

높은 LO-RF 격리 특성의 94 GHz MMIC Single-balanced Mixer

안 단, 이복형, 임병옥, 김성찬, 이상진, 이문교, 신동훈, 박형무, 박현창, 김상동, 이진구

동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터

e-mail : jkrhee@dgu.edu

High LO-RF Isolation 94 GHz MMIC Single-balanced Mixer

Dan An, Bok-Hyung Lee, Byeong-Ok Lim, Sung-Chan Kim, Sang-Jin Lee, Mun-Kyo Lee, Dong-Hoon Shin, Hyung-Moo Park, Hyun-Chang Park, Sam-Dong Kim, and Jin Koo Rhee

Millimeter-wave INnovation Technology researchcenter(MINT), Dongguk University

Abstract

In this paper, high LO-RF isolation 94 GHz MMIC single-balanced mixer was designed and fabricated using a branch line coupler and a $\lambda/4$ transmission line. The 94 GHz MMIC single-balanced mixer was designed using the 0.1 μm InGaAs/InAlAs/GaAs Metamorphic HEMT(MHEMT) diode. The fabricated MHEMT was obtained the cut-off frequency(f_T) of 189 GHz and the maximum oscillation frequency(f_{max}) of 334 GHz. The designed MMIC single-balanced mixer was fabricated using 0.1 μm MHEMT MMIC process. From the measurement, the conversion loss of the single-balanced mixer was 23.1 dB at an LO power of 10 dBm. The LO-RF isolations of single-balanced mixer was obtained 45.5 dB at 94.19 GHz. We obtained in this study a higher LO-RF isolation compared to some other balanced mixers in millimeter-wave frequencies.

I. 서 론

최근에 군사용 뿐 아니라 상업적으로도 많은 연구가 이루어지고 있는 W-band(75~110 GHz) 대역은 94 GHz의 경우 이전부터 신호 흡수 감쇠가 적어 밀리미터파 레이더 및 센서, 77 GHz는 차량 충돌 방지 레이더 등의 응용을 위해 연구가 진행되고 있다[1]. 그러나 94 GHz 높은 주파수 대역에서 동작하는 회로의 경우 우수한 특성을 갖는 회로를 제작하기 어려우며, 고속 동작이 가능한 능동소자의 설계, 제작기술이 필요하다. 따라서 현재 일반적으로 사용되는 Pseudomorphic HEMT 소자가 아닌 InP HEMT를 이용한 결과들이 보고되고 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[3].

밀리미터파 시스템을 구현하기 위한 회로 설계 측면에서 입력신호를 LO 신호를 이용하여 상향 혹은 하향 주파수로 변환 시켜주는 믹서는 전체 시스템에서 매우 중요한 회로이다. 그러나 입력신호를 변환시켜 주기 위한 LO 신호의 경우 일반적으로 매우 큰 출력 특성

을 갖기 때문에 LO 신호가 입출력포트로 누설될 경우 신호전송이 왜곡을 받게 된다. 따라서 이러한 신호 누설을 막기 위해 balanced 타입의 믹서 구조가 많이 사용되고 있다. Balanced 믹서의 경우 높은 LO 신호의 격리도 특성을 가지기 위해 우수한 특성의 발룬 회로가 필요하게 된다. 이러한 발룬 회로는 라인사이의 coupling 이용한 구조가 많이 사용되고 있으나, 30 GHz 이상의 밀리미터파 대역의 경우 라인간격이 수 마이크로제작이 어렵기 때문에 정확한 위상차 및 낮은 삽입손실 특성을 구현하기 어렵다.

본 논문에서는 이러한 문제를 개선하고 우수한 성능의 balanced 믹서의 설계 및 제작을 위해 라인 사이의 coupling을 이용한 구조가 아닌 제작이 용이하고 정확한 위상차 구현이 가능하도록 branch line coupler와 $\lambda/4$ 전송라인을 이용한 94 GHz 발룬 회로를 설계하였다. 94 GHz MMIC single-balanced 믹서는 설계된 발룬 회로를 이용하여 설계되었다. 또한 우수한 성능의 믹서를 개발하기 위해 Metamorphic HEMT 다이오드를 설계, 제작하였으며, 회로 설계를 위한 CPW 라이브러리를 구축한 후 이를 이용하여 94 GHz MMIC single-balanced 믹서를 설계하였다.

