

Ku-band용 Double Balanced MMIC Mixer의 설계 및 제작

Design of Double Balanced MMIC Mixer for Ku-band

류 근 관

(Keun-Kwan, Ryu)

요 약

본 논문에서는 Ku-band용 주파수 하향변환기에 사용할 수 있는 MMIC (monolithic microwave integrated circuit) mixer를 InGaAs/GaAs p-HEMT 공정의 Schottky diode를 이용하여 설계 및 제작하였다. 일반적인 double balanced mixer의 구조에서 IF단자와 LO 단자를 서로 바꾸어 설계함으로써 MMIC chip의 크기를 크게 줄일 수 있었다. 설계된 MMIC mixer는 RF(14.0 - 14.5 GHz)와 IF(12.252 - 12.752 GHz)의 주파수 대역에서 사용할 수 있다. 제작된 초소형의 MMIC mixer chip은 크기가 3.3 mm X 3.0 mm이고, on-wafer 측정 결과 9.8 dB 이하의 변환손실과 23 dB 이상의 RF-to-IF 격리도 및 38 dB 이상의 LO-to-IF 격리도의 특성을 각각 얻었다.

Abstract

A MMIC (monolithic microwave integrated circuit) mixer chip using the Schottky diode of an InGaAs/GaAs p-HEMT process has been developed for the receiver down converter of Ku-band. A different approach to the MMIC mixer structure is applied for reducing the chip size by the exchange of ports between IF and LO. This MMIC covers with RF (14.0 - 14.5 GHz) and IF (12.252 - 12.752 GHz). According to the on-wafer measurement, the miniature (3.3X3.0 mm) MMIC mixer demonstrates conversion loss below 9.8 dB, RF-to-IF isolation above 23 dB, LO-to-IF isolation above 38 dB, respectively.

Key Words : MMIC, mixer, double balanced, Ku-band

I. 서 론

마이크로웨이브 대역의 transceiver 개발 기술은 최근 급격히 성장하는 상업용 무선통신의 발달과 함께 급격히 성장하고 있으며 그 사용 주파수 또한 S-band (2-4GHz)에서 Ku-band(12-14 GHz) 및 Ka-band (26.5-40GHz)로 확대되고 있다. 이러한 통신시스템에 사용되는 receiver down converter는 전체 시스템의

performance에 가장 큰 영향을 미치므로 중요한 block 으로서 여겨지고 있다. Receiver down converter는 local oscillator와 더불어 mixer의 동적영역(operating range), LO-IF 격리도, RF-LF 격리도 및 conversion loss 특성이 주요 관건이 된다. 뿐만 아니라 무선통신 시스템의 소형화와 가격 절감을 위해 MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[1].

* 회원 : 한밭대학교 전자공학과 전임강사

† 논문접수일 : 2003년 9월 15일

Mixer는 RF(Radio Frequency)의 입력주파수를 LO를 이용하여 IF(Intermediate Frequency)의 주파수 대역으로 하향 변환하거나 IF를 RF로 상향 변환시키는 주파수 혼합기이다. Ku-대역 이상의 주파수에서는 부품 설계 시 패키지에 의한 기생 성분을 제거할 수 있고, 부품 제작의 용이성과 양산성이 뛰어난 MMIC로 접근이 고려되고 있다. 송수신 모듈에서 주파수를 변환시켜주는 역할을 하는 mixer는 double balanced type이 많이 사용되고 있다. 이는 single ended 및 single balanced type등의 구조에 비해 port들 간의 우수한 격리도, 광대역 특성, 그리고 RF와 LO의 even harmonic 억제 등의 여러 가지 장점들이 있다^{[2][3]}. 또한, Ku-대역의 mixer는 낮은 변환손실과 높은 port간 격리도가 요구되는 부품으로서 일반적으로 Schottky diode mixer가 GaAs MESFET Mixer 보다 그 특성이 우수한 것으로 알려져 있다^[4]. Mixer의 높은 신뢰성과 매우 낮은 conversion loss를 얻기 위해서는 안정된 MMIC 제작공정을 갖추고 있는 foundry를 이용하여 설계하는 것이 필수적이다. 본 논문에서는 RF 신호를 하향 변환하기 위한 receiver down converter에 사용될 MMIC mixer의 설계방법을 제시하고 이를 이용하여 Ku-band용 Double balanced MMIC mixer chip을 설계 및 제작하였다.

