

논문 2007-44TC-3-14

## 밀리미터파 수동 이미징 시스템 연구 II

(Studies on the millimeter-wave Passive Imaging System II)

정민규\*\*, 채연식\*, 김순구\*, 윤진섭\*\*\*, 미즈노코지\*\*\*\*, 이진구\*

(Min-Kyoo Jung, Yeon-Sik Chae, Soon-Koo Kim, Jin-Seob Yoon, Mizuno Koji, and Jin-Koo Rhee)

### 요약

광학계 렌즈이론을 바탕으로 밀리미터파를 집속 시킬 수 있는 렌즈를 설계 제작하고, 이를 이용하여 밀리미터파를 집속하였다. 밀리미터파가 집속되는 초점에 안테나를 위치시키고, 안테나를 기계적으로 이동 시키면서 한점씩의 영상 화소를 취해 전체적인 영상을 얻는 밀리미터파 수동 이미징 시스템을 제작하였다. 이를 기반으로 렌즈의 초점면에 2차원적인 안테나 배열이 가능한 영상시스템을 목표로 하여 안테나 배열 소자를 설계·제작하였다. 안테나는 페르미 테이퍼 슬롯 안테나(Fermi Taper Slot Antenna)를 채택하였으며, 이 안테나는 높은 이득과 낮은 부엽 특성을 갖는다. 안테나 배열소자는 안테나, 발룬(Balun), MMIC, 검파기를 하나의 기판위에 집적하여 저손실 및 저잡음 효과를 얻을 수 있도록 설계 제작하였다. 집적화된 수동형 안테나 배열 소자는 4x1형태로 제작되었다.

### Abstract

We have built the millimeter-wave passive imaging system with a lens and mechanical scan antenna. The lens was designed based on optical theory in order to focus millimeter-wave. A full image was taken from image points scanned by placing antenna at the representative focal plane selectively. An integrated antenna array device for low-loss and low-noise with the array of 4 by 1, where components such as antenna, balun, MMIC, and detector were assembled on a single substrate, and a fermi tapered slot antenna with high-gain and low-side lobe were used for elements of this millimeter-wave passive imaging system. Two dimensional antenna arrangement on focal plane was achieved in this imaging system.

**Keywords:** millimeter-wave passive imaging system, fermi taper slot antenna, antenna array

### I. 서 론

밀리미터파를 이용한 수동형 영상시스템은 물체 자체가 가지는 온도에 비례하여 방사하는 열잡음 중에서

\* 정회원, 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터  
(Millimeter-wave Innovation Technology Research center)

\*\* 정회원, 삼성 탈레스  
(Samsung Thales CO., LTD.)

\*\*\* 東北大學 電氣通信研究所  
(RIEC Tohoku University)

\*\*\*\* 정회원, 서일대학 컴퓨터전자과  
(Seoil College)

※ 이 논문은 1999년도 정부(과학기술부)의 재원으로  
한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.  
R11-1999-058-01005-0)

접수일자: 2006년7월14일, 수정완료일: 2007년3월14일

도 밀리미터파 영역의 스펙트럼강도를 수신하여 영상을 획득하는 방법이다. 밀리미터파는 가시광이나 적외선 영역에 비해 구름, 안개, 비, 먼지나 화염에 의한 감쇄가 현저히 적고, 마이크로파에 비해 높은 분해능을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 가시광에서는 구름이나 안개등의 장애물을 통과하여 물체의 영상을 얻을 수 있지만, 밀리미터파 대역에서는 물체의 영상을 얻을 수 있다<sup>[1]</sup>. 수동형 영상시스템은 악천후상태에서의 비행기의 착륙보조시스템, 유조선 오일의 유출탐지, 화재시 사람의 움직임 탐지, 분화에 의한 화산의 관측, 의복안에 숨긴 무기나 폭발물 탐지 등에 응용할 수 있다<sup>[2]</sup>.

