

論文2003-40TC-11-5

60 GHz 무선랜용 광대역 송·수신기

(60 GHz broad-band transceiver for wireless LAN)

李文教*, 李福炯*, 金星燦*, 金容昊**, 李鎮九*

(Mun-Kyo Lee, Bok-Hyung Lee, Sung-Chan Kim, Yong-Hoh Kim, and Jin-Koo Rhee)

요약

본 논문에서는 MINT의 0.1 μm PHEMT MIMIC 공정을 이용하여 제작한 광대역 증폭기와 주파수 혼합기를 사용해서 60 GHz 무선랜 송·수신 시스템을 설계 제작하였다. RF단 송신기의 출력파워는 0 dBm, 이득은 1.7 dB 얻었고, 수신기의 노이즈 특성은 4.2 dB, 이득은 15.7 dB를 얻었다. 구현된 시스템은 통신 거리 35 m 이상 거리에서 BER 10^{-6} 이하로 통신할 수 있다. 신호의 왜란과 은닉성이 강한 DSSS 방식을 사용하여, 단거리 비밀 통신을 목적으로 개발하였다.

Abstract

In this paper, 60 GHz band transmitter and receiver for wireless LAN are designed and implemented using the broband amplifier and mixer fabricated by standard 0.1 μm MIMIC process of MINT. Output power and gain of the RF transmitter are 0 dBm and 1.7 dB, respectively. Noise figure and gain of the receiver are 4.2 dB and 15.7 dB, respectively. Considering the sensitivity and LOS test, this system can communicate with BER of below than 10^{-6} at a distance more than 35 m. DSSS, which is strong for concealment and disturbance, is adopted.

Keywords : Broad-band Trnasceiver, MIMIC, PHEMT

I. 서론

최근 다양한 광대역 및 초고속 무선통신서비스의 개발로 인하여 기존의 마이크로파 대역의 무선 주파수 자원은 점점 고갈되고 있다. 따라서 새로운 주파수 자

원의 확장이 필요하게 되었다. 이에 대한 해결책으로 그 동안 천체, 위성, 군사용으로 주로 사용되어져 왔던 밀리미터파 대역의 주파수에 관심을 갖게 되었다. 동시에 밀리미터파 소자 기술의 발달로 MIMIC(Millimeterwave Monolithic Integrated Circuit)에 의한 회로의 소형, 경량화가 가능해졌다. 이제까지 제한적으로 사용되어 왔던 주파수 대역인 밀리미터파 대역의 전파 자원 이용을 위한 기술이 개발되면서, LMDS(Local Multipoint Distribution Service), PCN(Personal Communication Network), 초고속 무선 LAN, ITS(Intelligent Transport System)에 상업적 이용 연구가 활발히 이루어지고 있다. 향후 밀리미터파 대역은 100 Mbps이상의 초고속 무선 LAN, Wireless1394와 같은

* 正會員, 東國大學校 밀리미터파 新技術研究센터
(Millimeterwave INnovation Technology research center, Dongguk Univisity.)

** 正會員, 培材大學校 電子工學科
(Electronic Engineering, Paichai Univisity.)

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

接受日字:2003年7月1日, 수정완료일:2003年11月1日

가정 및 사무실용 초고속 Intra Net, 근거리 Point-to-Point 초고속통신 및 제 4세대 개인 이동통신 등에 응용될 전망이다.

60 GHz 대역은 산소에 의한 전파의 흡수 감쇄가 커서 인접 셀간의 간섭을 줄일 수 있어 주파수 재사용 측면에서 매우 효율적이다. 또한 다양한 매체와 큰 데이터량을 광대역으로 처리할 수 있는 장점이 있다. 미국의 FCC(Federal Communication Committee)에서는 60 GHz 대역을 ISM(Industrial Scientific Medical) 대역으로 지정하여 연구 지원을 늘리고 있다. 이러한 추세에 맞추어 밀리미터파 대역 초고속 광대역 시스템의 MIMIC화는 소형화, 저가격화, 대량생산의 기반을 마련할 수 있는 핵심 기술중의 하나로 세계 각국에서 연구되고 있다¹⁻²⁾.

