

MMIC 모듈을 이용한 V-band 무선 송수신 시스템의 구축

이상진, 안단, 이문교, 고두현, 진진만, 김성찬, 김삼동, 박현창, 박형무, 이진구
동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터

Tel : +82-2-2260-3335, Fax : +82-2-2277-4796, E-mail : jkrhee@dongguk.edu

Development of V-band Wireless Transceiver using MMIC Modules

Sang-Jin Lee, Dan An, Mun-Kyo Lee, Du-Hyun Go, Jin-Man Jin, Sung-Chan Kim, Sam-Dong Kim,
Hyun-Chang Park, Hyung-Moo Park, and Jin-Koo Rhee

Millimeter-wave Innovation Technology research center (MINT), Dongguk University, Pil-dong,
Chung-gu, Seoul, 100-715, Korea

Abstract

We report on a low-cost V-band wireless transceiver with no use of any local oscillator in the receiver block using a self-heterodyne architecture. V-band Microwave monolithic IC (MMIC) modules were developed to demonstrate the wireless transceiver using coplanar waveguide (CPW) and GaAs PHEMT technologies. The MMIC modules such as the MMIC low noise amplifier (LNA), medium power amplifier (MPA) and the up/down-mixer were installed in the transceiver system. To interface the MMIC chips with the component modules for the transceiver system, CPW-to-waveguide fin-line transition modules of WR-15 type were designed and fabricated. The fabricated LNA modules showed a S_{21} gain of 8.4 dB and a noise figure of 5.6 dB at 58 GHz. The MPA modules exhibited a gain of 6.9 dB and a $P_{1\text{ dB}}$ of 5.4 dBm at 58 GHz. The conversion losses of the up-mixer and the down-mixer module were 14.3 dB at a LO power of 15 dBm, and 19.7 dB at a LO power of 0 dBm, respectively. From the measurement of V-band wireless transceiver, a conversion gain of 0.2 dB and a $P_{1\text{ dB}}$ of 5.2 dBm were obtained in the transmitter block. The receiver block showed a conversion gain of 2.1 dB and a $P_{1\text{ dB}}$ of -18.6 dBm. The wireless transceiver system demonstrated a successful data transfer within a distance of 5 meters.

I. 서론

무선통신 시스템이 상업화가 되기 위해서는 저가격화와 소형화가 되어야 하기 때문에 MMIC 기술이 필수적이다. 또한 단거리 무선통신 시스템을 구축할 때에는 수신단에 필터와 Local Oscillator (LO)를 사용하지 않는 Double side band (DSB) self-heterodyne 방식을 사용함으로써 저가격으로 구현이 가능하다 [1]. 본 논문에서는 LNA, MPA, down-mixer 등을 0.1 μm 의 게이트 길이의 GaAs PHEMT (Pseudomorphic High Electron Mobility Transistors)와 CPW 기반의 MMIC 기술을 이용하여 V-band MMIC 칩셋을 개발하였다. 제작된 V-band MMIC 칩셋으로 수신단에 filter와 LO 신호가 필요 없어 낮은 가격으로 구현이 가능한 DSB self-heterodyne 무선 송·수신 시스템을 제작하였다.

II. MMIC 모듈설계, 제작 및 측정

2.1 CPW-Waveguide 변환기

제작된 MMIC 칩셋을 V-band 무선 송·수신 시스템에 적용시키기 위해서 WR-15 타입의 CPW-waveguide 변환기를 설계 및 제작 하였다 [2]. 변환기는 Duroid 사의 RT-5880 기판을 사용하여 제작하였다. 그림 1은 CPW-waveguide 변환기의 레이아웃을 보여준다. 제작된 변환기의 측정결과 58 GHz에서 -1.34 dB의 삽입손실과 -27.13 dB의 반사계수 특성을 그림 2에서 보여준다.

