

Ka-Band MMIC Mixer의 설계 및 제작

정진철^o, 염인복, 이성팔
 305-350 대전시 유성구 가정동 161번지 한국전자통신연구원
 email : jcjung@etri.re.kr

Design and Fabrication of Ka-Band MMIC Mixer

J. C. Jeong, I. B. Yom, S. P. Lee
 ETRI 161 Kajong-Dong, Yusong-Gu, TAEJON, 305-350, KOREA
 email : jcjung@etri.re.kr

요약

Ka-Band MMIC Mixer 칩을 InGaAs/GaAs p-HEMT 공정의 Schottky Diode를 이용하여 개발하였다. 설계된 칩은 상/하향 주파수 변환기로 사용할 수 있으며 Double Balance 구조로 되어있다. 크기 3.0x2.4 mm² 칩의 On-wafer 측정 결과, RF 주파수 24~27 GHz와 LO 주파수 16.28 GHz, IF 주파수 7.72~10.72GHz 상/하향에 대해서, 변환손실 <7dB와 Port별 격리도 >20dBc의 특성을 얻었다.

I. 서론

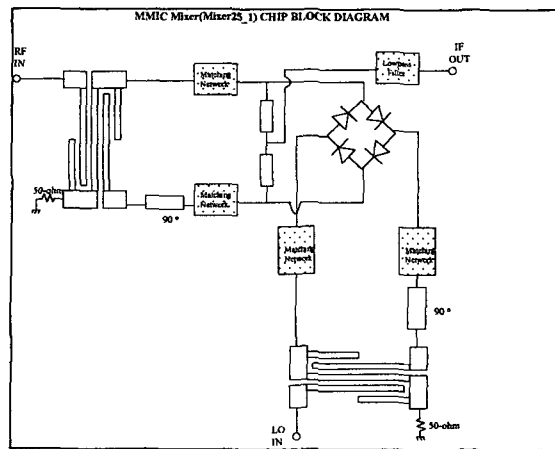
최근 급격히 확장된 이동통신 서비스 및 시스템의 수요에 힘입어 국내의 L-band 대역의 RF 부품 기술은 상당한 수준에 도달해 있으며 관련 시스템 및 Mobile Hand Set의 제작을 위한 핵심 RF 부품의 해외 의존도가 점차 감소해 가고 있는 추세이다. 그러나 최근 들어 형성되기 시작하는 Ka-대역의 서비스(BWLL, LMDS, 위성중계기 등) 시스템을 위한 RF 부품 기술의 확보에 대한 필요성이 증대되고 있다[1]. Ka-대역 이상의 주파수에서는 부품 설계 시 패키지에 의한 기생 성분을 제거할 수 있고, 부품 제작의 용이성과 양산성이 뛰어난 MMIC로 접근이 고려되고 있다[2]. 송/수신 모듈에서 주파수를 변환 시켜주는 역할을 하는 Mixer는 double balanced type이 많이 사용되고 있다. Single ended, Single Balanced type 등의 다른 구조에 비해 RF, LO Ports들 간에 우수한 격리도, 광대역 특성 그리고, RF와 LO의 even Harmonic 억제 등의 여러 가지 장점들이 있다[3][4]. 일반적으로 Ka-대역의 Mixer는 낮은 변환손실과 높

은 Port간 격리도가 요구되는 부품으로 일반적으로 Schottky Diode Mixer가 GaAs MESFET Mixer 보다 그 특성이 우수한 것으로 알려져 있다[2].

본 논문에서는 TRW의 InGaAs/GaAs p-HEMT 공정의 Schottky Diode소자를 사용하여 개발한, RF 주파수 24~27GHz, LO 주파수 16.28GHz, IF 주파수 7.72~10.72GHz의 상/하향 MMIC Mixer 설계 및 On-wafer 측정 결과 등을 소개한다.

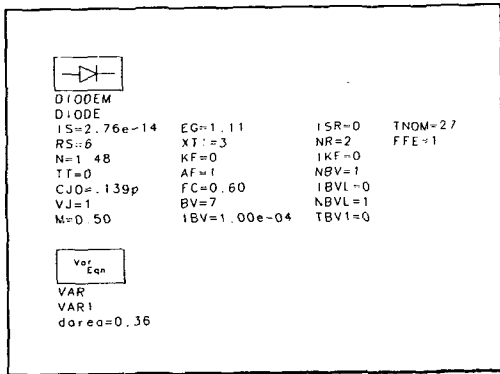
II. MMIC Mixer 설계

본 설계에서는 LO Ports들 간에 우수한 격리도, 광대역 특성 그리고, RF와 LO의 even Harmonic 억제 등의 장점이 있는 180° hybrid를 이용한 Double-Balanced Mixer 구조를 이용 하였다. <그림 1>은 Double-Balanced Mixer의 구성 도를 보여 준다.