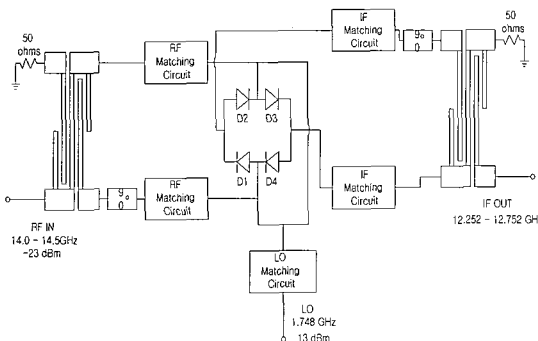
II. Double Balanced MMIC Mixer 설계

본 논문에서는 TRW의 InGaAs/GaAs p-HEMT 공정의 Schottky diode소자를 사용하여 RF 주파수 14.0~

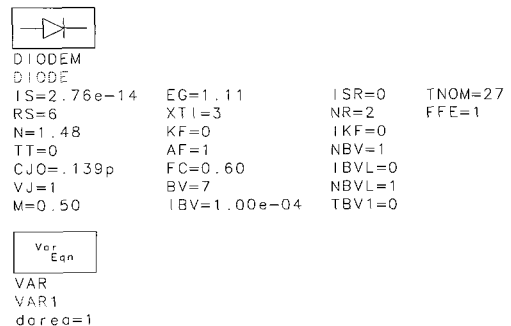
14.5 GHz, LO 주파수 1.748 GHz, IF 주파수 12.252~12.752 GHz의 MMIC mixer를 설계하고자 한다. Mixer의 구조로는 ports 간에 우수한 격리도, 광대역 특성 그리고, RF와 IF의 even harmonic 억제 등의 장점이 있는 180° hybrid를 이용한 double balanced mixer 구조를 이용하였다. 그림 1은 본 논문에서 설계한 double balanced mixer의 구성도를 보여주고 있다.

MMIC mixer 설계에 앞서 TRW에서 제공하는 InGaAs/GaAs p-HEMT 공정의 Schottky diode 중 삽입 손실 특성이 가장 우수한 diode를 선정하여 scaling하여 사용하였다. 이는 각 port에 matching network이 없는 상태에서 Schottky diode의 변환 손실 특성이 가장 우수한 diode를 선정함으로써 얻을 수 있다. 특성 분석 결과 TRW foundry service에서 제공하는 p-HEMT 공정 소자 중 4f40 diode가 가장 좋은 변환 손실 특성을 보여 주었다[5]. 그림 2는 선정된 4f40 diode의 model parameter를 보여주고 있다. 설계 tool은 Agilent사의 Libra TM를 이용하였으며 distribute 소자에 대해서는 Momentum TM tool을 이용한 EM simulation을 행하여 신뢰성을 높였다.

Double balanced mixer구조에서는 RF 및 LO port에 180°hybrid를 사용하여 크기가 같고 위상이 반대인 두 신호를 만들어 주는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 Ku-band용 mixer의 LO 주파수가 1.748 GHz이므로 전기적 과장이 IF 주파수에 비해 최소 7배 이상이 되기 때문에 180°hybrid를 구성하면 회로가 매우 커질 수 있으므로 LO와 IF의 port를 서로 바꾸어 설계함으로써 전체 MMIC chip의 크기를 줄였다. 180°hybrid를 위