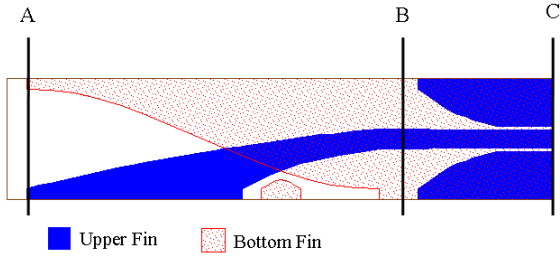


그림 1. CPW-waveguide 변환기의 레이아웃

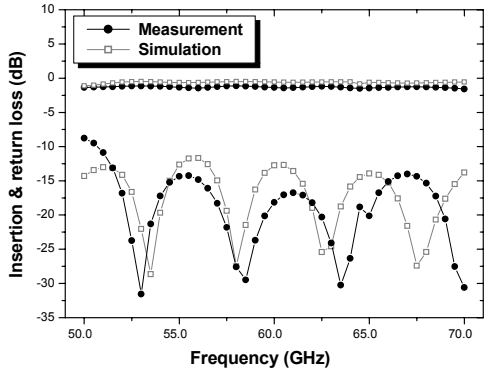


그림 2. 제작된 CPW-waveguide 변환기의 측정결과

2.2 Low Noise Amplifier (LNA)

그림 3은 MINT의 MMIC 표준공정을 사용하여 제작한 LNA의 칩 사진이다 [3].

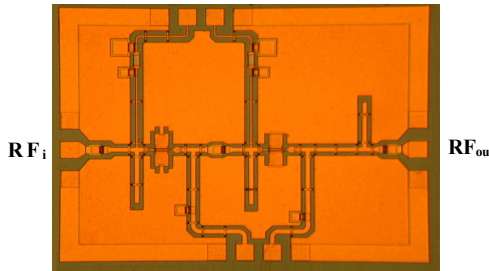


그림 3. 제작된 LNA의 칩 사진 (2.1x1.5 mm²)

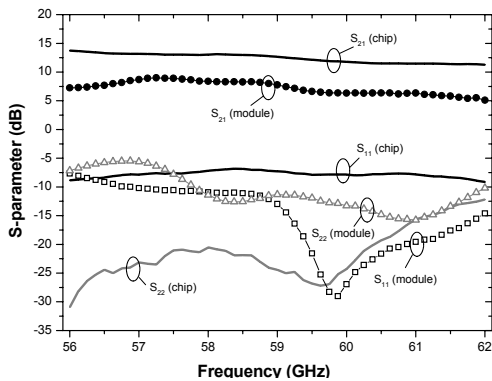


그림 4. LNA 칩과 모듈의 S-parameter 측정자료

LNA의 전체 회로는 2단으로 구성되었으며, CPW구조를 사용하여 정합회로를 구성하였다. 또한 LNA의 잡음 특성의 향상을 위해 첫 번째 단계에 series feedback을

사용하였으며, 광대역 특성을 얻도록 정합회로를 설계하였다. 바이어스 라인은 동작주파수의 $\lambda/4$ short stub를 사용하여 입력신호가 바이어스 라인으로 손실되는 것을 막도록 설계하였다. 또한 게이트 바이어스 라인에 박막저항을 추가하여 신호의 손실 방지와 저주파대역의 안정도를 추구하였다. 그림 4에 제작된 LNA의 칩과 모듈의 S-parameter 측정결과를 보여준다. 측정결과 58 GHz에서 칩은 13.1 dB의 이득, 모듈은 8.3 dB의 이득 특성을 보여준다. 또한, 잡음지수의 측정결과 칩은 3.6 dB, 모듈은 5.6 dB의 결과를 얻었다.

2.3 Medium Power Amplifier (MPA)

우수한 선형특성을 얻기 위하여 class A를 선택하였고 우수한 이득특성을 위하여 공액정합을 사용하였다. MPA의 첫 번째 단계는 이득특성의 개선을 위해서 설계하였고 출력단인 2번째 단계에는 높은 출력 특성을 얻을 수 있도록 HEMT의 파워 매칭을 하였다. 제작된 MPA 칩을 그림 5에 보여준다.

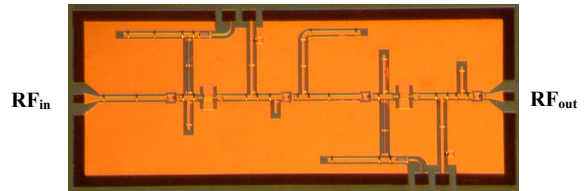


그림 5. 제작된 MPA의 칩 사진 (3.2x1.4 mm²)