본 논문에서는 전력증폭기와 저잡음증폭기, 주파수 혼합기 및 발진기등의 모듈을 사용하여 60 GHz 대역의 무선 통신 시스템을 설계, 제작하였다. 제작된 시스템은 IEEE802.11규격과 호환되어 무선 LAN 시스템과 연동하여 송·수신 실험을 하였다. 또한 자체 제작한 MIMIC's로 대체하여 전송실험을 하였다.

II. 60 GHz 송·수신기 설계

설계한 시스템은 <그림 1>과 같으며 22 MHz의 채널 대역폭을 갖는 신호를 2.4 GHz, 60.4 GHz의 주파수로 변환하는 슈퍼헤테로다인 방식이다. 송·수신기간 통신은 시분할(Time-Division Duplexing) 방식으로 이루어진다. <그림 1>에서 상향 60.4 GHz는 데이터 전송을 위한 주파수이고, 하향 2.4 GHz는 송·수신기간 handshake를 위한 주파수이다.

무선 랜의 구현을 위한 Link budget을 <표 1>에 나타내었다. 11 Mbps 속도로 데이터를 전송할 때 사용된 IF단은 Intersil사의 PRISM 칩셋으로 2 MHz 대역폭의

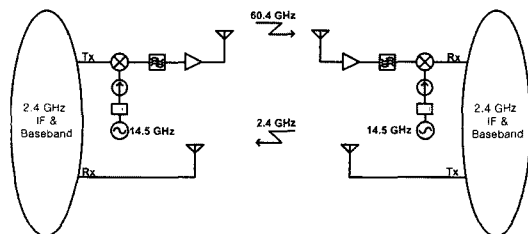


그림 1. 60 GHz 송·수신기의 블록도
Fig. 1. A block diagram of the 60 GHz transceiver.

표 1. 설계된 시스템의 Link budget
Table 1. Link budget of the designed system.

통신 주파수	상향	60.4 GHz [BW : 2 GHz]
	하향	2.4 GHz [BW : 83 MHz]
변조 방식	CCK, DSSS	
접속 방식	TDD	
데이터 전송 속도	11 Mbps/ch	
데이터 에러율	10 ⁻⁶ BER	
서비스 범위	~ 35 m	
수신기의 노이즈	4.2 dB	
송신기 출력파워	0 dBm	
안테나 이득	25 dBi	
신호대 잡음비	11 dB	

신호를 22 MHz 대역으로 확산변조(DSSS : Direct Sequence Spread Spectrum)하여 전송한다.

수신기에서 noise floor는 열잡음(NTH)과 수신기 자체의 잡음지수(Noise Figure)로 생각할 수 있다. 수신기가 갖는 열잡음은 식 (1)과 같다.

$$N_{TH} = kTB \tag{1}$$

단, k는 Boltzman 상수이고, T는 절대온도, B는 시스템의 채널 대역폭이다. 따라서 수신기의 noise floor는 식 (1)에 수신기의 잡음지수 4.2 dB를 더한 -106.7 dBm이 된다. CCK(Complementary Code Keying) 변조 방식을 사용해서 10⁻⁶ BER을 얻으려면 E_b/N₀값이 11 dB 이상이 되어야 한다³⁾. 여기서 E_b는 1 bit 신호의 최소 에너지이고, N₀는 1 Hz 대역폭에서의 열잡음이다. 따라서 시스템에서 필요로 하는 신호대 잡음비(SNR)는 식 (2)와 같다.

$$SNR = (E_b/N_0) * (R/BT) \tag{2}$$

단, R은 전송속도, B는 전체 대역폭이다. 수신기의 Sensitivity(P_{rx})는 수신기가 일정한 BER로 통신할 수 있는 최소의 입력신호 레벨로서 식 (3)으로부터 -95.7 dBm이 된다.

$$P_{rx} = \text{Receiver Noise Floor} + SNR \tag{3}$$

실내에서 통신할 때 송·수신기 사이에 가구, 벽 등과 같은 장애물에 의한 다중경로가 형성되고, 원래의 신호가 다중경로 신호와 역위상에 있을 때 수신 신호를 감쇄시키는 fading 현상이 발생한다. 본 시스템에서

