

논문 2010-47TC-2-11

혼 배열 안테나를 이용한 밀리미터파 수동 이미징 센서 연구

(Study Of Millimeter-Wave Passive Imaging Sensor Using the Horn Array Antenna)

임 현 준*, 채 연 식*, 김 미 라*, 이 진 구**

(Hyun-Jun Lim, Yeon-Sik Chae, Mi-Ra Kim, and Jin-Koo Rhee)

요 약

본 연구에서는 다수의 혼 안테나 배열을 가지는 밀리미터파 수동 이미징 센서를 설계 하였다. 6개의 혼 안테나를 일체형 구조 형태로한 배열 안테나를 제안하였고, 이를 공간상에 효율적으로 배치함으로써, WR-10 구조의 LNA와의 결합이 용이하도록 하였다. 안테나는 94GHz의 중심주파수에서 17.5dBi의 최대 이득을 가지고, W 주파수 대역에서 -25dB 이하의 반사계수 값을 가지도록 설계 하였다. 고해상도의 안테나 배열을 위해 안테나 개구면을 6mm×9mm의 작은 크기로 설계하였다. LNA는 양호한 성능의 수신감도를 얻기 위해 55dB 이상의 총 이득과, 5dB 이내의 잡음지수를 가지도록 설계 하였다. 밀리미터 신호를 직류 신호로 변환하기 위해 상용 제로 바이어스 쇼키 다이오드를 사용한 검파기를 제작하였고, 검파기의 성능을 측정한 결과 500mV/mW 이상의 양호한 수신감도를 얻었다

Abstract

We have designed a millimeter-wave passive imaging sensor with multi-horn antenna array. Six horn array antenna is suggested that it is integrated into one housing, and this antenna is effectively configured in space to assemble with LNA of WR-10 structure. Antenna is designed to have the peak gain of 17.5dBi at the center frequency of 94GHz, and the return loss of less than -25dB in W-band, and the small aperture size of 6mm×9mm for antenna configuration with high resolution. LNA is designed to have total gain of more than 55dB and noise figure of less than 5dB for good sensitivity. We made a detector for DC output translation of millimeter-wave signal with zero bias Schottky diode. It is shown that good sensitivity of more than 500mV/mW.

Keywords : horn array antenna, millimeter-wave, passive imaging sensor, LNA, zero bias detector

I. 서 론

밀리미터파는 30~300GHz의 주파수 대역을 가지며, 가시광선이나 적외선에 비해 구름, 안개, 비, 먼지, 화염 등에 의한 감쇄가 적고, 마이크로파보다 높은 분해능을 얻을 수 있는 장점이 있다. 또한 가시광선이나 적외선 시스템이 구름, 안개, 먼지 등을 통해 영상을 얻을 수

없는 상황에서도 밀리미터파 이미징 센서를 사용하여 영상 정보를 얻을 수 있다^[1]. 밀리미터파 이미징 센서는 크게 수동 이미징과 능동 이미징으로 나눌 수 있으며, 수동 이미징은 발진기가 필요없는 대신 수신감도가 미약한 반면, 능동 이미징은 발진기가 필요하지만 수신감도가 큰 장점이 있다. 밀리미터파 이미징이 실생활에 적용되는 예로는 의료용 시스템, 지능형 교통 시스템, 군사용 시스템, 광대역 무선 시스템, 세관, 공항, 항만 등에서의 보안검색을 위한 비금속 탐지용 시스템^[2] 등이 있다. 사람의 옷 속에 물체가 숨겨져 있다면 그것은 피부와 다른 유전상수를 가지므로 밀리미터파 이미지는 물체에 의한 방사온도 변화를 나타낸다. 예로 옷 속에 감춰진 권총은 몸으로부터의 자연방사를 막을 뿐만

* 정희원, ** 평생회원,
동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터
(Millimeter-wave INnovation Technology research center(MINT), Dongguk University)

※ 본 연구는 2008년도 서울시 산학연 협력사업[기술 기반 구축사업(기업수요), 과제번호 : KU080649]의 연구비 지원으로 수행되었음.