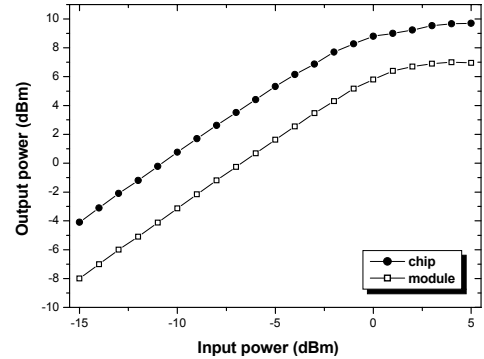


그림 6. MPA 칩과 모듈의 출력전력 측정자료

그림 6은 제작된 칩과 모듈의 출력전력 측정결과이다. 측정결과 58 GHz에서 칩은 6.9 dBm, 모듈은 5.4 dBm의 P₁ dB 특성을 보여준다. 또한 이득특성 측정결과 칩은 11.04 dB, 모듈은 6.85 dB의 특성을 얻었다.

2.4 Up-mixer

Up-mixer는 MIC로 제작하였으며 우수한 LO-RF 격리특성을 위하여 single-balanced구조를 사용하였다 [4]. 측정결과 LO의 전력이 15 dBm일 때 14.3 dB의 변환손실 특성을 얻었으며 LO-RF 격리특성은 58 GHz에서 24.5 dB의 결과를 그림 7에 나타내었다.

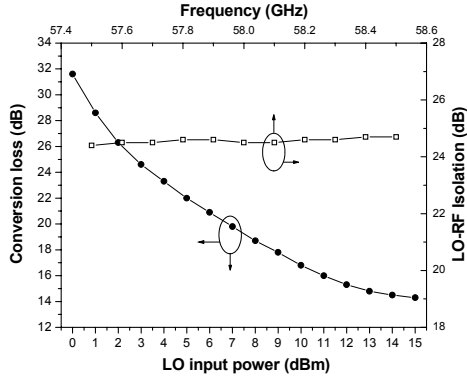


그림 7. LO 입력전력에 대한 변환손실과 주파수 변화에 대한 LO-RF 격리도

2.5 Down-mixer

Down-mixer는 송신단의 LO성분을 사용하는 square low detector 구조로 설계되었다. LO와 RF 신호가 게이트로 동시에 입력되면 IF 신호가 드레인으로 출력된다. LO와 IF단에 사용된 주파수는 58 GHz, 140 MHz이고, RF 단에 사용된 주파수는 57.86 GHz와 58.14 GHz 이다. 칩과 모듈의 측정결과 LO가 0 dBm의 크기로 입력되었을 때 칩은 15.2 dB, 모듈은 19.7 dB의 변환손실 특성을 나타내었다. 그림8은 down-mixer 칩과 모듈의 LO 입력전력에 대한 변환손실 특성의 그래프이다.

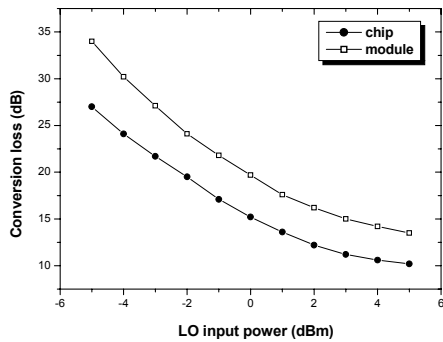


그림 8. 제작된 up-mixer 칩과 모듈의 변환손실

III. V-band 무선 송·수신 시스템의 제작

V-band 무선 송·수신 시스템은 수신단에 필터와 LO를 필요로 하지 않는 DSB self-heterodyne 구조로 제작하였다. 그림 9는 무선 송·수신 시스템의 블록 다이어그램을 보여준다. 시스템에 MMIC 모듈 외에도 TDD (Time Division Duplexing)를 위한 스위치를 사용하였고 혼안테나와 서큘레이터를 사용하였다. 그림 10은 구동증폭기 역할의 LNA와 MPA로 구성된 송신단의 증폭부를 측정된 S-parameter이다. 측정결과 58 GHz에

서 S_{21} 과 S_{11} 은 14.5 dB와 -10.3 dB의 특성을 나타내었고 S_{22} 는 -7.4 dB의 특성을 보여준다. 그림 11은 IF와 LO의 주파수가 140 MHz와 58 GHz로 입력되었을 때 IF 입력전력의 크기에 대한 출력전력과 변환손실 특성을 보여준다. 측정결과 출력 단으로부터 0.21 dB의 변환이득과 5.2 dBm의 출력전력 (P_1 dB)을 얻을 수 있었다.