군사기술로서는 헬기에서의 탱크탐지, 지면에 은폐된 군사시설 탐지라든지, 터널내부에서 사고에 의한 화재 시의 화염이나, 도로상의 안개에 의한 장해물의 형상관

측 등 다양한 분야의 응용을 생각해 볼 수 있다. 종래의 수동형 영상 시스템의 경우, 광학계의 결상면에 단일검출계를 기계적인 주사에 의해 영상을 얻는 방법에 대해서 연구를 해왔지만, 이 방법으로는 실시간 2차원 영상을 얻을 수가 없다. 이러한 방법과 비교해서 다수의 검출기를 광학계의 결상면에 2차원적으로 배열하는 경우 기계적인 주사를 할 필요 없이 실시간에 영상을 얻는 것이 가능하다. 본 논문에서는 광학계 렌즈를 이용하여 밀리미터파를 집광해 결상면에서 수신계를 기계적으로 주사하여 영상을 얻는 장치와 렌즈의 결상면에 2차원 배열이 가능한 배열시스템을 제작하였다. 배열소자는  $4 \times 1$ 형태로 배열하였다.

## II. 기계적 주사형 이미징 시스템

그림 1과 같이 기계적 주사형 영상시스템을 설계·제작하였다<sup>[3]</sup>. 렌즈는 50m앞에 있는 차를 구분할 수 있는 분해능을 가지는 유전체 렌즈를 설계하였다. 안테나의 경우, 이득이 23dBi이고 구형인 Ka-band 혼 안테나를 설계·제작하였다. 수동형 영상 시스템의 경우, 성능에 영향을 미치는 것으로 온도 분해능과 공간 분해능을 들 수 있다. 온도 분해능은 수신기의 잡음지수와 대역폭에 밀접한 관련을 가진다. 입력단 저잡음 증폭기는 잡음지수가 3.5dB로 상대적으로 낮은 것을 선택하였고, 후단 증폭기의 경우 이득이 높은 것으로, 검파기의 경우 schottky barrier diode(SBD)를 사용하여 제작하였다.

표 1은 제작된 기계적 주사형 이미징 시스템의 성능을 나타낸다. 공간 분해능은, 수은램프를 점광원으로 이용하여 에어리패턴(Airy pattern)을 측정하여 구하였다. 온도 분해능은, 서로 인접하는 두 물체가 어느 정도의 온도차를 가지면 분해할 수 있는 지에 대한 지표로서, 밀리미터파 대역에서의 전파 흡수체를 흑체(Black

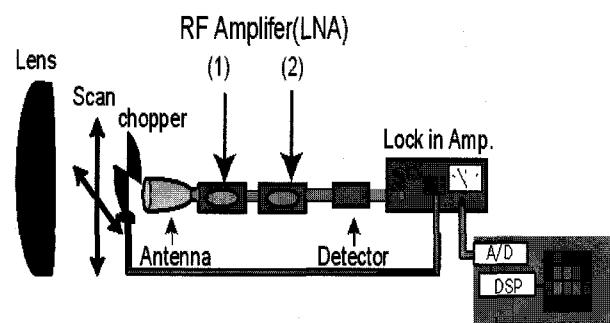


그림 1. 기계적 주사형 이미징 시스템

Fig. 1. Mechanical scanning PMMW imaging system.

표 1. 기계적 주사형 수동 밀리미터파 이미징 시스템 사양

Table 1. Specification of PMMW imaging system.

시스템 형태	Dicke 타입
주파수	Ka-band
대역폭	10GHz
온도 분해능	0.12K
공간 분해능	1.19°
시스템 전체의 잡음온도	1054K

Concealed weapons detection



Automotive collision-warning radars



그림 2. 수동형 밀리미터파 이미징 시스템의 응용

Fig. 2. Application of PMMW imaging system.

body)로 이용하여 측정하였다<sup>[3]</sup>.

제작된 기계적 주사형 이미징 시스템을 이용하여 실험을 통해 얻은 영상을 그림 2에 나타내었다. 3m의 거리에서 사람의 의복 안에 권총형태의 금속체를 숨긴 경우, 사람과 금속체의 방사율에 따른 밀리미터파 대역에서의 방사전력의 차이에 의해 권총형태의 금속체가 구별됨을 알 수 있다. 실외의 경우, 21m떨어진 자동차를 영상화한 결과, 자동차의 외형을 확실하게 식별할 수 있음을 알 수 있었다.