접수일자: 2009년10월13일, 수정완료일: 2010년2월17일

아니라 주위 환경으로부터의 방사를 반사하게 되고, 플라스틱과 세라믹과 같은 비금속도 유사한 효과를 가지게 된다. 본 연구에서는 금속뿐만 아니라 비금속까지 탐지가 가능한 밀리미터파 수동 이미징 시스템^[3-6]을 소개하고, 이러한 시스템의 핵심 모듈인 센서의 구성에 대해 중점적으로 논의 하였다.

II. 밀리미터파 이미징의 개요

1. 밀리미터파의 대기효과

밀리미터파는 35, 94, 140, 220 GHz의 주파수 영역에서 가시광선이나 적외선에 비해 신호 감쇄가 적고, 주파수가 높아질수록 이미징 해상도가 증가 한다는 특징이 있다. 또한 밀리미터파 수동 이미징은 안개, 태양 조명 등의 영향을 적게 받기 때문에 시야가 좋지 않은 날에도 밤낮의 환경에 제약을 받지 않으면서 일정한 영상을 얻을 수 있다.

2. 밀리미터파의 방사

절대온도 0K 이상의 온도를 가지는 모든 자연의 물체들은 밀리미터파를 방사한다. 흑체원 으로부터의 방사 스펙트랄 휘도는 식 1과 같이 플랑크의 법칙에 의해 주어진다.

$$W_{\lambda}(\lambda, T) = \left(\frac{2\pi hc^2}{\lambda^2} \right) \left(\frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \right) \quad (1)$$

여기서 c 는 광속도($2.998 \times 10^8 m/s$),
 h 는 플랑크 상수($6.63 \times 10^{-34} J/K$) 이고,
 k 는 볼츠만 상수($1.38 \times 10^{-23} J/K$)를 나타낸다.

3. 밀리미터파 이미징의 시스템 적용

수동 밀리미터파 이미징 시스템을 구성하기 위해서는 이미징 센서 뿐만 아니라 렌즈, 반사판, 스캔을 위한

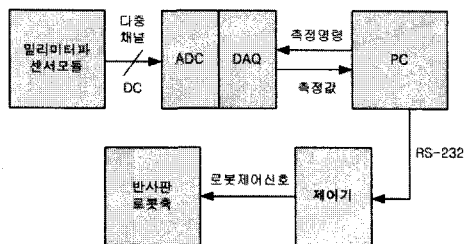


그림 1. 밀리미터파 수동 이미징 시스템 블록도
 Fig. 1. Block diagram of the Millimeter-wave passive imaging system.

구동장치, A/D 컨버터 등의 하드웨어 부분과 제어 및 신호처리를 위한 소프트웨어가 필요하다. 그림 1은 밀리미터파 수동 이미징 시스템의 기본적인 블록도를 나타낸다.

III. 수동 이미징 센서

1. 센서의 구성

밀리미터파 이미징 시스템용 센서는 그림 2와 같이 안테나, 증폭기, 검파기로 이루어진다 고감도의 수신감도를 얻기 위해서는 고이득 특성의 안테나, 저잡음과 고이득 특성의 증폭기, 고감도의 검파기가 요구되어 진다.

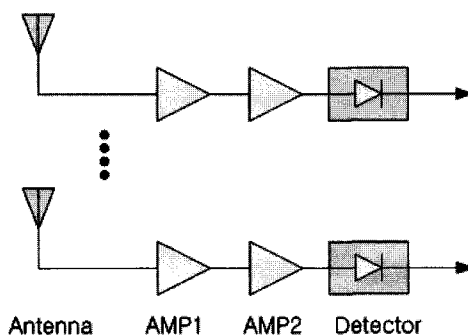


그림 2. 밀리미터파 이미징 센서 블록도
 Fig. 2. Block diagram of the Millimeter-wave imaging sensor.