〈그림 1〉 Double balanced mixer의 구성도



〈그림 2〉 4f40 p-HEMT diode 모델 파라미터

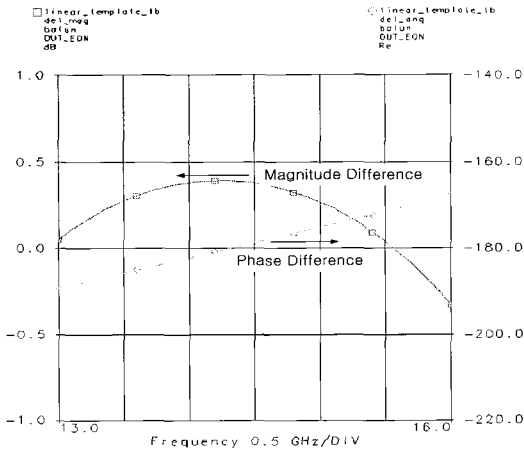
해서 lange coupler를 이용하였으며, 각 port의 magnitude balance를 맞춘 다음 90°delay line을 이용하여 phase balance를 맞추었다. 그림 3은 RF port 용 180°hybrid의 설계 결과를 보여주는 것으로 0.4dB 이하의 전력차와 ±3° 이하의 위상차를 나타내고 있다. 같은 방법으로 IF port에 대해 180°hybrid를 설계하였다.

앞서 선정된 4f40 diode와 설계한 balun을 이용하여 RF, IF, LO의 matching network를 순차적으로 구성하였으며 이를 집적화 시켰다. 여기서, 각 port별 isolation 특성이 ideal하지는 않기 때문에 집적화시 각 port에서의 matching 결과가 약간씩 달라진다. 따라서

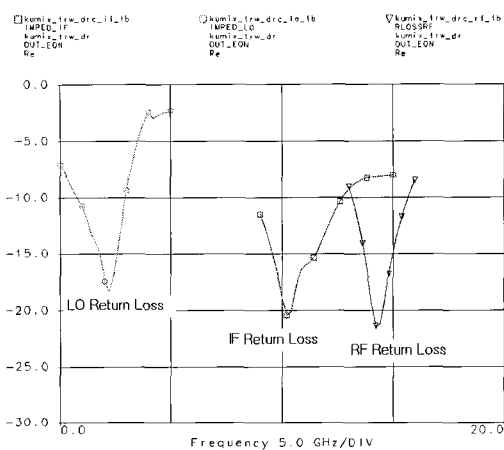
각 port에서 반사손실을 최적화하기 위해 fine tuning과정을 수행하였으며 tuning 후 나온 layout을 다시 momentum simulation을 수행하는 과정을 반복하였다. 그림 4는 최종 설계된 mixer의 port별 반사손실 특성을 보여주는 것으로 LO의 경우 -13 dB이하, IF의 경우 -10dB이하, RF의 경우 -19 dB이하이다. 또한 그림 5는 LO-IF 격리도, RF-IF 격리도 및 RF-IF 변환 손실 특성의 설계결과를 각각 보여주는 것으로 LO-IF 격리도는 38 dB이상, RF-IF 격리도는 43 dB 이상, 변환 손실은 7.2 dB이하이다.

III. MMIC Mixer 제작 및 측정

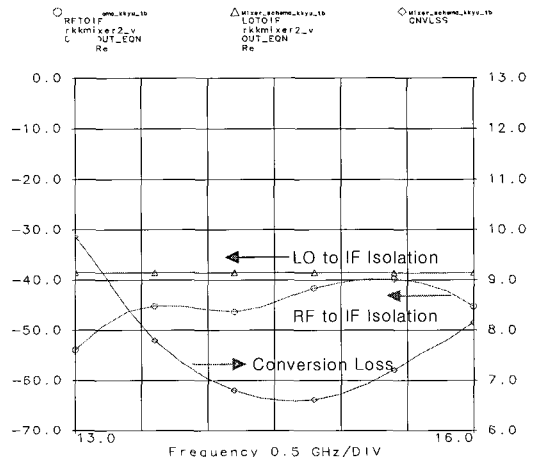
InGaAs/GaAs p-HEMP 공정의 Schottky diode를 이용하여 MMIC mixer chip을 제작하였다. 그림 6은 하향 주파수 변환에 대한 on wafer 측정 결과로서 변환 손실과 port별 격리도를 보여주는 것으로 대역 내에서 9.8dB 이하의 변환손실과 0.4dB 이하의 평탄도를 얻었다. 또한 격리도는 LO-IF의 경우 38 dB 이상, RF-IF의 경우 23 dB 이상을 얻었다. On-wafer 측정결과 변환 손실이 0.5 GHz 정도 주파수 상향 천이되었으나 trend는 설계치와 잘 일치하는 특성을 나타내었다. RF-IF isolation 특성이 설계치와 차이를 보이는 것은 RF(14.0 - 14.5 GHz)와 IF(12.252 - 12.752 GHz)의 주파수 간격이 1.748 GHz 정도로 매우 가까운데 원인이 있는 것