## III. 안테나 배열 이미징 시스템

### 1. 전체 시스템

안테나 배열 밀리미터파 이미징 시스템은 렌즈의 결

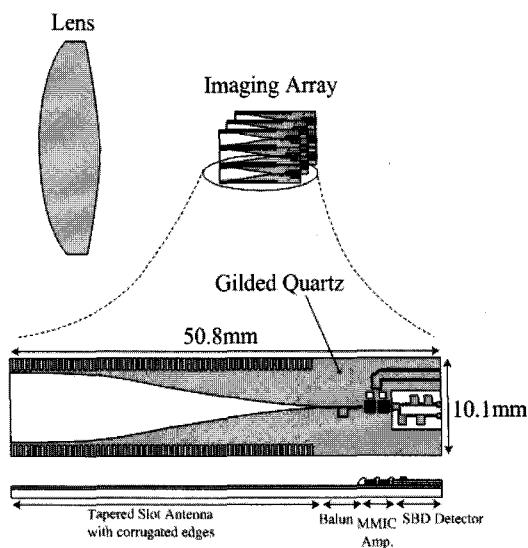


그림 3. 안테나 배열 이미징 시스템

Fig. 3. PMMW imaging array system.

상면에 2차원 배열이 가능한 소형이면서 광대역, 저잡음인 안테나 배열소자를 사용하여 제작 하였다. 그림 3에 안테나 배열 이미징 시스템을 나타내었다.

제안된 안테나 배열소자는 페르미 테이퍼 슬롯 안테나(Fermi Taper Slot Antenna)형태이며, 높은 이득과 낮은 부엽을 갖는 것을 특성으로 한다. 안테나 개구면 양 옆에는 주기적인 주름(Corrugation) 형태를 적용하여 안테나 이득을 높이는 구조를 채용하였다<sup>[4][5]</sup>. 배열소자는 안테나, 발룬(Balun), MMIC, 검파기를 하나의 기판 위에 실장하여 저손실 및 저잡음의 특성을 갖도록 설계·제작하였다.

## 2. 렌즈

렌즈는 이미징 시스템에서 분해능을 결정하는 중요한 요소이다. 밀리미터파 이미징 시스템에서 렌즈를 설계할 때 고려해야 할 특성으로는 공간분해능, 수차, 렌즈의 시야, 렌즈와 안테나의 정합 등이 있다. 본 연구에서는 광선추적법(Ray-tracing)을 이용해 렌즈의 특성을 계산하는 상용소프트웨어인 ZEMAX를 사용하여 렌즈의 수차가 가장 작은 비구면 렌즈로 설계하였다. 또한 광학전달함수를 고려하여 렌즈의 집광패턴과 안테나 빔패턴의 조화를 통한 렌즈와 안테나 사이의 전달 효율이 85%가 되도록 설계하였다. 제작한 렌즈의 직경은 500mm, 두께는 180mm이며 폴리에칠렌(굴절율:1.53)을 사용하였다. 그림 4는 광선추적법에 의한 밀리미터파의 집광 및 스팟 다이어그램(Spot diagram)을 나타내었다.

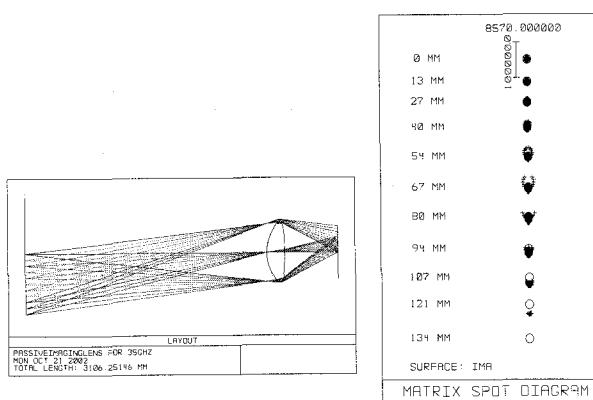


그림 4. 광선추적법 및 스팟 다이어그램(Spot diagram).  
Fig. 4. Ray tracing and spot diagram ( $f=35\text{GHz}$ ).

렌즈의 초점에서 94 mm 이상 떨어지면 상이 맷히지 않음을 알 수 있다.

## 3. 안테나

주름 형태를 가지는 페르미 테이퍼 슬롯 안테나는 소형·평면구조로서 테이퍼 슬롯 안테나(Taper Slot Antenna)형태를 기초로 하여 테이퍼(Taper)형상에 페

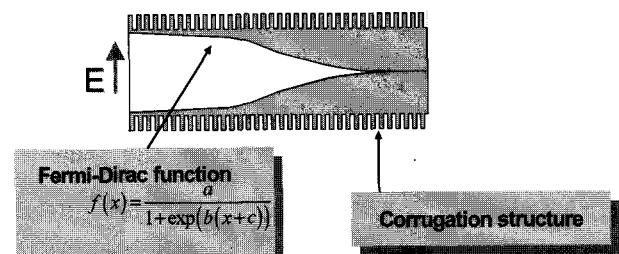


그림 5. 페르미 테이퍼 슬롯 안테나의 특징  
Fig. 5. Schema of Fermi TSA.