는 fading 현상을 보상하기 위해 fade margin을 30 dB로 주고 설계하였다. 또한, 60 GHz 신호는 실내에서 자유공간에 의한 감쇄와 산소에 의한 감쇄 특성이 있으므로, 송·수신기간 거리 35 m에서 98.5 dB 감쇄를 갖는다^[4]. 따라서 데이터 에러율(BER) 10⁻⁶ 이하로 통신하는데 필요한 송신기의 파워(P_{tx})는 식 (4)로부터 -17.2 dBm이 된다.

$$P_{tx} = P_{rx} - G_{tx} - G_{rx} + L_{fs} + \text{Fade Margin} \quad (4)$$

여기서 G_{tx}는 송신기의 안테나 이득, G_{rx}는 수신기의 안테나 이득, L_{fs}는 자유공간상에서 송·수신기간 거리에 의한 손실이다. 식 (1) ~ 식 (4)로부터 송신기와 수신기의 모듈별 사양을 시스템 시뮬레이션을 통해 결정하였다. <표 2>는 설계된 송신기의 모듈별 사양과 레벨 다이어그램이다. 송신기의 전력증폭기(Power Amplifier) 출력이 -17.2 dBm이면 10⁻⁶ BER을 만족하며 통신할 수 있으나, 전송로의 손실과 선형성 등 왜란을 고려하여 전송 파워 마진 17.2 dB를 주어서 0 dBm을 송신하도록 설계하였다. 또한 송신단과 수신단에서 충분한 LO 격리도(isolation) 특성을 얻기 위해 주파수

표 2. 설계된 송신기의 레벨 다이어그램
Table 2. Level diagram of the designed transmitter.

	Mixer	Filter	PA	Antenna
Gain [dB]	-5.4	-0.9	15.4	25 dBi
Cumulative Gain [dB]	-5.4	-6.3	9.1	
P _{1dB} [dBm]	-3	-	12.1	
System Output [dBm]	-14.5	-15.4	0	

표 3. 설계된 수신기의 레벨 다이어그램
Table 3. Level diagram of the designed receiver.

	Antenna	LNA	Filter	Mixer
Gain [dB]	25 dBi	17.5	-0.8	-5
Cumulative Gain [dB]	-	17.5	16.7	11.7
NF [dB]		4	0.8	5.5
Cumulative NF [dB]	4.2	5.7	4.9	5
IP ₃ [dBm]		-8	-	3.81

혼합기 다음 단계에 LO 주파수 억압특성을 갖는 대역통과 여파기를 삽입하였다. <표 3>은 설계된 수신기의 모듈별 사양과 레벨 다이어그램이다. 수신기의 저잡음 증폭기(Low Noise Amplifier)는 Sensitivity -95.7 dBm을 만족하도록 잡음지수 4.2 dB가 되도록 설계하였다.

III. MIMIC 제작과 측정결과

설계에 사용된 GaAs PHEMT는 게이트 길이는 0.1 μm이고, 에피구조는 double delta doping과 AlGaAs/GaAs super lattice buffer를 사용하였다. 제작된 PHEMT의 측정결과 f_T=106 GHz, f_{max}=160 GHz의 특성을 얻었다. 모델은 Agilent의 EEHEMT1(EEscalable nonlinear HEMT Model) 모델을 사용하여 대신 모델 파라미터를 추출하였다.

<그림 2>는 V-band 하향 주파수 혼합기의 설계 회로이다. 일반적으로 높은 변환이득 특성을 갖으며, 능동소자의 S₁₂ 특성으로 인하여 RF와 LO 격리 특성이 우수한 게이트 믹서 구조로 설계하였다. 하향 주파수 혼합기의 입력신호 주파수(RF)는 60.4 GHz, 국부발진 주파수(LO)는 58 GHz, 중간주파수(IF)는 2.4 GHz로 설계하였다.