II. Circuit design

그림 1에 설계된 94 GHz 발룬의 레이아웃을 나타내었다. 발룬 회로는 branch line coupler와 $\lambda/4$ 전송라인을 이용하여 설계되었다. 발룬회로는 1차적으로 branch line coupler를 통해 90° 위상차가 발생하게 되며, 다음에 라인의 길이를 동작주파수에서 $\lambda/4$ 차이가 발생하도록 설계하여 전체적으로 180°의 위상차를 갖도록 설계하였다. 설계된 발룬은 coupling을 이용한 구조에 비해 공정이 용이하고 정확한 위상차를 구현하여 믹서의 성능을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 설계된 발룬의 시뮬레이션 결과 94 GHz에서 반사계수는 -27.9 dB를 얻었으며, coupling은 -4.26 dB, thru 특성은 -3.77 dB의 결과를 얻었다. 격리도와 위상차는 94 GHz에서 각각 23.5 dB 및 180.2°의 결과를 얻어 이상적인 특성인 180°에서 0.2% 이내의 오차 특성을 얻어 양호한 위상차 특성을 얻었다.

MMIC 믹서의 제작을 위해 PHEMT에 비해 성능이 우수한 0.1 μm MHEMT를 개발하였다. MHEMT의 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.

제작된 MHEMT의 측정결과 단위 게이트 폭이 70 μm 이고 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(G_m)는 691 mS/mm를 얻었다. 제작된 MHEMT의 RF 특성은 ME7808A Vector Network Analyzer를 이용하여 0.1~75 GHz의 주파수 영역에서 측정하였다. 그림 2는 MHEMT의 RF 특성을 나타낸 것으로 전류이득 차단주파수는 189 GHz, 최대공진 주파수는 334 GHz의 양호한 측정결과를 얻었다.

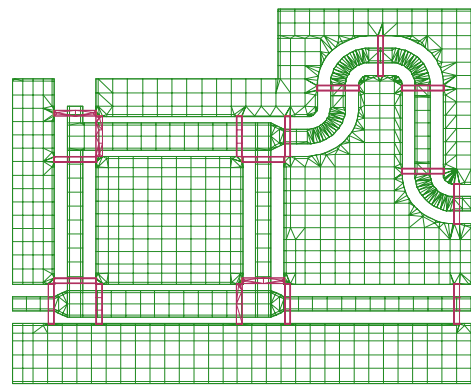


그림 1. 설계된 94 GHz 발룬 레이아웃

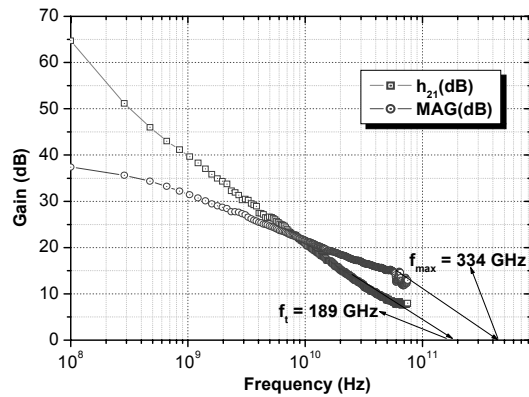


그림 2. MHEMT의 RF 특성 측정 결과

MMIC 믹서의 설계를 위해서는 MHEMT의 동작 특성을 표현하는 소자 모델의 개발이 필수적이다. 이를 위해 본 논문에서는 MHEMT의 비선형 모델을 추출하였다[4]. 비선형 모델링은 단위게이트 폭이 70 μm 이고 핑거수가 2개인 MHEMT 소자를 추출하였다. 또한 MMIC 믹서의 설계 및 제작을 위해 CPW(coplanar waveguide) 라이브러리를 구축하였다. CPW 라이브러

