

밀리미터파 응용을 위한 부품기술

김동욱·정기웅·이중원

LG종합기술원
소재재료연구소 RF소자팀

요 약

이동통신의 발달로 가속화된 고주파 반도체 소자 기술 중 새로운 가능성을 가진 밀리미터파 대역의 주요 응용분야와 이를 위한 부품기술을 살펴보았다. 부품기술로는 LG종합기술원에서 개발된 최근의 결과들을 소개하면서 공정기술, 소자기술, 회로설계기술, 조립기술에 대해 알아보았다. 공정기술과 소자기술은 밀리미터파에서 주로 사용되는 HBT와 HEMT를 기준으로 살펴보고 회로설계기술은 기존의 수 GHz대역의 설계기술과 밀리미터파 회로 설계기술의 차이점을 언급하였다. 조립기술에 대해서는 일반적으로 MMIC 회로를 제작할 때 사용하는 마이크로스트립 전송선로를 밀리미터파 응용에서 주로 이용하는 도파관에 연결하기 위한 변환구조를 중심으로 설명하였다. 또한 국내외 타 기관에서 이루어지고 있는 이 분야에 대한 기술개발 노력과 연구동향에 대해서도 간단히 알아보았다.

I. 서 론

밀리미터파 대역은 30~300 GHz에 이르는 주파수 대역을 일컫는 주파수로 전통적으로 군사용 목적으로 주로 사용되어 왔다. 전파의 파장이 짧아짐으로 주요 군사용 시스템의 정밀도를 향상하는 목적으로 사용되었다. 동작 주파수가 높아지면 상기의 해상도 외에 변조 가능한 대역폭이 증가하므로 많은 사용자가 동시에 사용하거나 많은 양의 데이터를 짧은 시간에 전송하는 통신서비스에 적합하다.

최근 정보통신 기술의 발전방향은 정보통신의 초고속화를 위한 광통신 기술 도입과 멀티미디어 통신 수용을 위한 기술로 발전되고 있다. 무선통신 서비스의 대중화로 전파 수요가 급증하고 있어서 기존의 음성, 데이터뿐만 아니라 영상신호에 대한 휴대 서비스, 광통신을 포함한 기존의 고정 통신망에서 제공되는 각종 통신 서비스가 요구되고 있다. 이러한 소비자의 요구에 가장 잘 부응할 수 있는 LMDS (Local Multi-point Distribution Service) 시스템은 사용 주파수가 상향의 경우 24.25~24.75 GHz, 하향의 경우 25.5~27.5 GHz 대역으로 가장 빨리 사용되는 밀리미터파 대역의 주파수 자원이다. LMDS는 무선망의 초고속화 및 멀티미디어 통신을 제공할 수 있는 ATM 수용구조로 설계되어 있기 때문에 미래의 초고속 무선망 구축을 위한 최적의 고정통신 시스템이 될 것으로 기대된다.

다음으로는 77 GHz 대역의 차량 충돌 방지 레이더 시스템이 있다. 이 대역은 전파의 전달 거리가 짧아서 전방 200 m 정도내의 물체를 인식하는 레이더로 사용된다. 주된 용도는 고속 주행하는 차량간의 상대속도 및 물체까지의 거리를 측정, 운전자에게 통보함으로 충돌을 사전에 경보하는 장치로 쓰인다. 이 시스템은 자동차라는 거대한 시장에 관련되어 있어 향후 시장성과 사용전망이 밝을 뿐만 아니라 미래의 교통 시스템이라 할 수 있는 지능형 차량시스템(Intelligent Cruise Control System)의 안전성 확보라는 면에서 전망이 밝으며 전세계적으로 활발히 연구가 되고 있다. 국내의 경우 LG종합기술원에서 레이더 시스템의 구성 부품 중 전력분배기와 믹서를

이미 개발한 바 있고 전체 시스템의 개략적인 구성 및 시험운용은 LG정밀이 수행한 바가 있다. 그러나 비록 기본적인 기능만 제공하는 간단한 시스템이지만 1999년부터 Benz의 고급 기종 차량에 장착되어 사용되는 현실에 비추어 보면 국내 연구는 좀 더 매진이 필요한 분야라 할 수 있다. 앞으로는 단순한 거리 정보 외에 차량의 가속 조절 및 목표물 인식에 의한 충돌방지로 발전할 계획이다.