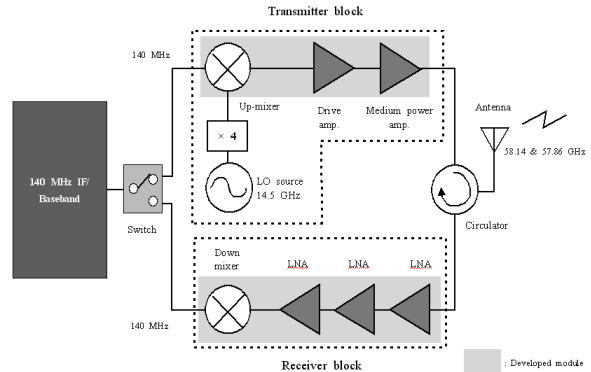


그림 9. 무선 송·수신 시스템의 블록 다이어그램

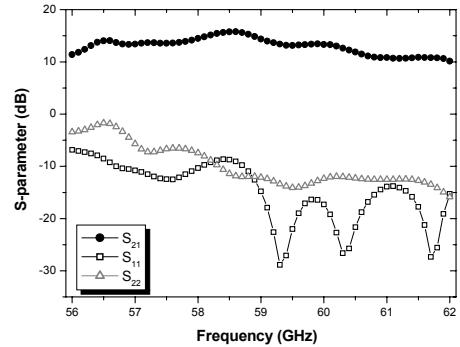


그림 10. 송신단의 증폭부의 S-parameter 측정결과

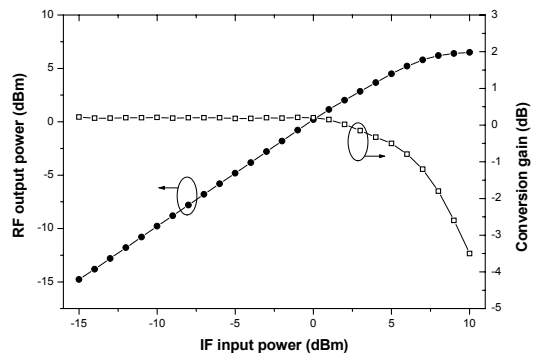


그림 11. 송신단의 RF 출력전력과 변환이득

그림 12는 3개의 LNA로 구성된 수신단의 증폭부의 S-parameter 측정결과이다. 58 GHz에서 측정결과 S_{21} 과 S_{11} 은 22.6 dB와 -12.1 dB의 특성을 얻었으며 S_{22} 는 -13.9 dB의 특성을 나타내었다. 그림 13은 수신단에 58 GHz인 LO 신호가 -22 dBm으로 입력되었을 때 RF 입력전력에 대한 IF출력전력과 변환손실의 측정결과이다. 수신단으로부터 2.1 dB의 변환이득과 -18.6 dBm의 출력전력(P_1 dB)을 얻을 수 있었다.