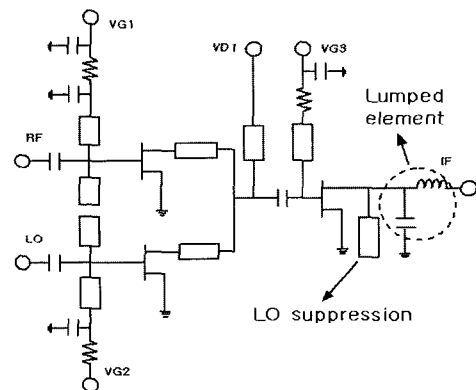


그림 2. 설계된 V-band 하향 주파수 혼합기의 회로도
Fig. 2. Designed V-band down convert-mixer.

MIMIC 제작은 MINT(Millimeter-wave INnovation Technology research center) standard process를 사용하여 제작하였다. 제작된 V-band 하향 주파수 혼합기의 칩크기는 1.8×1.7 mm²이며 <그림 3>에 제작된 칩 사진을 나타내었다.

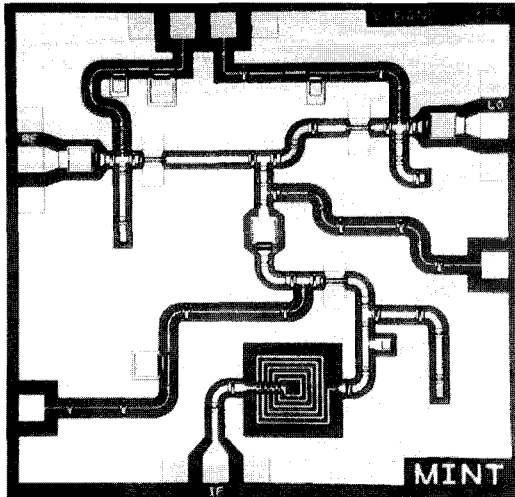


그림 3. 제작된 V-band 하향 주파수 혼합기^[5]
 Fig. 3. Photograph of the fabricated V-band down convert-mixer^[5].

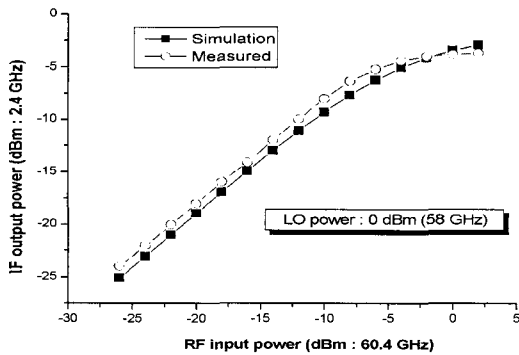


그림 4. RF 입력에 대한 IF 출력전력
 Fig. 4. IF output power vs. RF input power.(LO frequency : 58 GHz, LO power : 0 dBm)

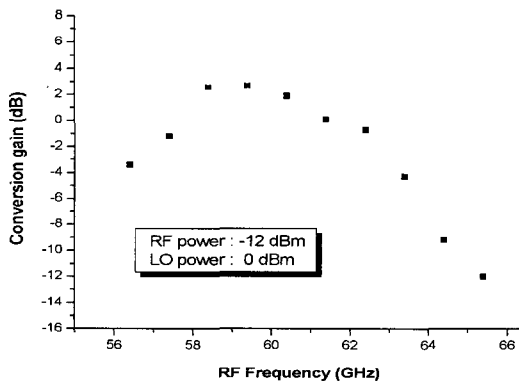


그림 5. RF 주파수에 대한 변환이득 측정결과
 Fig. 5. Conversion gain vs. RF frequency.(RF power : -12 dBm, LO frequency : 58 GHz, LO power : 0 dBm)

<그림 4>에 RF 입력전력에 대한 IF 출력특성을 나타내었다. 제작된 하향 주파수 혼합기의 출력 및 변환이득 측정결과 LO 입력이 0 dBm 일 때 2 dB의 변환이득 특성을 얻었으며, P_{1dB}는 -5.2 dBm의 결과를 얻었다. RF 주파수에 따른 변환이득 측정결과 설계 주파수인 58.4 ~ 61.4 GHz 영역에서 2 dB 이상의 변환이득 특성을 나타내었으며 이를 <그림 5>에 나타내었다. 하향 주파수 혼합기의 특성 측정결과 시뮬레이션 결과와 잘 일치하였으며, 0 dBm의 낮은 LO 입력에서도 2 dB 이상의 높은 변환이득 특성을 얻었다.

