstrip보다 간단한 공정과정과 수율이 높은 장점이 있다^[4]. CPW 라이브러리를 구축하기 위해서 일반적으로 사용하는 35, 50, 75Ω 라인 및 각 특성 임피던스 라인의 불연속성에 대한 모델을 구축하였다. 또한 90 nm Ti 금속을 사용한 박막저항과 100 nm Si₃N₄ 박막을 이용한 MIM 커패시터를 설계 및 제작하여 모델을 구축하였다. 제작된 박막저항의 측정결과는 31.1~35.1 Ω/□ 의 sheet 저항 값을 얻었고 MIM 커패시터의 측정결과는 0.485~0.538 fF/μm²의 값을 얻었다.

III. V-band up-mixer의 설계

V-band mixer의 설계는 낮은 LO 입력 전력 및 변환손실 특성을 얻기 위해 IF port(H1)와 LO port(H2)에 PHEMT를 추가하여 설계하였다. 설계된 PHEMT는 IF와 LO의 신호를 증폭시키고 PHEMT의 S₁₂ 특성에 의하여 격리특성을 향상시키게 된다. 따라서 낮은 LO 입력 전력과 변환손실 및 양호한 격리 특성의 결과를 얻을 수 있다.

Up-mixer는 2.4 GHz의 IF신호, 58 GHz의 LO 신호 그리고 60.4 GHz의 RF 신호로 설계되었다. LO port와

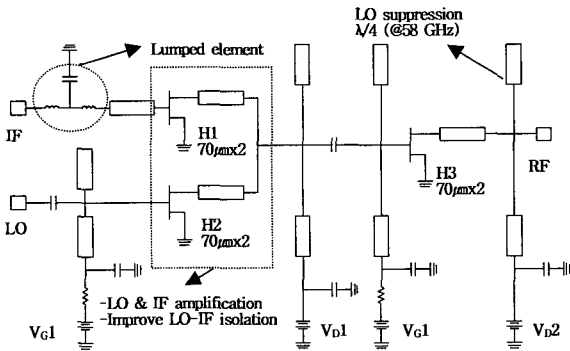


그림 3. Up-mixer의 회로도
Fig. 3. Circuit schematic of the up mixer.

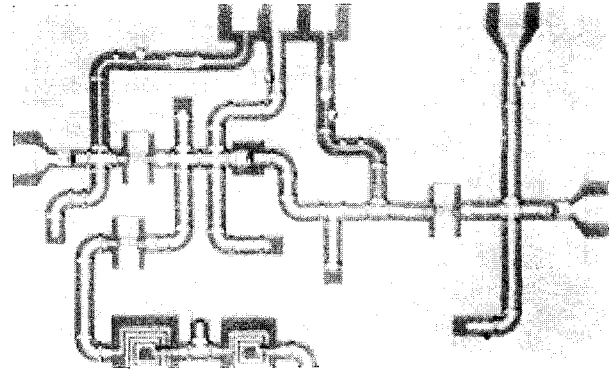


그림 4. 제작된 up-mixer의 사진
Fig. 4. Photograph of the fabricated up-mixer.

출력부인 RF port에는 CPW 전송라인을 이용하여 정합 회로를 설계하였고 상대적으로 낮은 주파수인 IF port 는 집중형 소자를 사용하였다^[5]. 이때 IF port에는 저역 통과필터를 위치시켜 IF 신호에 대한 선택성을 증가 시키고 유입되는 LO 신호와 RF 신호를 막아 격리 특성을 향상시키도록 설계하였다. 또한 출력단인 RF port에 58 GHz에 대한 $\lambda/4$ open stub를 추가하여 LO 신호를 억압시켜 LO와 RF의 격리특성을 향상시켰다. 그림 3에 V-band up-mixer의 회로도를 나타내었다.

IV. 제작 및 측정

제작된 V-band up-mixer는 MINT의 MIMIC 표준공정을 사용하여 제작하였다. MIMIC 공정은 GaAs PHEMT, CPW 전송라인, Ti 저항, MIM 커패시터를 포함한다^[6]. 그림 4는 제작된 V-band up-mixer의 사진이며, 칩의 크기는 2.3 mm x 1.6 mm이다. 그림 5는 2.4 GHz인 IF 입력 전력에 대한 RF 출력의 측정결과이다. IF 입력 전력이 -10.25 dBm 이상일 때 변환이득이 포화 상태가 되고 이때 변환손실은 1.25 dB이다. 그림 6은 LO 주파수 변화에 대한 변환이득의 측정결과이며, 58 GHz 일 때 -1.25 dB의 변환손실 특성을 얻었다. 그림 7은 LO 입력 전력에 대한 변환이득의 측정결과이다. 측정결과 LO 입력 전력이 5.4 dBm 이상일 때 포화상태가 되고 이때 변환손실은 1.25 dB의 결과를 얻었다. 그림 8은 LO 주파수 변화에 따른 LO와 RF의 격리특성의 측정결과를 보여준다. 격리특성은 53 GHz~63 GHz의 대역에서 -22 dB~-12 dB를 얻었다. 표 2는 본 논문에서 연구된 up-mixer와 기존에 발표된 V-band up-mixer와 비교한 것이다^[7-8]. 제작된 V-band up-mixer는 기존에 발표된 V-band up-mixer와 비교하였을 때 낮은 LO 입력 전력으로 작은 변환손실특성을 나타내었다.