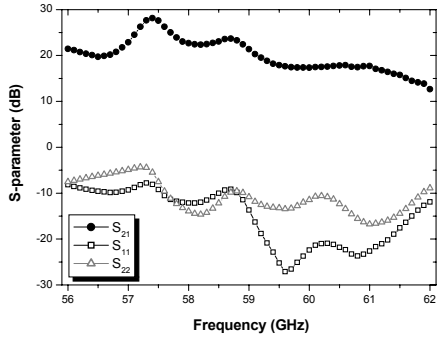


그림 12. 수신단의 증폭부의 S-parameter 측정결과

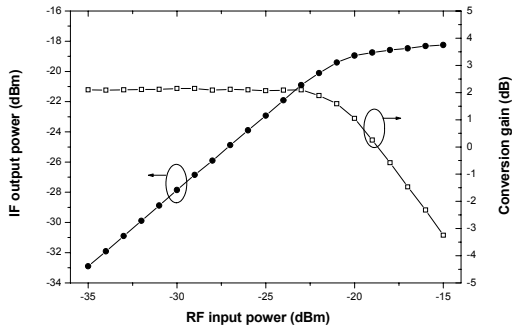


그림 13. 수신단의 RF 입력전력에 대한 IF 출력전력과 변환이득

표 1. V-band 무선 송·수신 시스템의 성능

| Item | Transmitter | Receiver |
|----------------------------------|---|---|
| Input frequency | 140 MHz | RF: 58.14 & 57.86 GHz LO: 58 GHz (From antenna) |
| Output frequency | RF: 58.14 & 57.86 GHz LO: 58 GHz (To antenna) | 140 MHz |
| Amplification block gain | 14.5 dB (at 58 GHz) | 22.6 dB (at 58 GHz) |
| Mixer conversion loss | 14.3 dB (at LO = 15 dBm) | 19.7 dB (at LO = 0 dBm) |
| Conversion gain | 0.2 dB (at LO = 15 dBm) | 2.1 dB (at LO = -22 dBm) |
| Output power (P _{1dB}) | 5.2 dBm | -18.9 dBm |

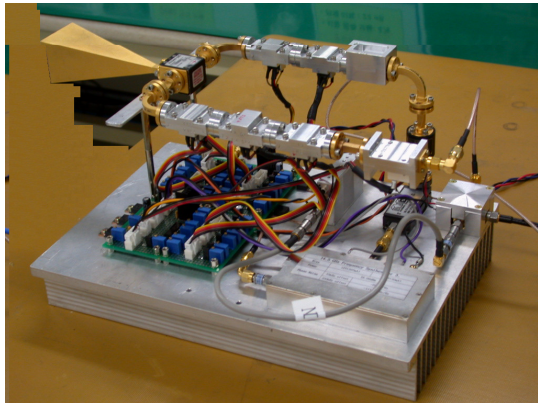


그림 14. 제작된 V-band 무선 송·수신 시스템의 사진

표 1에 무선 송·수신 시스템의 성능을 요약하였다. 송신단의 출력전력은 5.2 dBm, 변환이득은 0.2 dB를 얻었고, 이때 수신단의 변환이득은 2.1 dB의 특성을 나타내었다. 그림 14는 제작된 V-band 무선 송·수신 시스템의 사진이다. 제작된 시스템의 링크테스트 결과 10^{-6} 이하의 BER특성을 보여주었고, 5 m의 거리에서 데이터 통신을 성공하였다.

III. 결론

본 논문에서는 수신단에 필터와 LO를 사용하지 않는 저가격 V-band 무선 송·수신 시스템을 제작하였다. 무선 송·수신 시스템에 사용된 MMIC 모듈은 CPW와 GaAs PHEMT기술을 이용하여 제작하였다. 무선 송·수신 시스템에 사용된 MMIC 칩은 LNA, MPA 그리고 다운믹서를 사용하였다. MMIC 칩셋을 무선 송·수신 시스템에 적용시키기 위해 WR-15 형식의 CPW-waveguide 변환기를 제작하였다. V-band 무선 송·수신 시스템의 측정결과 송신단에서 0.2 dB의 변환이득과 5.2 dBm의 P_{1dB}를 얻었다. 또한 수신단의 측정결과 2.1 dB의 변환이득과 -18.6 dBm의 P_{1dB}의 특성을 나타내었다. 무선 송·수신 시스템의 링크테스트 결과 5 M의 거리에서 BER이 10^{-6} 이하의 결과를 얻었다.

References

- [1] Y. SHOJI, K. HAMAGUCHI, and H. OGAWA, "A Low-Cost and Stable Millimeter-Wave Transmission System Using a Transmission-Filter-Less Double-Side-Band Millimeter-Wave Self-Heterodyne Transmission Technique", IEICE TRANS. COMMUN., pp. 1884-1892, JUNE 2003.
- [2] D.H. Ko, J.Y. Moon, D. An, M.K. Lee, S.J. Lee, J.M. Jin, Y.S. Chae, S.W. Yun, S.D. Kim, H.M. Park, and J.K. Rhee, "V-band Waveguide-to-Coplanar Waveguide Transition for 60 GHz Wireless LAN application," 34th European Microwave Conference, pp. 641-644, 2004.
- [3] I.H. Lee, S.D. Lee, and J.K. Rhee, "Studies on Air-Bridge Processes for mm-wave MMIC's Applications," Journal of the Korean Physical Society, vol. 35, no. 12, pp. S1043-S1046, Dec. 1999.
- [4] Yi-Chi Shih, Thuy-Nhung Ton, and Long Q. Bui, "Waveguide-to-microstrip transitions for millimeter-wave applications," in IEEE MTT-S Dig., vol 1, pp. 473-475, May 1988.