<그림 6>은 설계된 V-band 저잡음증폭기의 회로도이다. 회로의 첫 번째단은 노이즈 정합, 두 번째단은 이득 정합을 하였고, 회로의 안정도를 높이기 위해 게이트 바이어스에 저항을 달아 설계하였다. <그림 7>은 칩 면적 2.3 mm × 1.4 mm인 V-band 저잡음 증폭기의 사진이다. <그림 8>은 드레인 전압이 1.8 V일 때 V-band MIMIC 저잡음 증폭기의 이득 특성 측정 결과를 시뮬레이션과 비교한 것이다. 최대 이득은 60 GHz에서 약 14.9 dB이었으며 이때 반사 손실 S₁₁은 25 dB, S₂₂는 13 dB 가 측정되었다. <그림 9>는 60.4 GHz에서 신호를 입력하였을 때 입력파위에 따른 출력파위 측정결과로서 P_{1dB}는 1 dBm, 파워이득 11 dB의 결과를 얻었다.

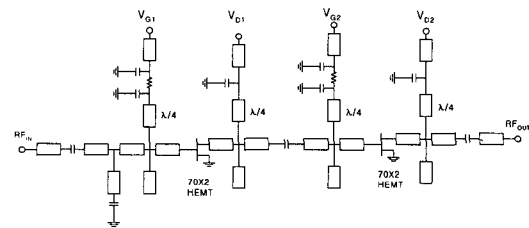


그림 6. V-band 저잡음증폭기 회로도
 Fig. 6. V-band LNA.

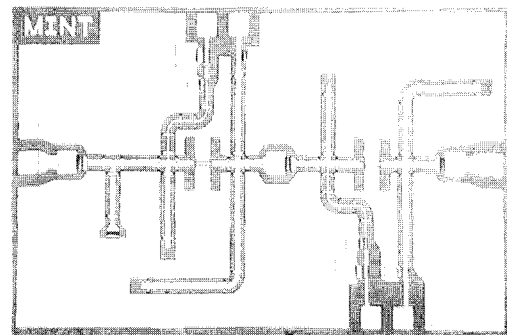


그림 7. 제작된 V-band 저잡음 증폭기^[6]
 Fig. 7. Photograph of the fabricated V-band LNA^[6].

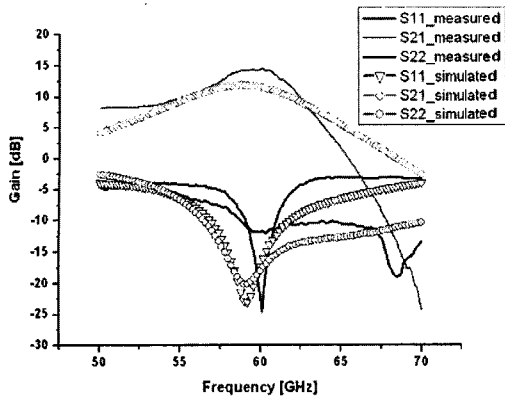


그림 8. 주파수에 따른 이득 특성
Fig. 8. Gain vs. frequency.

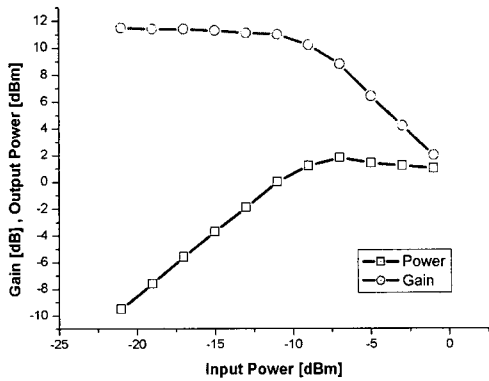


그림 9. 입력 파워에 대한 출력파워, 이득 특성
Fig. 9. Output Power and Gain vs. Input Power.