2. 혼 배열 안테나

수동 이미징 시스템용 안테나^[7]는 선명한 해상도를 얻기 위해 높은 이득과 지향성을 필요로 하며, 혼안테나, 다이폴안테나 또는 테이퍼드 슬롯 안테나와 같은 다양한 종류의 안테나들이 이미징 시스템에 적용되어져 왔다. 본 연구에서 적용된 단일 혼 안테나의 구조는 그림 3과 같다. 여기서, 단일 안테나의 크기는 $6mm \times$

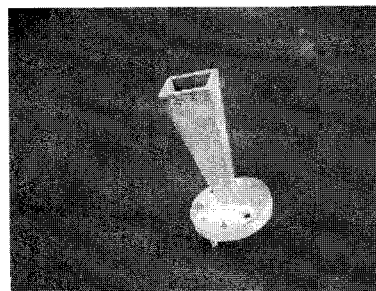


그림 3. 제작된 혼 안테나 사진
 Fig. 3. Photograph of the Fabricated horn antenna.

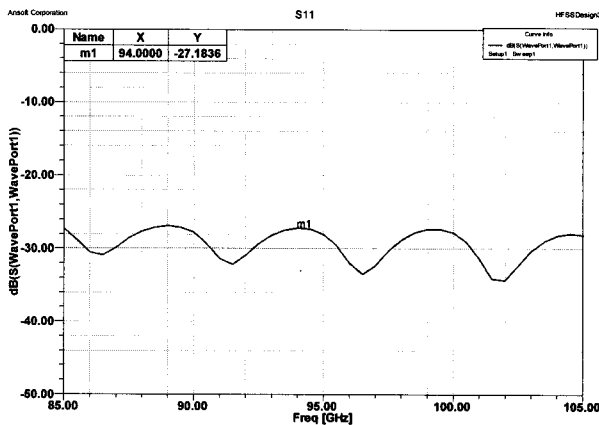


그림 4. 안테나 반사계수의 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Simulated result of antenna Return loss.

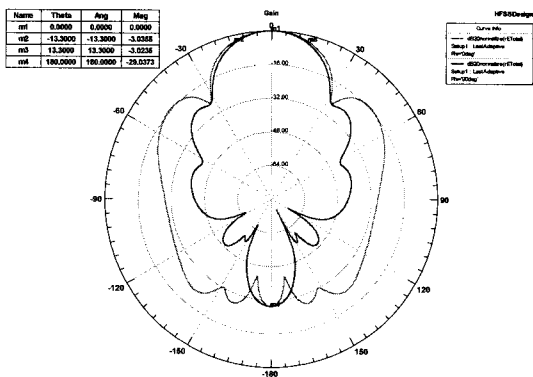


그림 5. 안테나 방사패턴의 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulated result of antenna Radiation pattern.

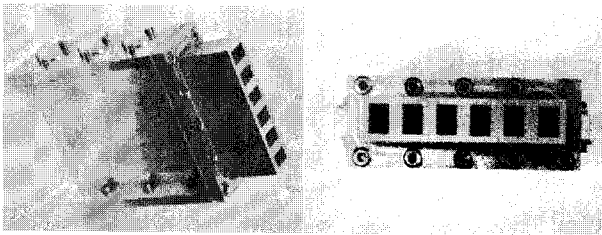


그림 6. 제작된 1×6 배열 안테나 사진
Fig. 6. photograph of the Fabricated 1×6 array antenna.

9mm×32.8mm 이다.

안테나의 반사계수는 94GHz에서 -26.5 dB 이며 그림 4와 같이 W 전 주파수 대역에서 -25dB 이하의 반사계수 값을 나타낸다. 여기서 시뮬레이션 툴로는 Ansoft 사의 HFSS11을 사용하였다.

그림 5는 설계된 안테나의 방사패턴을 나타낸다. 94GHz에서 안테나의 최대이득은 17.5dBi의 고이득 특성을 나타내고, E-plane과 H-plane에서의 3dB 빔폭은 각각 26.6°와 23.7° 이다.