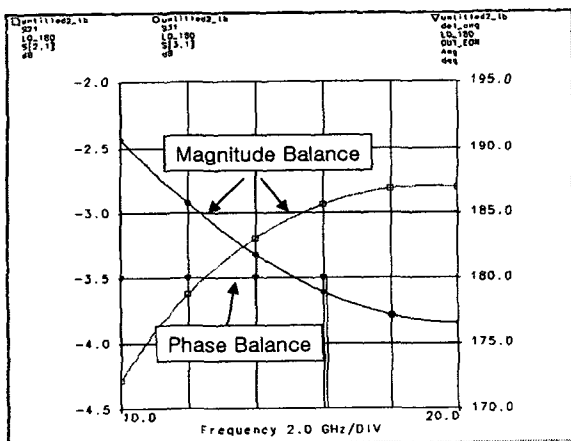
<그림 1> Double Balanced Mixer의 구성도

설계의 첫 단계는 삽입 손실 특성이 가장 우수한 Diode를 선정한다. 각 Port별 Matching Network이 없는 상태에서 변환 손실 특성이 가장 우수한 Diode를 선정한다. 특성 분석 결과 TRW Foundry Service에서 제공하는 p-HEMT 공정 소자 중 4f40 Diode가 가장 좋은 변환 손실 특성을 보여 주었다[5]. <그림 2>는 선정된 4f40 Diode의 Model Parameter를 보여주고 있다. 설계 tool은 Agilent사의 Libra™를 이용하였으며 Distribute 소자에 대해서는 MOMENTUM™ tool을 이용한 EM Simulation을 통하여 신뢰성을 높였다.

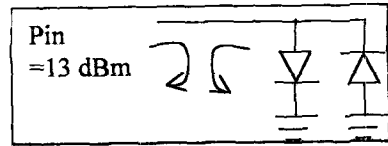


<그림 2> 4f40 p-HEMT Diode Model Parameter

Double-Balanced Mixer 구조에서는 RF 및 LO Port에 180° hybrid를 사용하여 크기가 같고 위상이 반대인 두 신호를 만들어준다. 우선 Lange Coupler를 이용하여 Magnitude Balance를 맞춰주고 90° Line을 이용하여 Phase Balance를 맞춰준다. <그림 3>는 LO Port 용 180° hybrid의 설계 결과를 보여준다. 같은 방법으로 RF Port에 대해 180° hybrid를 설계하였다.



<그림 3> LO Balun 설계 결과

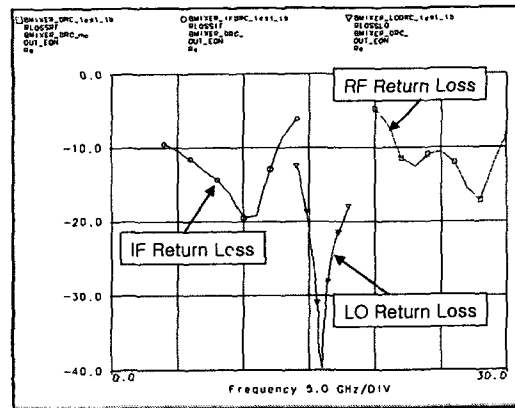


<그림 4> LO 및 RF Port Matching 을 위한 입력 반사계수 측정

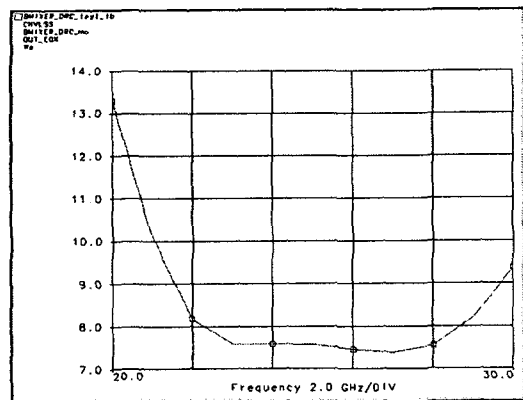
기 선정된 4f40 Diode를 이용하여 <그림 4>의 Network을 구성하고 반사계수를 구하여 Smith Chart 상에 그 위치를 나타낸다. <그림 4>에서 측정된 Smith Chart 상의 반사계수가 Smith Chart의 중앙에 오도록 Matching Network을 구한다. 각 Port 별 Isolation 특성이 Ideal 하진 않기 때문에 각 Port 별 Matching 점이 약간씩 달라진다. 각 Port별 반사 손실을 측정하여 fine tuning과정을 통하여 RF, LO, IF Port Matching을 수행한다. tuning 후 나온 Layout을 다시 Momentum simulation을 수행하여 그 과정을 반복한다.