리를 구축하기 위하여 35, 50, 70 Ω 의 특성 임피던스를 갖는 전송 선로를 설계 및 제작하였으며, 불연속 특성을 고려하기 위하여 Curve, Tee, Cross의 라이브러리를 구축하였다. 그림 3에 설계된 MMIC single-balanced 믹서의 회로를 나타내었다. 능동소자는 추출된 MHEMT 소자 비선형 모델의 소스-드레인을 연결한 MHEMT 다이오드를 사용하여 설계하였으며, 다이오드를 anti-parallel로 연결하여 LO 신호에 대하여 180° 위상차를 가져 LO 신호가 서로 상쇄되게 설계하였다. RF 포트에는 설계된 발룬 회로를 삽입하여 입력된 신호가 MHEMT 다이오드에서 같은 위상을 갖도록 하였다. 또한 IF 발룬 회로가 필요 없도록 설계하여 시스템에 용이하게 적용할 수 있도록 하였다.

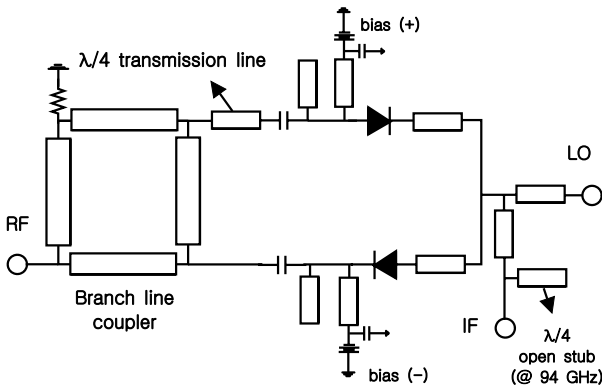


그림 3. MMIC single-balanced 믹서의 회로도

믹서 회로의 LO 및 RF 정합회로는 CPW 라인을 이용하여 설계하였으며, 게이트 바이어스 회로는 LO 신호에 대해 $\lambda/4$ short stub를 사용하여 설계하였다. IF 단에는 low pass filter 구조 및 94 GHz $\lambda/4$ open stub를 추가하여 LO, RF 신호 및 고주파 신호의 IF단으로의 누설을 방지하도록 설계하였다. 설계된 전체 회로 패턴은 모멘텀 시뮬레이션을 이용하여 최적화를 수행하였다.

III. Fabrication and Performance

설계된 94 GHz MMIC 믹서는 MHEMT MMIC 공정을 사용하여 제작되었다[5-6]. 그림 4는 제작된 94 GHz MMIC single-balanced 믹서의 표면사진으로 칩 면적은 1.9 mm \times 1.3 mm이다.

MMIC single-balanced 믹서의 변환손실 및 출력전력 측정에는 RF 입력 94.075 GHz, 94.240 GHz LO 신호를 10 dBm의 전력으로 입력하여 165 MHz의 IF 신호를 측정하였다. Single-balanced 믹서의 측정결과 변환손

실 특성은 23.1 dB의 특성을 나타내었으며, 그림 5에 RF 입력에 대한 변환손실 측정 결과 나타내었다.