아직 널리 이용되지 않지만 외국의 경우 새로운 응용분야로 연구되는 주파수로는 고속 무선 LAN 용의 60 GHz 대역이 있다. 이 대역은 155 Mbps급의 자료 전송이 가능해서 유럽 및 일본 등에서 실시간 HD급의 동화상 전송이 가능한 통신 서비스로 연구되고 있다.

본 논문에서는 밀리미터파 응용을 위한 부품의 개발과 시험이라는 측면에서 밀리미터파 부품을 위한 공정기술, 소자기술, 회로기술, 그리고 측정을 위한 조립기술에 대해 이야기하고자 한다. 또한 국내의 다른 연구기관이 이 분야의 부품기술 개발을 위해 현재 어떠한 연구를 진행하고 있는지 간단히 알아본다.

II. 주요 기술 분석

밀리미터파 대역의 IC 기술을 구현하고 이를 제품에 적용하기 위해서는 여러가지 기술이 필요하지만 그동안 많은 연구가 진행되어온 수 GHz 대역의 IC 기술에 비해서 몇 가지 분야의 중요한 기술을 고려해야 한다. 이중 검토하고자 하는 분야는 MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) 공정기술, 밀리미터파 대역에서 사용하기 위한 반도체 소자기술, MMIC 설계기술, 측정을 위한 조립기술 분야이다. 이러한 개개의 기술들은 자체적으로도 연구가 진행되어야 하지만 고부가가치 창출과 실제적인 제품의 적용을 위해서는 이들을 유기적으로도 결합

하여 완성된 부품기술을 구축하여야만 한다.

2-1 공정기술

밀리미터파 대역의 MMIC을 구성하는 요소는 능동 소자로는 HEMT(High Electron Mobility Transistor) 나 HBT(Hetero-junction Bipolar Transistor), 수동 소자로는 radial stub을 포함한 stub 계열, side coupling이나 end coupling을 이용한 coupler, MIM (Metal-Insulator-Metal) capacitor, microstrip 전송선, 그리고 최근에 기본적인 결과물들이 속속 나오기 시작하는 MEMS(Micro Electro-Mechanical System)를 이용한 수동소자 등이 있다. 이러한 요소들을 집적하기 위한 제작 공정 자체는 마이크로파 대역의 MMIC와 큰 차이는 없다. 다만 주파수가 높기 때문에 우수한 성능의 능동소자가 요구되며, 이에 따라 전자 이동도가 우수한 InP계열의 물질이 사용되기도 하고 E-Beam 리소그래피 등을 이용해 게이트 길이를 짧게 하는 기술이 사용되기도 한다. 밀리미터파용 MMIC은 동작 주파수가 높기 때문에 기생 커패시턴스나 인덕턴스에 의해 성능의 저하가 발생할 수가 있어서 이를 줄이는 것이 필요하다.

HEMT의 경우 게이트 passivation 절연막의 두께가 두꺼울 경우 게이트-드레인, 게이트-소스 사이의 기생 커패시턴스에 의해 소자의 특성이 떨어지게 된다. 따라서 passivation 막의 두께를 얇게 하는 것뿐만 아니라 MIM capacitor용 절연막 증착시 HEMT 부분에 절연막이 추가로 증착되는 것을 방지하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 하나의 얇은 절연막으로 passivation과 MIM capacitor 제작을 동시에 수행하거나 MIM capacitor용 절연막을 lift-off 하는 것 등의 방법이 사용되어야 한다. 또한 안정적이고 균일한 게이트의 형성을 위해 감광막의 선택과 배합, 감광조건 등에 대해 특별한 방법이 사용되기도 한다.