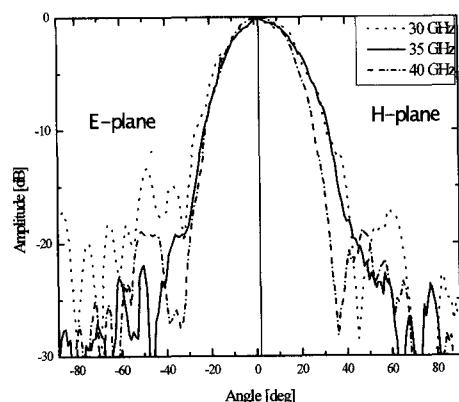


그림 6. 30GHz, 35GHz and 40GHz에서의 방사패턴  
Fig. 6. Measured radiation patterns at 30GHz, 35GHz and 40GHz.

페르미(Fermi)함수를 적용한 구조이다. 그림 5에서 나타낸 것과 같이 개구 안쪽에 페르미 함수를 적용한 결과, H면의 부엽이 억압되고 E와 H면의 주엽의 패턴이 일치하는 결과를 얻을 수 있었다<sup>[5]</sup>. 그리고 안테나 개구면 양 옆에 주기적인 주름형태를 제안하여 7dB이상의 방사특성을 개선하였다<sup>[6]</sup>. 수신기의 감도와 밀접한 관련이 있는 광대역 특성의 경우, 그림 6에 나타낸 것과 같이 30GHz, 35GHz와 40GHz의 방사패턴은 일그러짐 없이 E와 H면의 이 거의 일치하는 결과를 얻었다.

#### 4 발룬(Balun)

페르미 테이퍼 슬롯 안테나(Fermi TSA)에 입력된 신호는 슬롯(Slot) 선로로 전송되지만 후단의 검출회로는 마이크로 스트립선로구조의 형태로 구성되기 때문에 Slot-CPW 변환회로가 필요하게 된다. 본 연구에서는 Slot선로를 직렬 분기하여 2개의 Slot선로의 위상차를  $\lambda/2$ 가 되는 Slot-CPW 변환회로를 설계하였다<sup>[7]</sup>. 그림 7에 그 구조 나타내었고, 실제 제작하여 측정한 결과

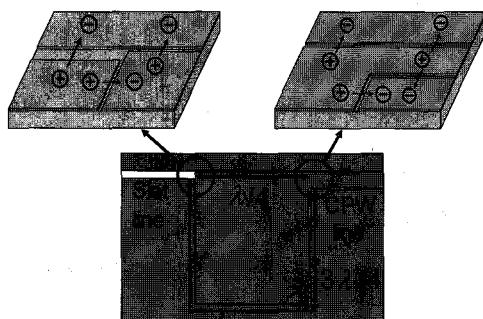


그림 7. 발룬의 원리

Fig. 7. Principle of Balun.

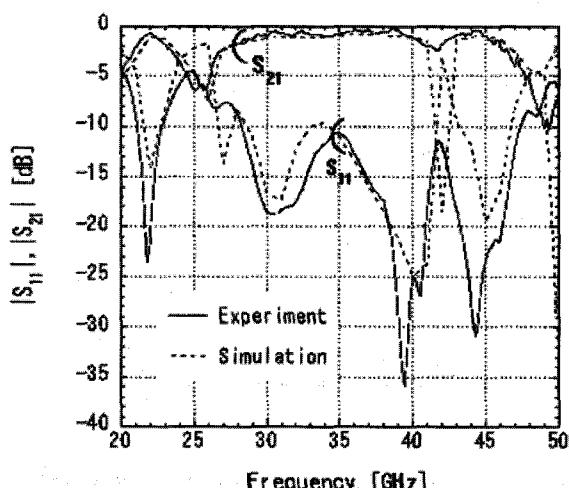


그림 8. 발룬을 이용한 변환회로의 특성

Fig. 8. Characteristics of the transition.

35GHz대역에서 삽입손실 0.5dB의 저손실 특성을 갖는 것을 확인하였다. 그림 8에 발룬을 이용한 변환회로의 특성을 나타내었다.