이미징 시스템에서 스캔하는 시간을 줄이고, 이미징

신호를 실시간으로 받아들이기 위해서는 여러개의 센서를 배열 할 필요가 있다. 그림 6은 실제로 제작되어 이미징 시스템에 적용된 6 배열 안테나의 사진을 나타낸다. 그림에서 보는바와 같이 효율적인 공간 배치를 위해 각각의 포트는 좌우 대칭적인 형태로 일체형으로 구성되어 있으며, WR-10의 결합 구조를 가진다. 그리고 그림 6에서 보인 구조는 6개 채널 이상의 다수의 배열로의 확장이 가능하다.

3. 저잡음 증폭기(LNA)

밀리미터파 수동 이미징 센서의 수신 신호는 미약한 열잡음이기 때문에, 고이득, 저잡음인 증폭기 소자가 요구된다. 본 연구에서는 55dB 이상의 LNA 이득을 얻기 위해 초단에는 상용 Quinsta LNA 모듈을 사용하여 최소 28dB 이상의 이득을 얻었고, 후단에는 상용 칩을 사용하여 1단 LNA 모듈을 제작한 후 2단을 연결하여 최소 27dB 이상의 이득을 얻었다. 그림 7은 제작된 1단 LNA의 사진을 나타낸다.

개발된 1단 LNA 모듈의 이득은 94GHz에서 16dB 이상이며, 마이크로스트립 라인으로 제작된 MMIC LNA 칩을 도파관 형태의 LNA 모듈로 제작하기 위해 Fin

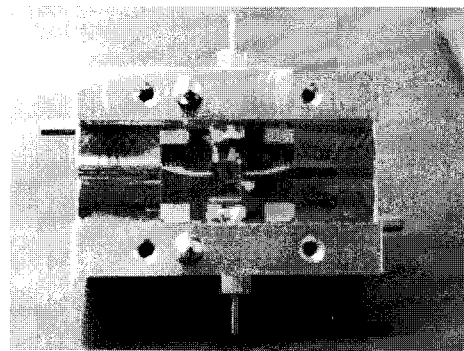


그림 7. 제작된 1단 LNA의 사진
Fig. 7. Photograph of the fabricated 1 stage LNA.

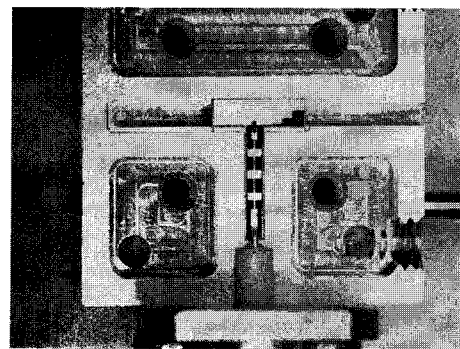


그림 8. 제작된 검파기의 사진
Fig. 8. Photograph of the fabricated detector.

line 형태의 전이구조^[8]를 설계 제작하였다. Fin line 형태의 전이구조는 평면형 회로와 도파관 간의 신호 전달을 원활하게 해주며 집적도를 높여주는 변환기이다. 여기에 사용되어진 기판으로는 유전율이 2.2 이며, 기판 두께가 125 μm 이고, 금속 두께가 15 μm 인 Duroid 5880을 사용하였다. 그리고 전이구조 제작시 정확한 패턴의 구현을 위해 설계된 패턴을 마스크로 제작한 후 반도체 공정을 이용하여 제작하였다.

4. 검파기

다이오드 검파기는 저잡음 증폭기에서 증폭된 94GHz 대역의 신호를 받아들여 입력신호의 세기에 비례하여 직류 전압을 출력한다. 이러한 다이오드 검파기는 광대역, 고감도의 성능이 요구되며, 본 논문에서는 W 주파수 대역을 가지는 상용 제로 바이어스 쇼키 다이오드를 사용 하였다. 제로 바이어스 다이오드 검파기^[9~10]를 사용하는 것은 전압이 인가되는 방식의 다이오드 검파기에 비해 전기적 전력 요구가 낮고, 1/f 잡음이 낮은 장점이 있기 때문이다. 그림 8은 제작된 검파기의 사진을 나타낸다. 그림 8에서 보인 바와 같이 검파기의 DC 출력단자로는 SMA 컨넥터를 사용 하였다.