<그림 5>와 <그림 6>은 최종 설계된 Mixer의 Port별 반사손실 특성과 변환 손실 특성을 각각 보여준다.

22~28GHz의 대역에서 우수한 주파수 특성을 볼 수 있다.



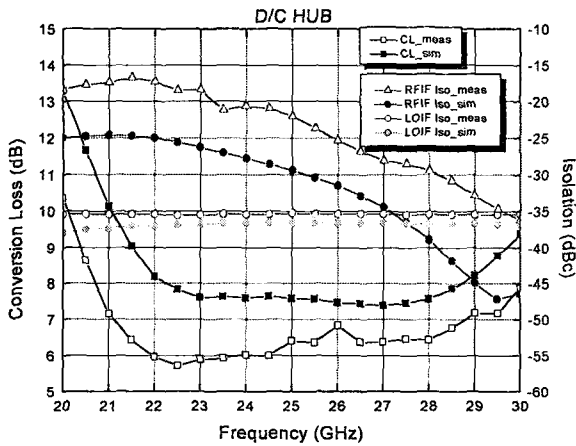
<그림 5> 반사 손실 특성



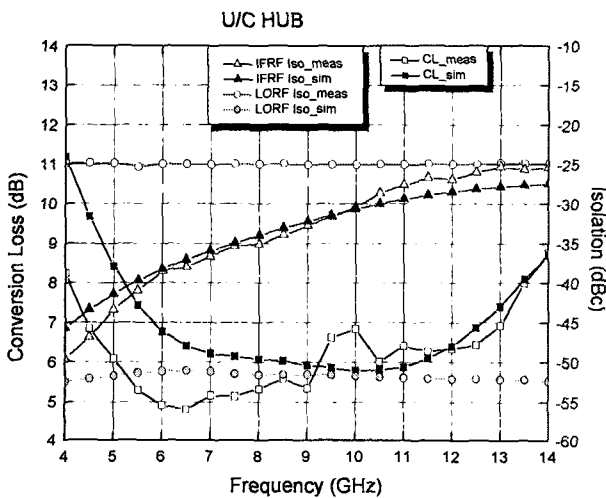
<그림 6> 변환 손실 특성

III. MMIC Mixer 제작 및 On wafer 측정 결과

InGaAs/GaAs p-HEMP 공정의 Schottky Diode를 이용하여 MMIC Mixer 칩을 제작하였다. <그림 9>은 3.0 x 2.4 mm² 크기의 제작된 MMIC Mixer 칩을 보여준다. <그림 7>와 <그림 8>는 하향과 상향 주파수 변환에 대한 On wafer 측정 결과를 각각 보여준다. 변환 손실과 port별 격리도를 보여주고 있다. 그림에서 설계 결과와 측정 결과를 동시에 도시하였다. LO Isolation 특성이 설계치와 차이를 보이는 것 외에는 설계치와 거의 비슷한 결과를 얻었다. LO Isolation 특성의 차이는 IF Matching Line과의 심한 Coupling 현상에서 기인한 것으로 생각된다. 표 1.에서 MMIC Mixer의 설계값과 측정 값을 비교 했다.