#### 5. 저잡음 증폭기 및 검파기

물체의 온도가 약 300K이고 밀리미터파 이미징 시스템의 중심주파수 35GHz인 증폭기의 대역폭이 10GHz인 경우, 물체로부터 방사되는 열잡음을 시스템이 받아들일 수 있는 전력은 약 -70dBm정도로 대단히 미약하다. 한편 자승검파를 하기 위해서는 schottky barrier diode(SBD) 검파회로에 검파가능한 최저입력전력이 약 -40dBm정도이므로 본 이미징 시스템의 증폭기는 35GHz대역에 있어서 최소 30dB이상의 이득을 필요로 한다. 본 연구에서는 Fujitsu사의 FMM5704X MMIC를 사용하여 2단 구조의 증폭단을 제작하였다. 제작된 증폭단의 잡음지수와 이득은 각각 3.3dB와 30dB 이상을 얻었다. 또한 검파회로에 있어서도 대역폭 10GHz의 광대역 및 고감도가 요구 되므로, 자승검파를 하기 위해 SBD를 검출소자로 사용하였다. SBD의 경우, 무바이어스에 의해 동작되어지기 때문에 바이어스 회로가 필요 없으며 수신단 전체가 간략화 된다는 이점을 가지고 있다. 다이오드의 매칭은 테이퍼 스트립 라인(Tapered Stripe Line)을 사용하여 광대역 매칭이 가능하게 하였다. 그림 9는 하나의 기판 위에 실장한 MMIC, Detector circuit을 나타내었다. 검파회로의 감도는 2200V/W로서 고감도 검파회로가 설계·제작 된 것을 확인하였다.

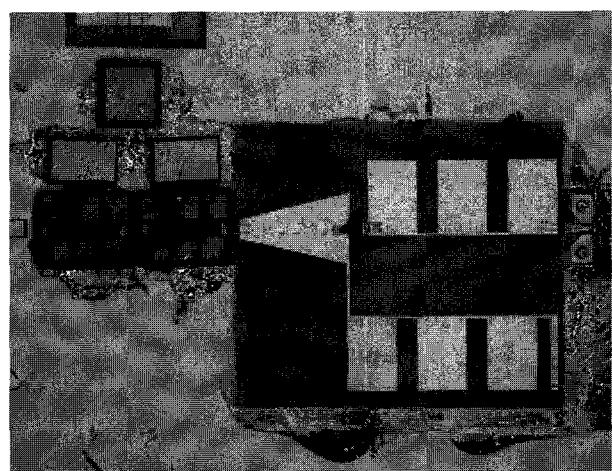


그림 9. MMIC 및 검파회로

Fig. 9. MMIC and detector circuit.

#### 6. 안테나 배열 소자 제작

밀리미터파가 접속되는 초점에 안테나를 위치시키고 안테나를 기계적으로 이동시키면서 한 점씩의 화소를 얻

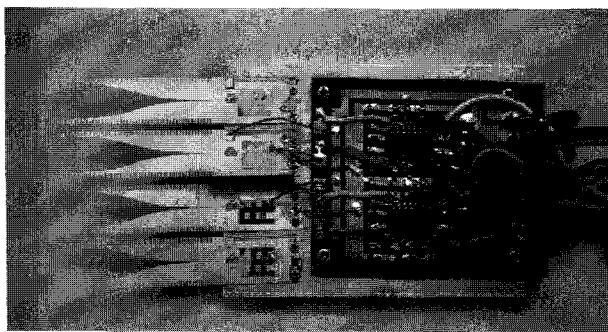


그림 10. 제작한 4x1의 안테나 배열소자

Fig. 10. The fabricated 4x1 passive imaging array.

어 전체적인 영상을 얻는 기계적 주사형 이미징 시스템으로는 밀리미터파 실시간 영상을 얻는 것은 불가능하다. 따라서 밀리미터파 이미징 시스템으로 실시간 영상을 얻기 위한 방안의 하나로서 다수의 검출기를 광학계의 결상면에 이차원적으로 배열하는 안테나 배열 밀리미터파 수동 이미징 시스템을 제안하였다. 이를 실현하기 위해서는 우선 안테나 일체형 배열 소자가 필요하다. 밀리미터파 수동형 이미징 시스템에 적용할 안테나 일체형 배열 소자의 제작에 있어서 렌즈와 안테나의 정합성 설계와 이의 평가가 요구된다. 안테나로는 주름구조의 페르미 안테나를 제작하여 30~40GHz 대역에서 저손실 광대역 얻었다. 제작한 페르미 안테나의 기판 폭은 10.1mm이고 이 페르미안테나의 간격에 있어서 상호결합량은 E 면에서 -20dB, H면에서 -30dB 인 것으로 보고되었다<sup>[8]</sup>. 안테나 배열 소자에서 각 소자의 검출회로, 즉 MMIC에 의한 인접 배열 소자간의 상호 결합을 고려하여 두께 1mm의 전파흡수체를 소자간에 삽입했다. 그림 10에 실제 제작한 4 x 1의 안테나 배열소자를 나타내었다. 전단 부는 안테나 배열소자이고 후단 부는 DC-증폭기이다. 배열한 각각의 소자간에 동일한 입력에 대한 동일한 출력을 확보하기 위하여 후단 부에는 이득 조절이 가능한 저잡음의 DC-증폭기를 연결하였다.