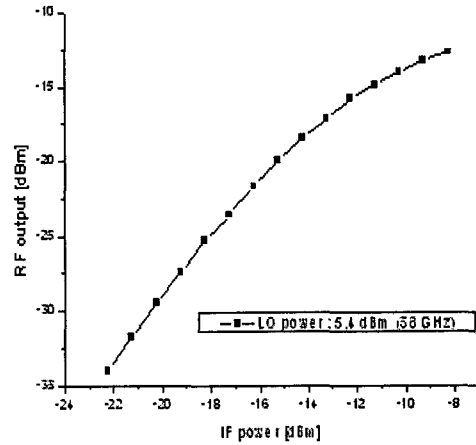


그림 5. IF 입력 전력에 대한 RF 출력 측정결과
Fig. 5. Measured results of RF output vs. IF input.

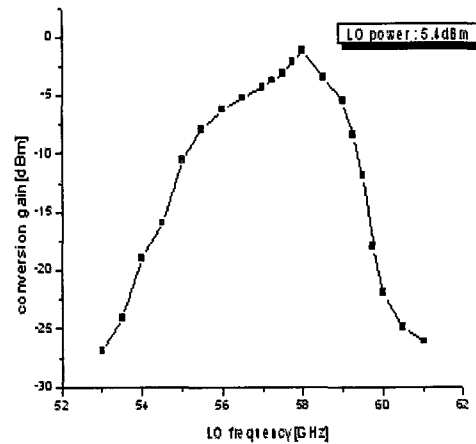


그림 6. LO 주파수 변화에 대한 변환이득 측정 결과
Fig. 6. Measured results of conversion gain vs. LO input frequency.

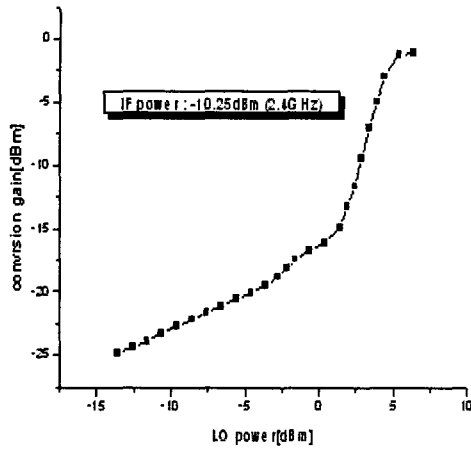


그림 7. LO 입력 전력에 대한 변환이득의 측정 결과
 Fig. 7. Measured results of conversion gain vs. LO input power.

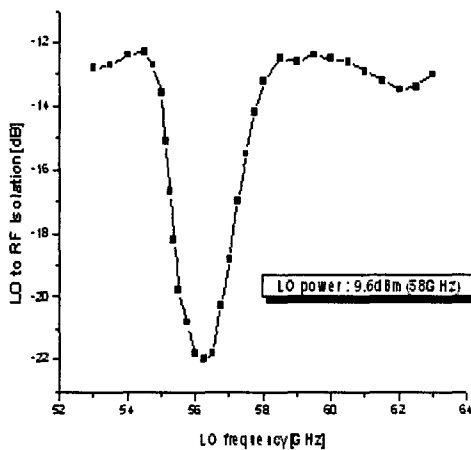


그림 8. LO 주파수 변화에 대한 LO-RF의 격리 특성 측정결과
 Fig. 8. Measured LO-RF isolation of up-mixer.

표 2. 기존에 발표된 V-band up-mixer와 특성비교
 Table 2. Comparison of the reported V-band up-mixer.

| Ref. | Conversion loss | LO input power |
|-----------|-----------------|----------------|
| [7] | 11.0 dB | 5.0 dBm |
| [8] | 5.5 dB | 6.0 dBm |
| This work | 1.25 dB | 5.4 dBm |

IV. 결 과

본 논문에서는 낮은 LO 입력 전력으로 낮은 변환손실 특성을 나타내는 V-band MIMIC up-mixer를 GaAs PHEMT 기술을 이용하여 설계 및 제작하였다. Up

mixer는 0.1 μm GaAs PHEMT와 CPW 전송라인이 포함되어있는 MIMIC 라이브러리를 이용하여 설계하였다.

제작된 up-mixer는 5.4 dBm의 낮은 LO 입력 전력으로 1.25 dB의 낮은 변환손실 특성을 나타내었다. Up mixer는 LO 입력 전력이 5.4 dBm 이상일 때 포화상태가 되었다. LO와 RF의 격리특성은 53 GHz~63 GHz 사이에서 -22 dB~-12 dB의 측정결과를 얻었다. 본 논문에서 제작된 mixer는 기존에 발표된 V-band up-mixer와 비교하였을 때 낮은 LO 입력 전력으로 낮은 변환손실 특성을 나타내었다.