HBT를 능동소자로 사용할 경우 일반적으로 우수한 주파수 특성을 얻기 위하여 전류밀도가 높은 범위에서 동작시키게 되는데 이 경우 신뢰성이 떨어지게 된다. 따라서 소자 및 회로의 설계 단계에서부터 신뢰성 향상을 위한 고려가 필요하다. 또한 공정과정에서 노출되는 junction 표면의 결함때문에 발생하는 성능의 저하를 막기 위해 마스크 설계에서부터 이러한 것을 적절히 제거하기 위한 공정설계를 하게 된다. 밀리미터파에서의 사용을 위해 HEMT의 경우 게이트 길이가 짧아지듯이 HBT의 경우에는 에미터의 면적이 줄어들게 된다. HBT의 경우 HEMT와 달리 공정상 planar 공정이 이루어지지 않고 단차를 가지기 때문에 좁은 면적의 에미터는 공정에 부담을 주게 된다. 이러한 부담을 줄이기 위해 polymer 계열을 이용한 평탄화 공정과 기생효과를 제거하기 위한 평탄화 물질의 제거, 에피층 regrowth를 통한 베이스-콜렉터간의 기생 커패시턴스 제거 등 다양한 기법이 개발되어 사용되고 있다.

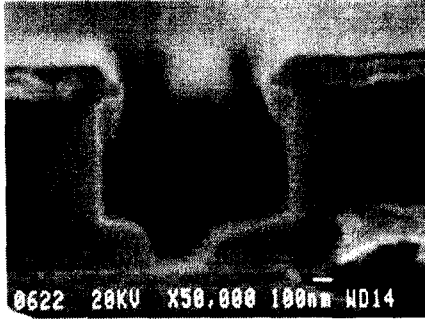
2-2 소자 기술

수십 GHz 대역의 회로 개발에 있어서 가장 중요한 요소는 회로를 구성하는 반도체 소자로 GaAs를 기반으로 HEMT와 HBT가 주로 사용된다. 이중 HEMT는 0.25 μm 이하의 게이트 길이를 가지는 소자가 제작되어야 원하는 수준의 회로를 용이하게 구현할 수 있다. 이의 개발에는 0.25 μm 이하의 패턴을 형성하는 기술과 기생 저항을 줄이기 위한 T-gate 구조를 구현하는 기술이 각 연구기관의 고유한 기술 분야이다. HBT는 최근에 단일 전원을 사용하는 장점으로 이동 전화기의 전력 증폭기에 보편적으로 사용되는 기술로 HBT를 밀리미터파 대역에 사용하기 위해서는 활성층 주변의 기생 성분을 감소하기 위한 새로운 기술이 필요하다. 현재까지의 기술 동향은 10~20 GHz 대역까지는 HEMT와 HBT가

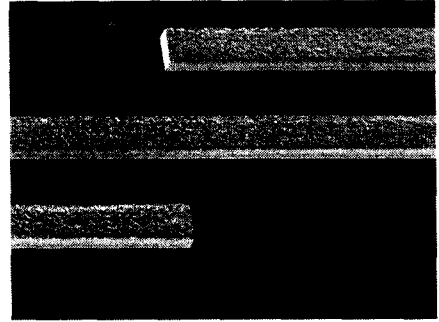
같이 사용되지만 그 이상의 주파수에서는 HEMT가 주로 사용되고 있다.

[그림 1]은 LG종합기술원이 1999년에 회로 제작에 주로 사용한 E-beam을 이용한 게이트 제작 사진과 이 기술로 제작된 HEMT의 주파수 특성을 보여주고 있다. [그림 1]의 HEMT는 dry etching 기법만을 사용하여 wide gate recess, narrow gate recess를 수행하여 제작되었다. 일반적으로 HEMT의 경우 얇은 두께를 가지며 접촉저항이 작은 ohmic contact 기술과 원하는 전류레벨을 맞추기 위한 게이트 식각 기술이 가장 중요하다. Ohmic contact의 경우 적절한 금속 조합(금속물질과 각 금속층의 두께)을 찾아내는 작업과 증착된 금속을 다양한 alloy조건으로 양질의 접촉성 저항을 형성하는 기술로 구분될 수 있다. 이러한 기술들은 각각의 연구기관들이 자체적으로 개발하고 이를 외부에 노출시키지 않아 정확한 기술을 알아내기는 어렵지만 대개의 경우 AuGe계열의 물질을 사용하는 것으로 알려져 있다. 게이트 식각 기술의 경우 wet etching을 이용하는 기술과 dry etching을 이용하는 기술, 그리고 이 두 가지를 혼합하여 사용하는 기술이 있다. Dry etching의 경우 게이트 길이가 짧을 경우 유리한 측면이 많아 공정에서 많이 사용되지만 식각 과정에서 plasma에 의해 생기는 표면의 손상을 최소화하기 위해 gas의 선택과 조합, 전력조절에 의한 건식 식각 속도 등 다양한 공정조건의 확보 노력이 필요하다. Wet etching의 경우 게이트 길이가 짧을 경우 wetting 문제 때문에 gate recess가 균일하게 이루어지기 어렵고 실제 노광된 게이트 길이보다 recess 식각된 게이트 길이가 더 넓게 형성될 수가 있다.