IV. 측정

안테나와 LNA의 측정을 위해 Anritsu사 ME7808A Vector Network Analyzer 장비를 사용하였으며, 측정 결과는 그림 9~12에 나타내었다. 그림 9는 혼 안테나의 측정된 반사계수 특성이며, 시뮬레이션 결과와 유사하게 W 주파수 대역 내에서 -25dB 이하의 반사계수 값을 나타내고 있다.

그림 10은 그림 7의 LNA에서 사용한 Fin line 형태

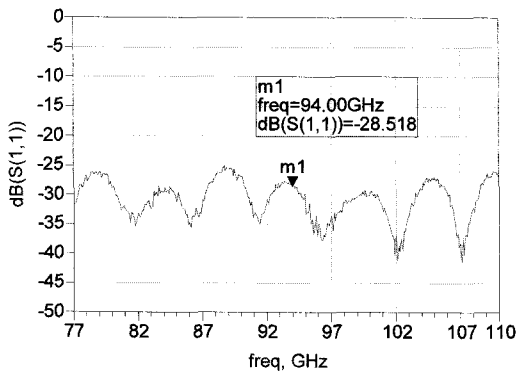


그림 9. 안테나의 반사계수 측정결과
Fig. 9. Test result of antenna return loss.

의 도파관-마이크로스트립 전이구조를 back-to-back 으로 제작하여 실제로 측정 하였을 때의 신호 특성을 나타낸다.

여기서, Back-to-back 전이의 스트립라인 길이는 4.7 mm 이고 측정 결과 77~110GHz 주파수 대역에서 1.5dB의 삽입손실 특성과 -10dB 이하의 반사손실 특성을 얻었다. 이와같이 전이구조의 특성을 검증 후 이를 이용하여 1단 LNA 모듈을 설계 및 제작 하였고, 측정 결과 그림 11에서와 같이 94GHz에서 16.03dB의 이득 값을 나타내었다. 이때 측정시 LNA로의 과입력 방지를 위해 입력단에 20dB 감쇄기를 삽입하였으며, 인가된 게이트 전압은 0.2V, 드레인 전압은 2V 이다.

그림 12는 2단 연결 LNA의 S-파라미터 측정 결과를 나타내며, 그림에서와 같이 94GHz에서 32.72dB의 이득을 얻었다. 그리고 측정시 LNA로의 과입력을 방지하기 위해 LNA 전단에 40dB의 감쇄기를 두었다.

검파기의 성능을 시험하기 위해 신호 입력원으로

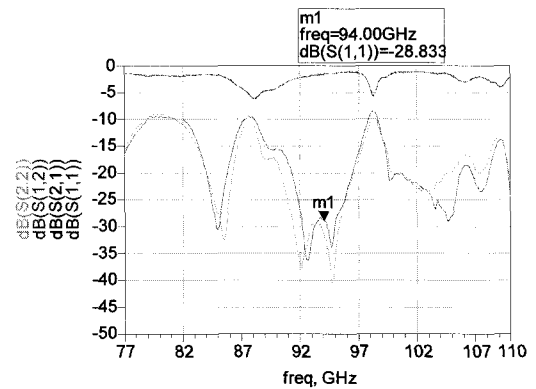


그림 10. back-to-back 전이구조의 측정결과
Fig. 10. Test result of back-to-back transition.

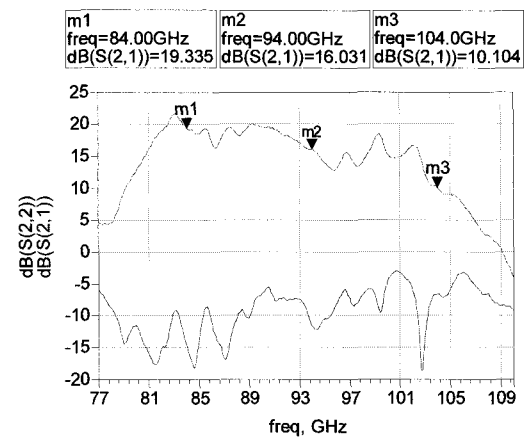


그림 11. 1단 LNA의 S-parameter 측정 결과
Fig. 11. S parameter test result of 1 stage LNA.