IV. 송·수신기 구현 및 성능평가

60 GHz 시스템 블록도에서 송신기의 전력증폭기와 수신기의 하향주파수 혼합기를 제작한 MIMIC's로 적

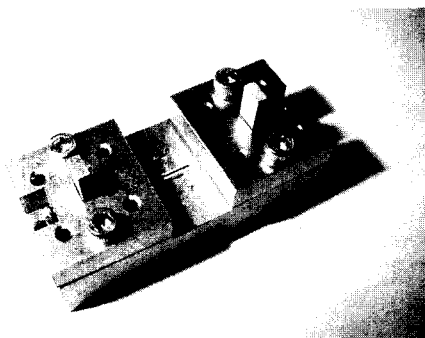


그림 10. 제작된 V-band Waveguide-to-CPW 변환기
Fig. 10. Photograph of the fabricated V-band Waveguide-to-CPW transition.

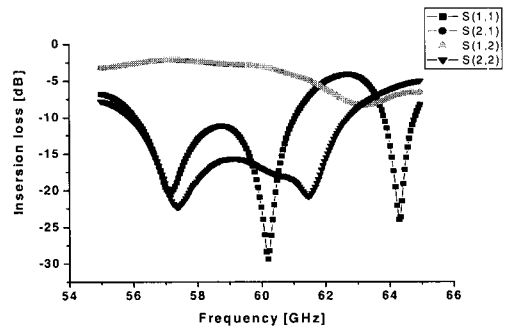
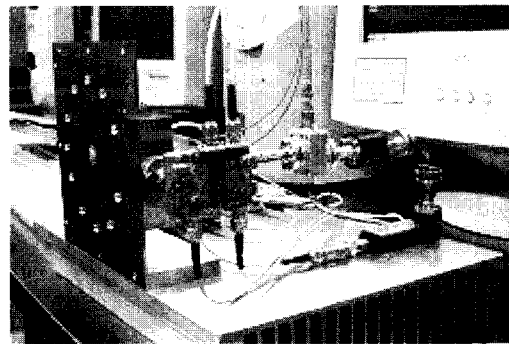
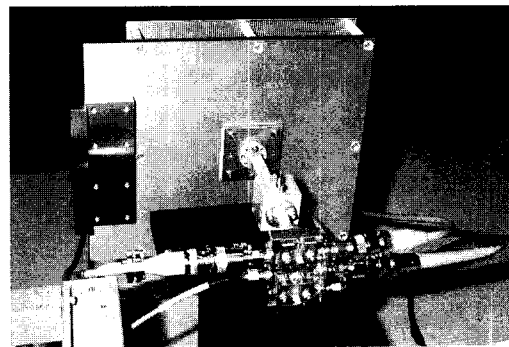


그림 11. V-band Waveguide-to-CPW 변환기의 27.8 mm Thru 측정 결과
Fig. 11. Insertion loss vs. frequency for Waveguide-to-CPW transition of 27.8 mm Thru.



(a)



(b)

그림 12. 제작된 60 GHz 송·수신기 사진 (a) 송신기, (b) 수신기

Fig. 12. Photograph of the fabricated 60 GHz tranceiver. (a) Transmitter, (b) Receiver

용하였고, 나머지 모듈들은 측정용 모듈을 사용하여 구현하였다. 모듈 제작은 Duroid사의 15-mil 기판을 사용하여 Waveguide-to-CPW^[7] 변환기구조로 제작하였다. <그림 10>은 27.8 mm 길이의 Thru 변환기 회로가 장착된 사진이다. 제작된 변환기구조는 60 GHz 대역에서

반사손실 15 dB 이하, 입·출력 삽입손실 3 dB의 양호한 특성을 얻었으며 측정결과를 <그림 11>에 나타내었다. <그림 12(a)>은 구현된 송신기 사진으로 출력파워 0 dBm, 이득 1.7 dB의 특성을 갖는다. <그림 12(b)>는 이득 15.7 dB, 잡음 지수 4.1 dB로 구현한 수신기 사진이다.