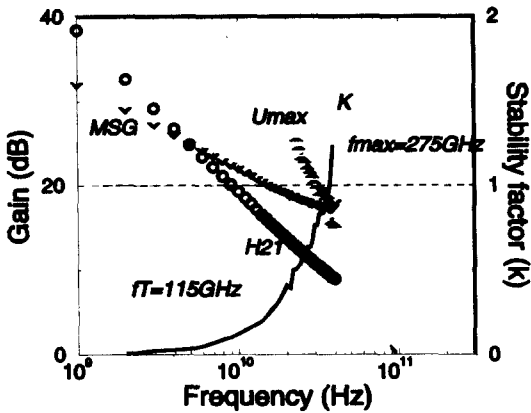
이외에도 최근 주목을 받고 있는 MEMS(Micro Electro Mechanical System)를 이용한 기술이 밀리미터파 대역의 부품에 적용되고 있다. Actuation energy를 필요로 하는 스위치처럼 바이어스가 필요한 부품도 있지만 대부분의 경우 저손실 인덕터, 필터,



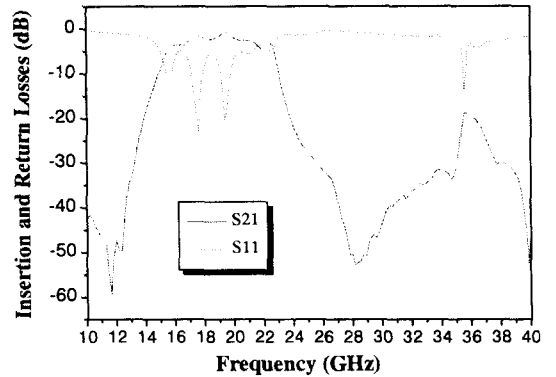
(a)



(a)



(b)



(b)

[그림 1] E-beam을 이용하여 형성된 gate 형성용 3층 구조 감광막 단면사진(a)와 이 기술을 적용하여 제작된 HEMT의 마이크로파 주파수 특성(b)

[그림 2] MEMS기술을 이용하여 quartz위에 제작한 필터의 사진과 그 주파수 특성

- (a) 제작된 필터의 coupling section SEM (Scanning Electron Microscope) 사진
- (b) Coplanar-to-Microstrip transition을 이용한 on-wafer probing 측정 결과

공진기와 같은 수동소자에의 적용이 우선되고 있다.

[그림 2]는 LG종합기술원에서 MEMS 기술을 이용하여 제작한 밀리미터파 대역 필터의 한 예를 보여주고 있다^[1]. 제작된 필터는 625 μm quartz 위에 형성된 6-stage coupling section을 가지는 Chebyshev형 필터로써 104 μm 두께의 copper 금속으로 만들어졌다. MEMS 기술을 이용할 경우 10 μm ~1mm 정도의 두꺼운 금속의 형성이 가능하고 높은 유전손실을 가지는 기판을 식각하여 유전체에 의

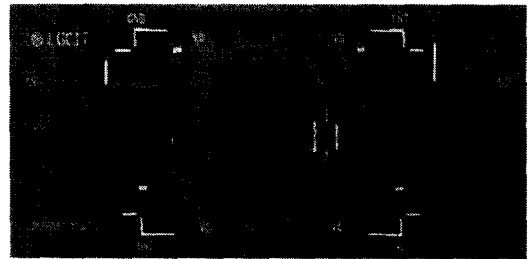
한 손실이 적은 membrane의 형성이 가능해 앞으로 저손실 전송선로가 필요한 밀리미터파 대역에서 이를 활용한 소자의 응용이 더욱 많아질 것이다.