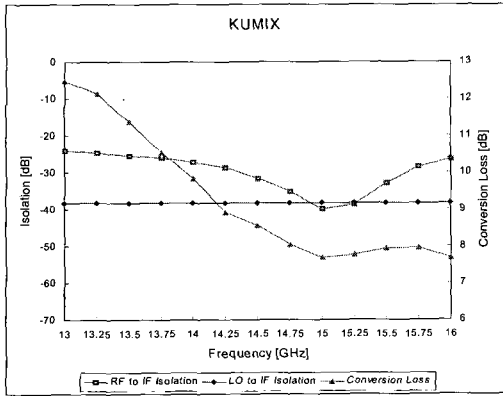
〈그림 3〉 RF balun의 위상 및 크기 특성(설계치)



〈그림 4〉 반사손실 특성(설계치)



〈그림 5〉 변환손실 및 분리도 특성(설계치)



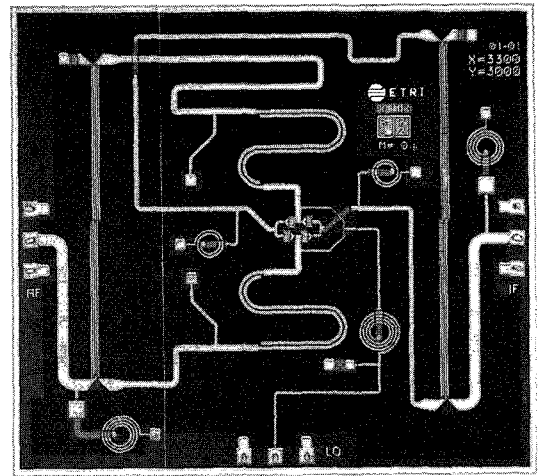
〈그림 6〉 On-wafer 측정결과

로 보인다. IF 정합회로의 미세한 변화는 IF단에서의 RF 대역도 쉽게 영향을 주므로 공정상의 미세한 오차가 발생하면 RF의 신호가 IF 단에 나타날 수 있다. 특히 on-wafer 측정결과 변환손실 특성이 0.5 GHz 정도 상향천이 되었으므로 이에 대한 영향이 RF-IF 격리도 특성에 크게 작용한 것으로 보인다. 그러나 RF의 입력 신호는 -23 dBm 이하로 매우 미세하기 때문에 IF 단에서 측정되는 RF 신호의 크기는 IF 신호의 크기에 비해 13 dBc 이상의 차이를 갖는다. 표 1은 본 논문에서 제

〈표 1〉 MMIC mixer chip의 전기적 성능

Parameter		Req.	Sim.	Meas.
Frequency [GHz]	RF	14.0~14.5	14.0~14.5	14.0~14.5
	IF	12.252~12.752	12.252~12.752	12.252~12.752
	LO	1.748	1.748	1.748
Return Loss [dB]	RF	< -10	-19.0	-
	IF	< -10	-10.0	-
	LO	< -10	-13.0	-
Input Power [dBm]	RF	-23	-23	-23
	LO	13+/-1	13	13
Conversion Loss [dB]		<10.0	7.2	<9.8
Flatness [dBp-p]		<1.0	0.6	<0.4
Isolation [dB]	LO-IF	> 20	38.0	>38.0
	RF-IF	> 20	43.0	>23.0
Size [um]	X	3300	3300	3300
	Y	3000	3000	3000

작된 MMIC mixer chip의 설계값과 측정값을 비교를 나타내며 그림 7은 3.3mm X 3.0mm 크기로 제작된 MMIC mixer 칩의 사진을 보여주고 있다. 표 2는 기존에 발표된 MMIC mixer에 대한 참고문헌과 본 논문의 MMIC mixer chip과의 특성을 비교한 것이다.