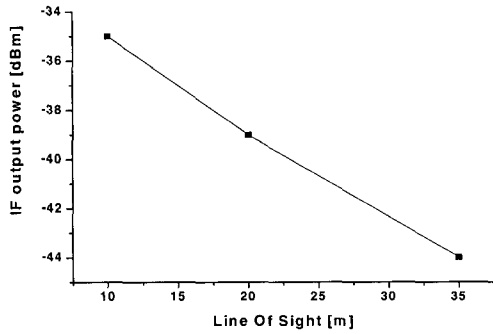
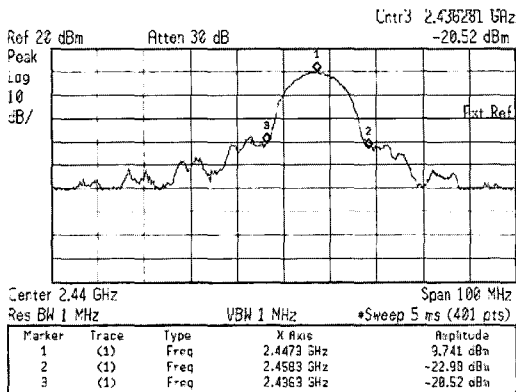
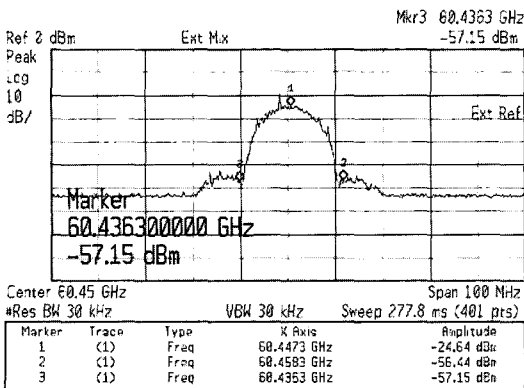


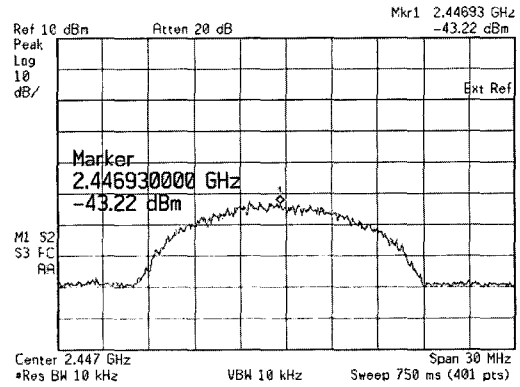
그림 13. LOS에 따른 수신부 IF단 출력파워 측정결과
Fig. 13. IF output power vs. LOS. (Transmitter input : -12 dBm @ 2.44 GHz)



(a)



(b)



(c)

그림 14. DSSS 신호의 주파수 변조 및 복조 (a) 송신부 IF단 입력 신호, (b) 수신부 저잡음 증폭기 출력단 신호, (c) 복조된 IF단 출력 신호
Fig. 14. Modulation and demodulation of DSSS signal. (a) IF input signal of the transmitter, (b) LNA output signal of the receiver, (c) Demodulated output signal at receiver IF port

성능평가는 거리에 따른 수신 레벨 테스트와 데이터 전송시 DSSS 스펙트럼 분석 실험을 하였다. <그림 13>은 송신기에서 2.4 GHz의 -12 dBm 신호를 송신하였을 때 송·수신간 거리(Line Of Sight)에 따른 수신신호 레벨을 IF단에서 측정된 결과이다. 35 m 거리에서 수신된 IF 신호 레벨이 -44 dBm이므로 수신기의 이득 16.7 dB를 빼주면, 저잡음 증폭기의 입력단에 수신되는 신호 레벨이 -60.7 dBm임을 알 수 있다. 시스템 설계시 시스템의 sensitivity가 -95.7 dBm 이므로 시스템간의 데이터 통신은 BER 10^{-6} 이하로 이루어질 수 있다. <그림 14>는 IF단에 DSSS 신호를 입력하였을 때 전송된 밀리미터파 스펙트럼과 복원된 스펙트럼을 스펙트럼 분석기로 측정된 결과이다. 복원된 신호의 스펙트럼은 왜곡이나 확장 없이 통신되고 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 60 GHz 송·수신기를 구현하여 특성을 분석하였다. 구현된 송신기의 측정결과는 출력 전력 0 dBm, 이득 1.7 dB의 결과를 얻었다. 수신기는 잡음 지수 4.2 dB, 이득 15.7 dB의 특성을 얻었다. 수신기의 Sensitivity를 고려할 때 거리에 따른 출력 특성 측정으로부터 구현된 시스템의 송·수신 거리는 35m 이상