#### IV. 결 론

광학계 렌즈를 이용하여 밀리미터파를 집광해서 결상면에 안테나를 기계적으로 주사하여 영상을 얻는 밀리미터파 수동 이미징 시스템을 제작하였다. 제작된 밀리미터파 수동 이미징 시스템은 Dicke 타입으로 35GHz 를 중심으로 10GHz의 대역폭을 가지고 0.12K의 온도분해능과 1.19°의 공간 분해능을 나타내었다. 또한 제작된 주사형 이미징 시스템을 기반으로 실시간 영상 취득이

가능한 밀리미터파 이미징 시스템을 제작하기 위하여 렌즈의 결상면에 2차원 배열이 가능한 배열소자를 설계·제작하였다. 배열소자의 경우 안테나, 발룬(Balun), MMIC, 검파기를 하나의 기판위에 실장하여 저손실 및 저잡음의 형태로 제작하였다. 제안된 배열소자는 4x1형태이며 본 연구에서 제작된 안테나 배열 소자를 바탕으로 밀리미터파 실시간 영상을 취득할 수 있는 밀리미터파 수동 이미징 시스템을 제작할 수 있을 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] J. D. Kraus, "Radio Astronomy," chap.3, McGraw-Hill Book Company, New York, 1966.
- [2] M. E. Tiuri, "Radio Astronomy Receivers," IEEE Trans. on Antenna and Propagation, vol.AP-12, pp. 930-938, Dec.1964.
- [3] M. K. Joung, Y. Suzuki, K. Kanari, Y. Suzuki, S. K. Kim, Y. Yamanaka, Y. Wagatsuma and K. Mizuno, "Calibration of millimeter wave radiometers," KJMW2002, Yokosuka, Oct. 2002.
- [4] M. K. Joung, Y. Suzuki, K. Kanari, N. Arai, H. Sato, Y. Wagatsuma, Y. Yamanaka, S. Kim, K. Mizuno, "A Design of Antenna for Passive Millimeter-wave Imaging Arrays," APMC2002, WE4B-3, pp. 253-256, 2002.
- [5] S. Sugaware, Y. Maita, K. Adachi and K. Mizuno, "A MM-Wave Tapered Slot Antenna with Improved Radiation Pattern," IEEE MTT-S IMS Dig., pp.952-962, 1997.
- [6] S. Sugaware, Y. Maita, K. Adachi, K. Mori and K. Mizuno, "Characteristics of a MM Wave Tapered Slot Antenna with Corrugated Edges," IEEE MTT-S IMS Dig., pp.533-536, 1998.
- [7] P. Ma, Y. Qian, and T. Itoh, "Analysis and Application of a New CPW-Slotline transition," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. 47, No. 4, pp. 426 - 432, April 1999.
- [8] 新井直人"ミリ波パッシブイメージング装置に関する研究"석사학위논문, 동북대학, 2002.

---

저자소개

---

정민규(정회원)

2006년 5월 대한전자공학회 논문지  
제 43 권 TC편 제 5 호 참조

채연식(정회원)

2006년 5월 대한전자공학회 논문지  
제 43 권 TC편 제 5 호 참조

김순구(정회원)

2004년 8월 대한전자공학회 논문지  
제 41 권 SD편 제 8 호 참조

윤진섭(정회원)

2001년 1월 대한전자공학회 논문지  
제 38 권 SD편 제 1 호 참조

미즈노 코지

2006년 5월 대한전자공학회 논문지  
제 43 권 TC편 제 5 호 참조

이진구(정회원)

2005년 5월 대한전자공학회 논문지  
제 42 권 TC편 제 5 호 참조