<그림 7> On-wafer 측정결과와 설계치 비교 (Down-conversion)



<그림 8> On-wafer 측정결과와 설계치 비교 (Up-conversion)

표 1. 설계 및 On wafer 측정 결과 비교

Down Conversion	Design	Test
RF 주파수 (GHz)	24~27 => 7.72~10.72	24~27 => 7.72~10.72
LO 주파수 (GHz)	16.28	16.28
CL (dB)	< 8	< 7
LO-IF Iso. (dBc)	< -35	< -35
RF-IF Iso. (dBc)	≤ -27	≤ -20
Return Loss (dB)	≤ -10	≤ -10
Up Conversion		
RF 주파수 (GHz)	7.72~10.72 => 24~27	7.72~10.72 => 24~27
LO 주파수 (GHz)	16.28	16.28
CL (dB)	< 6	< 7
LO-RF Iso. (dBc)	< -50	< -25
IF-RF Iso. (dBc)	≤ -29	≤ -27
Return Loss (dB)	≤ -10	≤ -10

IV. 결론

본 논문에서는 TRW의 InGaAs/GaAs p-HEMT 공정의 Schottky Diode를 이용하여 20 GHz 대 MMIC Mixer를 설계, 제작 하였다. 24 ~ 27 GHz의 주파수대역에서 7 dB 이하의 변환 손실과 20 dBc 이하의 port별 격리도 특성을 보여주었다.

논문에서 언급한 MMIC Mixer 설계는 광대역성을 포함한 여러 가지 장점으로 인하여 유사한 주파수 대역의 Mixer 개발에 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

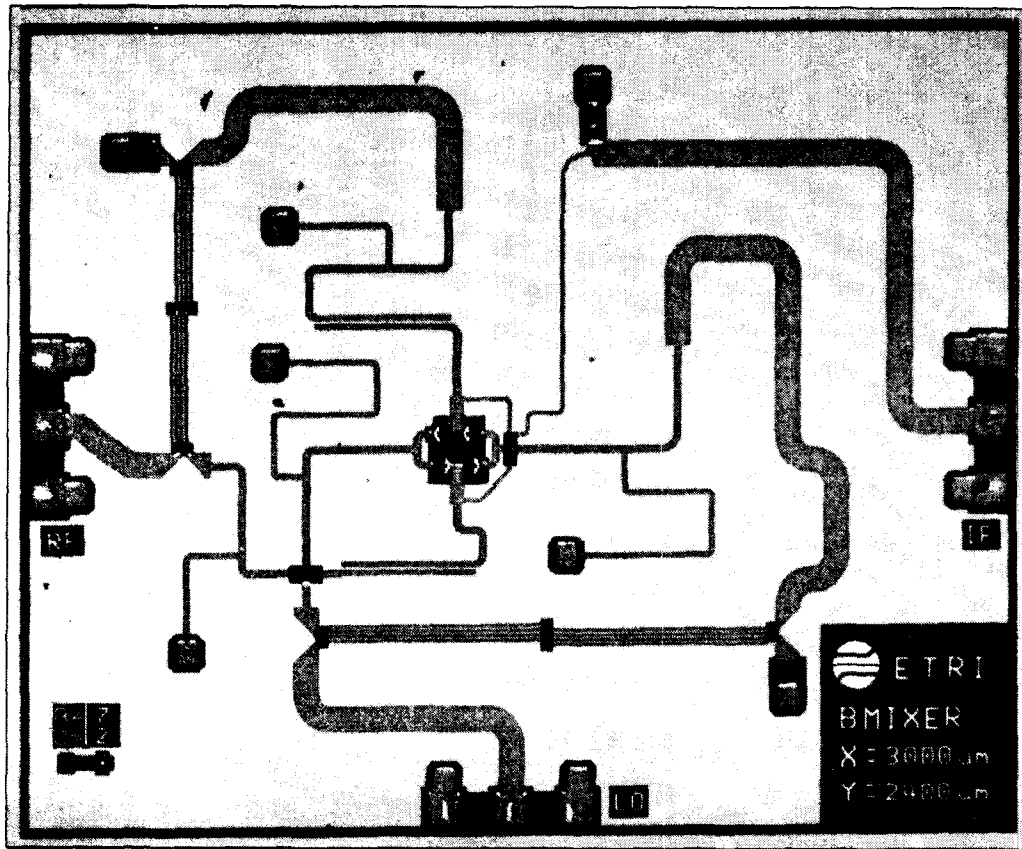
참고 문헌

- [1] Howard Fudem, Sanjay Moghe, Greg Dietz, 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, 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, K.W.Chang "A Broadband, Planar,

Doubly Balanced Monolithic Ka-Band Diode Mixer", IEEE Microwave and Milimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium, pp. 53-55, 1993.

[4] S.A.Mass, Microwave Mixer Artech House, Norwood MA, 1992.

[5] TRW Design Guide



<그림 7> TRW에서 제작된 MMIC Mixer 칩 사진 (3.0 x 2.4 mm²)