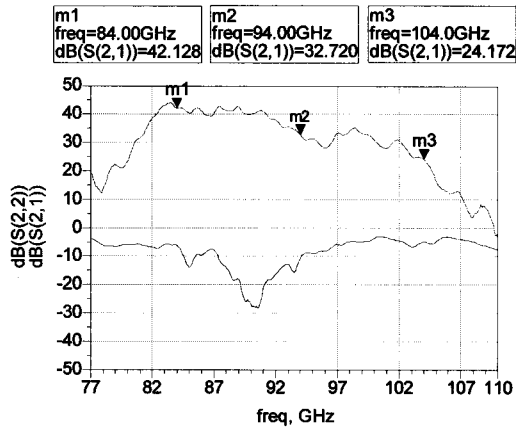


그림 12. 2단 연결 LNA의 S-parameter 측정 결과
 Fig. 12. S parameter test result of 2 stage LNA.

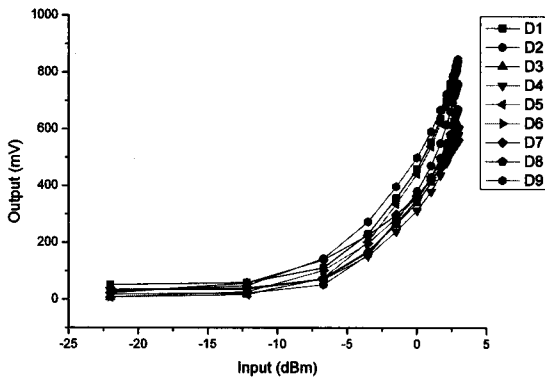


그림 13. 밀리미터파 입력에 따른 검파기 출력전압
 Fig. 13. Detector output voltage to Millimeter wave input power.

E83623B 신호발생기와 S10MS-AG 밀리미터파 신호원 모듈을 사용하였다. 그림 13은 제로 바이어스 검파기의 입력 전력에 따른 출력 전압의 특성을 나타낸다. 측정 결과 검파기는 500mV/mW 이상의 수신감도를 나타내었다.

V. 결 론

혼 배열 안테나를 이용한 밀리미터파 수동 이미징 센서를 제작하였다. 센서의 각 부분을 실제로 설계 제작하여 측정하였고 이를 바탕으로 밀리미터파 수동 이미징 시스템을 구성 하였다. 이미징 해상도를 좋게 하기 위해 6mm×9mm의 작은 개구면을 가지는 안테나를 설계 제작하였고, 이를 확장하여 한 몸체에 6개의 안테나 배열을 가지는 일체형 배열 안테나를 제작 하였다. 안테나로부터 수신한 밀리미터파 신호를 증폭하기 위해 상용 칩을 사용한 1단 및 2단 LNA를 제작하였고 측정

한 결과 94GHz 중심주파수에서 각각 16.03dB와 32.72dB의 이득을 얻었다. 그리고 Quinstar 상용 LNA와 상용 칩을 사용한 LNA 2단을 결합하여 측정한 결과 60dB 이상의 이득과 5dB 이내의 잡음지수 값을 얻을 수 있었다. 검파기 제작은 상용 재료 바이어스 쇼키 다이오드를 사용하였고, 제작한 검파기를 측정한 결과 500mV/mW 이상의 양호한 수신감도 성능을 얻었다. 이와같은 센서 설계 및 제작기술을 바탕으로 밀리미터파 영상을 얻을 수 있는 수동 이미징 시스템을 제작하였다.