에서도 BER 10^{-6} 이하로 통신할 수 있다. 또한, 시스템의 RF단 대역폭이 2 GHz 이상이므로 기저대역에서 광대역 신호처리를 할 수 있다면, 본 연구에서 구현한 11 Mbps 이상의 초고속 통신 시스템도 구현할 수 있다. 제작된 시스템은 DSSS 방식과 밀리미터파로 통신하기 때문에 실내의 무선 통신 수단 및 군에서 비밀 통신용으로 사용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Shoji, K. Hamaguchi, and H. Ogawa, "Millimeter-wave remote self-heterodyne system for extremely stable and low-cost broadband signal transmission," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 50, no. 6, pp. 1458-1468, June 2002.
- [2] A. Tessmann, S. Kudzus, T. Feltgen, M. Riessle, C. Sklarczyk, and W. H. Haydl, "Compact Single-chip W-band FMCW radar modules for commercial high-resolution sensor applications," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 50, no. 12, pp. 2995-3001, Dec. 2002.
- [3] K. Halford, S. Halford, M. Webster, C. Andren, "Complementary code keying for RAKE-based indoor wireless communication," *IEEE Circuits and Systems*, vol. 4, pp. 427-430, July. 1999.
- [4] FCC doc. Bulletin no. 70 "Millimeter wave propagation: spectrum management implications," FCC, July. 1997.
- [5] Dan An, Bok-Hyoung Lee, Sam-Dong Kim, Yeon-Sik Chae, Hyun-Chang Park, Hyung-Moo Park, and Jin-Koo Rhee, "Low LO Power V-band CPW Down-converter Using GaAs PHEMT," *J. Korean Phys. Soc.*, vol. 41, no. 6, pp. 1013-1016, Dec. 2002.
- [6] Tae-Sin Kang, Seong-Dae Lee, Bok-Hyung 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] Y. C. Shih, T.-N. Ton, and L. Q. Bui, "Waveguide-to-microstrip transitions for millimeter-wave applications," *IEEE MTT-S International*, vol. 1, pp. 473-475, May 1988.

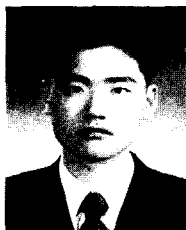
저 자 소 개



李文教(正會員)

1999년 2월 : 배재대학교 전자공학과(공학사). 2001년 8월 : 동국대학교 전자공학과(공학석사). 2001년 9월~현재 : 동국대학교 전자공학과 박사과정. <주관심분야 : 무선 통신 시스템, MIMIC 설계 및 소

자 모델링>



李福炯(正會員)

1999년 2월 : 동국대학교 전자공학과(공학사). 2001년 2월 : 동국대학교 전자공학과(공학석사). 2001년 3월~현재 : 동국대학교 전자공학과 박사과정. <주관심분야 : 밀리미터파 소자 및 회로 설계 제작>



金星燦(正會員)

1999년 2월 : 동국대학교 전자공학과(공학사). 2001년 2월 : 동국대학교 전자공학과(공학석사). 2001년 3월~현재 : 동국대학교 전자공학과 박사과정. <주관심분야 : 밀리미터파 소자 및 회로 설계 제작>



金容昊(正會員)

1975년 : 연세대학교 물리학과(공학사). 1985년 : University of Wyoming 전기 및 컴퓨터공학과(공학석사). 1998년 : 충남대학교 전자공학과(공학박사). 1985년~1990년 : 전자통신연구원 연구원. 2000년~2001년 : San Diego State University, Visiting Professor. 1990년~현재 : 배재대학교 전자공학과 교수



李 鎮 九(正會員)

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 : University of Michigan, Visiting Research Scientist. 1995년~현재 : 한국 전자과학기술회 이사. 1996년~현재 : 한국산업인력관리공단, 기술사 검정 심의위원. 2002년~현재 : 대한전자공학회 부회장. 1985년~현재 : 동국대학교 공과대학 전자공학과 교수. 1999년~현재 : 밀리미터파 신기술 연구센터 소장