참 고 문 헌

- [1] Ohata, K., Maruhashi, K., Ito, M., Kishimoto, S., Ikuina, K., Hashiguchi, T., Ikeda, K., Takahashi, N., "1.25Gbps wireless Gigabit Ethernet link at 60GHz-band," *2003 IEEE MTT-S International, Microwave Symposium Digest*, vol. 1, pp. 373-376, June 2003.
- [2] A. Yamada, Y. Amano, Y. Motouchi, N/Tankahashi, E. Suematsu, and H. Sato, "A Compact 60 GHz Sub-Harmonically Pumped Mixer MMIC Intergrated with an Image Rejection Filter," *2002 IEEE MTT-S Int, Microwave Symp, Digest*, pp. 1733-1736, 2002.
- [3] J. M. Golio, M. Miller, G. Maracus, D. Johnson, "Frequency dependent electrical characteristics of GaAs MESFETs," *IEEE Trans. Elec. Devices*, vol. ED-37, pp. 1217-1227, May 1990.
- [4] Won-Young Uhm, Woo-Suk Sul, Han-Shin Lee, Sam-Dong Kim, Hyung-Moo Park, and Jin-Koo Rhee, "High-Performance V-band Monolithic Quadruple Subharmonic Mixer With Anti-Parallel Diode Pair," *Micro. and Optical Tech. Lett.* vol. 40, No. 5, pp. 349-352, March 2004.
- [5] Dan An, Sung Chan Kim, Woo Suk Sul, Hyo Jong Han, Hyung Moo Park, Jin Koo Rhee, "High-conversion-gain Millimeter-Wave x4 Subharmonic Mixer with Cascode 4th-harmonic generator" *Micro. and Optical Tech. Lett.* vol. 41, No. 6, pp. 491-493, June 20 2004.
- [6] 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*, 35(12), pp. S1043-S1046, 1999.
- [7] Madhian, M., Desclos, L., Maruhashi, K., Onda, K., Kuzuhara, M., "60-GHz monolithic down-and up-converters utilizing a source-injection

concept," *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 46, pp. 1003-1006, July 1998.

[8] Itoh, K., Tajima, K., Kawakami, K., Ishida, O., Mizuno, K., "Fundamental limitations on output power and conversion loss of an even harmonic mixer in an up-conversion operation," *Micro-wave Symposium Digest, 1997., IEEE MTT-S International*, vol. 2, pp. 849-852 June 1997.

저 자 소 개



이 상 진(정회원)
2003년 중부대학교 정보통신
공학과 공학사
2003년~현재 동국대학교
전자공학과 석사과정
<주관심분야: 반도체 및 RF 집적
회로 설계, MIMIC를 이용한 통신
모듈설계>



조 창 식(정회원)
2002년 경원대학교 물리학과
이학사
2003년~현재 동국대학교
전자공학과 석사과정
<주관심분야: 밀리미터파 소자 및
회로 설계 제작>



고 두 현(정회원)
2003년 2월 동국대학교
전자공학과 공학사
2003년 2월~현재 동국대학교
전자공학과 석사과정
<주관심분야: MIMIC 설계, 밀리
미터파 회로 및 시스템>



임 병 옥(정회원)
2000년 동국대학교 전자공학과
공학사
2002년 동국대학교 전자공학과
공학석사
2002년~현재 동국대학교
전자공학과 박사과정
<주관심분야: MIMIC 부품 설계 및 제작>



진 진 만(정회원)
2003년 한경대학교 전자공학과
공학사
2003년~현재 동국대학교
전자공학과 석사과정
<주관심분야: 반도체 및 RF 집
적회로 설계, MIMIC를 이용한 통
신 모듈설계>



채 연 식(정회원)
1997년 동국대학교 전자공학과
공학석사
2002년 동국대학교 전자공학과
공학박사
2002년~현재 동국대학교 밀리미
터파 신기술연구센터
연구교수
<주관심분야: 반도체 및 RF 집적회로 설계,
MIMIC를 이용한 통신 모듈설계>



안 단(정회원)
1998년 동국대학교 전자공학과
공학사
2000년 동국대학교 전자공학과
공학석사
2000년~현재 동국대학교
전자공학과 박사과정
<주관심분야: 마이크로파 소자 및 회로설계,
MMIC 설계 및 소자 모델링>



박 형 무(정회원)
1978년 서울대학교 전자공학과
공학사
1980년 한국과학기술원
전자공학과 공학석사
1984년 한국과학기술원
전자공학과 공학박사
1984년~1999년 한국전자통신연구원 연구원
1999년~현재 동국대학교 전자공학과 교수
<주관심분야: MIMIC 설계>

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 및
 소자 모델링>



이 진 구(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 Univer- sity of Michigan,
 Visiting Research Scientist,

1995년~현재 한국 전자과학회 이사,

1996년~현재 한국산업인력관리공단, 기술사
 검정 심의위원,

2002년~현재 대한전자공학회 부회장,

1985년~현재 동국대학교 공과대학 전자공학과
 교수,

1999년~현재 밀리미터파 신기술 연구센터 소장

<주관심분야: 초고속반도체소자, MIMIC >