참 고 문 헌

- [1] L. Yujiri, M. Shoucri, P. Moffa, "Passive millimeter wave imaging," IEEE Microwave Magazine, Volume 4, Issue 3, pp.39-50, Sep. 2003.
- [2] W. Xue-tian, L. Xu-dong, S. Song, "A design of PMMW camera for security scanning, Environmental Electromagnetics," The 4th Asia-Pacific Conference on 1-4, pp.798-801, Aug. 2006.
- [3] 정민규, 채연식, 미즈노코지, 이진구, "밀리미터파 수동 이미징 시스템 연구," 전자공학회논문지 제 43권 TC편 제 5호, pp.182-187, 2006. 5.
- [4] 정민규, 채연식, 김순구, 윤진섭, 미즈노코지, 이진구, "밀리미터파 수동 이미징 시스템 연구II," 전자공학회논문지, TC편 제3호, pp.105-110, 2007. 3.
- [5] 정민규, 채연식, 김순구, 윤진섭, 미즈노코지, 이진구, "밀리미터파 수동 이미징 시스템 연구III," 전자공학회논문지, TC편 제3호, pp.111-116, 2007. 3.
- [6] 정경권, 채연식, 이진구, "밀리미터파 수동 이미징 센서 연구," 전자공학회논문지, SC편 제 2호, pp.57-63, 2008. 3.
- [7] M. K. Joung, Y. Suzuki, K. Kanari, N. Arai, H. Sato, Y. Wagasuma, Y. Yamanaka, S. Kim, K. Mizuno, "A Design of Antenna for Passive Millimeter -wave Imaging Arrays," APMC2002, WE4B-3, pp. 253-256, 2002.
- [8] E. K. Sia and S. Fu, "Finline/Antipodal Finline Transition for High Q LO Implemented Mixer," TSMMW Technical Digest, pp.149-152, March 2000.
- [9] M. R. Fetterman, J. Grata, G. Jubic, W. L. Kiser, Jr., A. Visnansky, "Simulation, acquisition, acquisition and analysis of passive millimeter-wave images in remote sensing applications," OPTICS EXPRESS 20503 Vol. 16, No. 25, 8 Dec. 2008.
- [10] J. J. Lynch, J. N. Schulman, and H. P. Moyer,

“Low noise direct detection sensors for millimeter wave imaging,” IEEE Compound Semiconduct. Integr. Circuit Symp., pp.215-218, Nov. 2006.

저 자 소 개



임 현 준(정회원)
1993년 동국대학교 전자공학과 학사 졸업.
1995년 동국대학교 전자공학과 석사 졸업.
2004년 동국대학교 전자공학과 박사 졸업.

2010년 현재 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터 연구교수.
<주관심분야 : 안테나, 무선통신 시스템>



채 연 식(정회원)
1993년 동국대학교 전자공학과 학사 졸업.
1997년 동국대학교 전자공학과 석사 졸업.
2002년 동국대학교 전자공학과 박사 졸업.

2010년 현재 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터 연구교수.
<주관심분야 : 화합물 반도체, 밀리미터파 대역용 MMIC 및 시스템>



김 미 라(정회원)
1988년 동국대학교 물리학과 학사 졸업.
1991년 한양대학교 물리학과 석사 졸업.
1998년 한양대학교 물리학과 박사 졸업.

2010년 현재 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터 연구교수.
<주관심분야 : III-V족 화합물 반도체, 밀리미터파 대역용 반도체 소자>



이 진 구(평생회원)-교신저자
1969년 국립항공대학교 전자공학과 학사 졸업.
1975년 서울대학교 전자공학과 석사 졸업.
1982년 Oregon State University 전기공학과 박사 졸업

1985년 Cray Research, USA, Research Scientist
1985년 Microwave Semiconductors, USA, Senior Engineer
1990년~1991년 University of Michigan, Visiting Research Scientist
2005년 대한전자공학회 회장
2010년 현재 동국대학교 공과대학 전자공학과 석좌교수
동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터 소장
대한전자공학회 명예회장
<주관심분야 : 밀리미터파 대역용 반도체 소자, MMMIC 및 시스템>