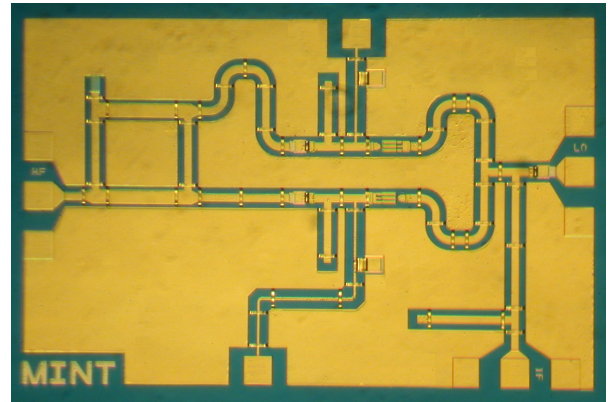


그림 4. W-band single-balanced 믹서의 사진

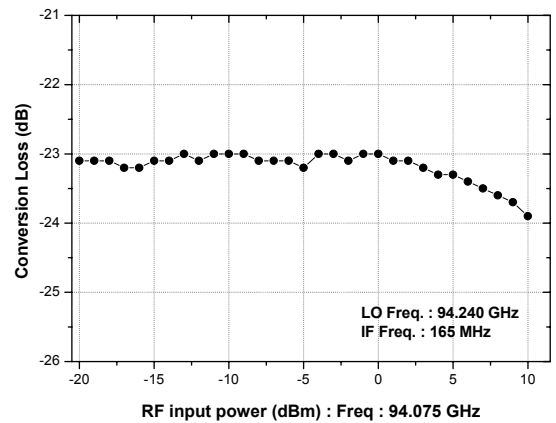


그림 5. RF 입력에 대한 변환손실 특성 측정결과

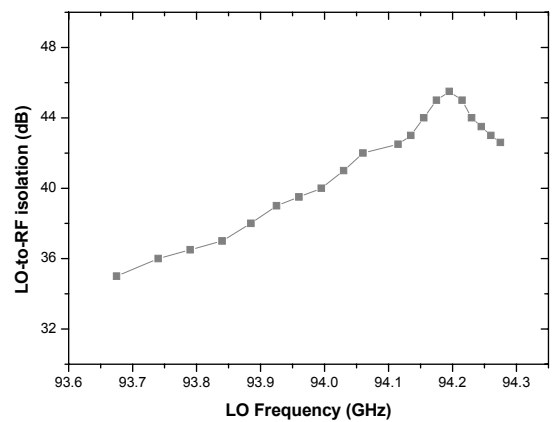


그림 6. MMIC 믹서의 LO-RF 격리도 특성 측정결과

그림 6는 94 GHz MMIC single-balanced 믹서의 LO-RF 격리도 측정결과로 94.19 GHz에서 45.5 dB 높은 LO-RF 격리도 측정 결과를 얻었다. 설계 및 제작된 믹서의 우수한 LO-RF 격리도 특성은 설계된 발룬이 정확한 위상차를 구현하여 높은 LO-RF 격리도 특성을 얻은 것으로 분석되었다. 개발된 믹서는 밀리미터파 대역에서 보고된 single-balanced 믹서의 특성으로 기존 믹서의 LO-RF 격리도에 비하여 더 우수한 LO-RF 격리도 특성을 나타내었다[7-8].

IV. 결론

본 논문에서는 branch line coupler과 $\lambda/4$ 전송라인을 이용하여 94 GHz MMIC single-balanced 믹서를 설계 및 제작하였다. Single-balanced 믹서의 설계를 위해 branch line coupler와 $\lambda/4$ 전송라인을 이용한 94 GHz 발룬 회로를 설계하였다. MMIC 믹서는 0.1 μm MHEMT 다이오드를 이용하여 설계되었으며, 개발된 MHEMT MMIC 공정을 이용해 제작되었다. MMIC 믹서의 측정결과 변환손실 특성은 94 GHz에서 23.1 dB의 특성을 나타내었다. W-band single-balanced 믹서의 LO-RF 격리도는 94.19 GHz에서 45.5 dB의 높은 LO-RF 격리도 특성을 나타내었다. 본 논문에서 설계 및 제작된 W-band MMIC single-balanced 믹서는 기존의 밀리미터파 대역 single-balanced 믹서와 비교하여 우수한 LO-RF 격리도 특성을 나타내었다.

Acknowledge

* 이 연구는 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터를 통한 한국과학 재단의 우수 연구센터 지원금에 의하여 수행되었습니다.

참고 문헌

- [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] Dan An, Bok-Hyung Lee, Byeong-Ok Lim, Mun-Kyo Lee, Sung-Chan Kim, Jung-Hun Oh, Sam-Dong Kim, Hyung-Moo Park, Dong-Hoon Shin, and Jin-Koo Rhee, "High Switching Performance 0.1- μm Metamorphic HEMTs for Low Conversion Loss 94 GHz Resistive Mixers," *IEEE Electron Device Letters*, vol. 26, no. 10, pp. 707-709, Oct. 2005.
- [4] 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.
- [5] Bok-Hyung Lee, Dong-Hoon Shin, Sam-Dang Kim, and Jin-Koo Rhee, "High Maximum Frequency of Oscillation of 0.1 μm Off-set Γ -Shaped Gate InGaAs/InAlAs/GaAs Metamorphic HEMTs," *J. Korean Phys. Soc.*, vol. 43, no. 6, pp. 427~430, Sep. 2003.
- [6] 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.
- [7] Ludger Verwey, 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.
- [8] 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.