〈그림 7〉 Double balanced MMIC mixer 칩

〈표 2〉 제작된 MMIC mixer와 Reference와의 성능 비교

Ref.	Type	RF Freq. [GHz]	Die Size [mm ²]	LO Power [dBm]	Con. Loss [dB]	LO-IF Isol. [dB]
[6]	Double balanced	6~20	4.57X6.10	17	6.2~9.8	20
[7]	Double balanced	6~18	1.27X2.54	15	5~10	19
[8]	Double balanced	12~18	2.03X2.54	14	5.5~8.5	20
[9]	Balanced	14~15	2.0X2.25	2	7.3	20
This work	Double balanced	14.0~14.5	3.0X3.3	13	9.8	38

V. 결 론

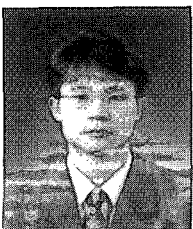
본 논문에서는 TRW의 InGaAs/GaAs p-HEMT 공정의 Schottky Diode를 이용하여 Ku-band용 receiver down converter에 사용할 수 있는 double balanced

MMIC mixer chip을 설계 및 제작하였다. 소형화된 MMIC chip을 얻기 위해 일반적인 double balanced mixer 구조에서 IF와 LO port를 서로 바꾸어 설계함으로써 회로의 크기를 줄일 수 있었다. 또한, 14.0~14.5 GHz의 주파수 대역에서 9.8dB 이하의 변환 손실과 38dB 이상의 LO-IF 격리도 및 23dB 이상의 RF-IF 격리도 특성을 얻었다. 본 논문에서 언급한 MMIC mixer 설계 기법은 Ku-band 대역의 통신 시스템뿐만 아니라 LMDS와 같은 다양한 무선통신 시스템의 mixer 개발에 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Howard Fudem, Sanjay Moghe, Greg Dietz, and Steve Consolazio, "A Highly Integrated MMIC K-Band Transmit/Receive Chip", IEEE Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium, pp. 119-122, 1993.
- [2] Jean-Marie Dieudonne and Bernd Adelseck, "Technology Related Design of Monolithic Millimeter-Wave Schottky Diode Mixers", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 40, no. 7, pp. 1466-1474, July. 1992.
- [3] S.A.Mass and K.W.Chang "A Broadband, Planar, Doubly Balanced Monolithic Ka-Band Diode Mixer", IEEE Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium, pp. 53-55, 1993.
- [4] S.A.Mass, Microwave Mixer, Artech House, Norwood MA, 1992.
- [5] TRW Design Guide.
- [6] John Eisenberg, Jeff Panelli, and Weiming Ou, "A New Planar Double-double Balanced MMIC Mixer Structure," Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium, pp. 69-72, 1991.
- [7] Wayne R Brinlee, Antony M Pavioi and Karl R Varian, "A Novel Planar Double-balanced 6-18 GHz MMIC Mixer," IEEE MTT Symposium Digest, pp. 9-12, 1994.
- [8] Joseph Staudinger and Mike Friesen, "Fully integrated double balanced MMIC mixer using a star arrangement of diodes for extended IF performance," IEEE MTT Symposium Digest, pp. 1163-1166, 1992.
- [9] A.Orzati, F.Robin, H.P.Meier, and W.Bachtold, "A 16 GHz MMIC image-rejection resistive mixer with InP HEMTs," Gallium Arsenide Integrated Circuit Symposium Technical Digest, pp. 117-119, 2002.

〈 저 자 소 개 〉



류 근 관 (Keun-Kwan, Ryu)

1992년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과(공학사)
 1994년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과(공학석사)
 2000년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과(공학박사)
 2000년 3월~2003년 1월 : 한국전자통신연구원 통신위성개발센터 선임연구원
 2003년 2월~현재 : 한밭대학교 전자공학과 전임강사
 <관심분야> 초고주파 능동회로(MMIC, Hybrid) 설계, 안테나 설계