2-3 MMIC 설계기술

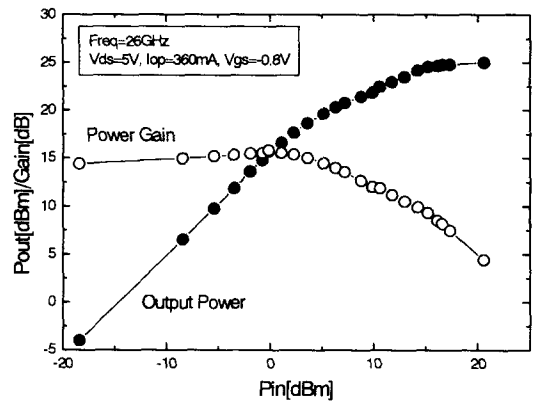
수십 GHz대역의 IC 설계에는 수 GHz 대역에서 통상적으로 사용하는 L, C, R의 등가회로로 표현되

는 집중형(lumped) 수동소자를 사용할 수 없다. 따라서 기존의 L,C,R 등가회로 대신에 전송선로의 길이와 폭, stub의 크기 그리고 모양에 따라 변하는 특성 임피던스를 사용한다. 수 GHz MMIC 회로에서 보이는 나선형 인덕터 대신에 다양한 길이를 가지는 전송선과 선간의 결합을 이용한 결합기(coupler), 그리고 신호 전달 경로가 급격히 변하는 bend, tee, cross junction 등을 형성함에 따라 각 구조의 고유한 전자기적인 특성을 삽입, 설계하여야 한다. 회로의 설계는 설계하고자 하는 주파수 영역에서 동작이 가능하며 적절한 성능을 낼 수 있는 능동소자를 기반으로 임피던스 정합이나 잠음정합 그리고 전력정합과 같은 기법을 이용하여 수동소자로 구성된 회로를 부가함으로써 이루어진다. 이러한 정합회로는 기존의 상업용 설계 툴인 LIBRA, MDS(Microwave Design System) 또는 그에 상응하는 회로 simulator를 이용하여 설계되어진다. 이러한 소프트웨어는 단순히 회로 simulator이기 때문에 인접 전송선로간의 전자기적 결합특성이나 전송선로의 불연속면에서 생기는 고조파 모드에 의한 특성 변화 등을 잘 표현하지 못한다. 이러한 효과들을 설계에 고려하기 위해서는 electromagnetic field를 잘 계산할 수 있는 전자파 해석 프로그램을 이용하여야 한다. 전자파 해석은 기본적으로 시간이 많이 소요되고 설계시 유연성이 떨어지기 때문에 잦은 이용이 어렵다. 그래서 대부분의 경우 오랜 설계경험으로 이러한 효과를 적절히 고려함으로써 회로 simulator만으로 설계를 하게 되며 이는 수십 GHz까지의 상당히 높은 주파수까지도 잘 적용이 될 수 있다.

[그림 3]은 LG종합기술원에서 제작된 LMDS용 전력증폭기의 사진과 성능을 보여주고 있다^[2]. 집중형 수동소자는 바이어스 회로와 blocking 커패시터로 제한하고 저손실 전송선로만으로 임피던스 정합과 전력정합을 수행하였다. 밀리미터파 대역에서 고성능의 실현을 위해서 그리고 회로의 크기를 줄여



(a)



(b)

[그림 3] 제작된 LMDS CPE(Customer Premise Equipment)용 전력증폭기의 chip 사진과 전력특성 측정결과

저가격을 실현하기 위해서 단위면적당 큰 값을 가지는 커패시터의 구현이 필요하다. 수 GHz 대역의 IC에 사용되는 커패시터의 경우 250~350 pF/mm² 정도의 값을 가지지만 밀리미터파 대역의 회로에 사용되는 커패시턴스 값은 대개 이보다 2배 이상의 큰 값을 가진다.

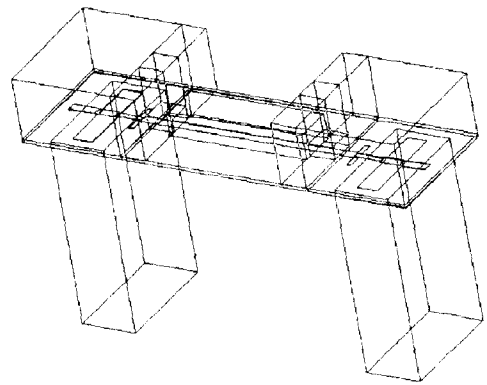
밀리미터파 회로의 경우 마이크로스트립 회로가 주로 사용되며 이 회로에는 접지면(ground plane)까지 낮은 인덕턴스를 구현하기 위해 via hole이라는 다소 복잡하고 수율에 저해가 되는 공정이 사용되어야 한다. 이에 반해 via hole 공정이 전혀 필요하지

않고 접지면이 신호면(signal plane)과 동평면상에 존재하는 coplanar형 회로도 최근에 사용이 점점 늘어나고 있는 추세이다. Coplanar형 회로의 경우 선 폭을 크게 변화시키지 않고 신호선과 접지선의 간격만을 조정해도 다양한 임피던스를 구현할 수 있기 때문에 IC의 소형화를 도모할 수가 있다. Coplanar형 회로를 설계하기 위해서는 coplanar 수동소자에 대한 정보가 필요한데 기존의 상업용 회로 simulator는 이를 제공해 주지 않는다. 따라서 별도의 수동소자 라이브러리(library) 구축이 필요하다. 다행스러운 것은 최근 국내에서도 기본적인 coplanar 수동소자를 제작, 평가하여 이를 기반으로 coplanar형 밀리미터파 회로를 제작한 결과가 나오고 있으며 기존의 상업용 소프트웨어와 기본적인 수동소자 데이터만으로 coplanar형 회로가 성공적으로 설계, 제작될 수 있다는 것은 의미있는 일이라 할 수 있다^[3].

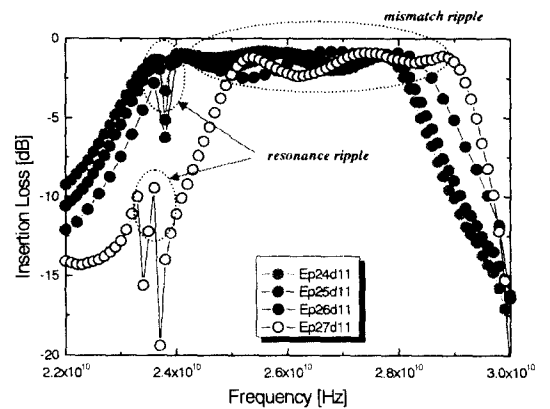
2-4 Package 기술

밀리미터파 대역에서의 신호 전달에는 기존의 동축선으로는 신호의 손실이 너무 커서 주로 도파관에 의한 신호 전달 방법이 사용되고 외부 시스템과 연결되게 된다. 이때 필요한 기술이 개발된 IC와 도파관까지의 연결을 위한 조립, 연결 기술이 필요하다. 이러한 연결은 주로 도파관-마이크로스트립 변환구조를 이용하여 이루어지는데 stepped rigid waveguide^[4], antipodal finline^[5], probe coupling^[6], E-plane probe등이 이용되었다. 하지만 구조적 복잡성, 고정밀의 기계가공, backshort의 정확성, 변환구조의 광대역 주파수 특성 요구때문에 LG종합기술원에서는 LMDS용으로 구조가 간단하고 simulation으로 예측 가능한 E-plane 변환구조를 개발하여 사용하고 있으며 77 GHz(E-band: 60~90 GHz, W-band: 75~110 GHz)에서는 광대역 특성을 보이는 antipodal finline을 개발하여 사용하고 있다.

[그림 4]는 HP HFSS로 설계된 E-plane WR-34 도파관-마이크로스트립 변환구조와 이의 back-to-back 측정결과를 보여주고 있다^[7]. 제작된 변환구조는 도파관에서 유입되는 RF전력을 최적으로 coupling하기 위해 slot 안테나 형태의 사각 iris을 이용하였



(a)



(b)

[그림 4] E-plane 도파관(WR-34)-마이크로스트립 변환구조와 측정결과

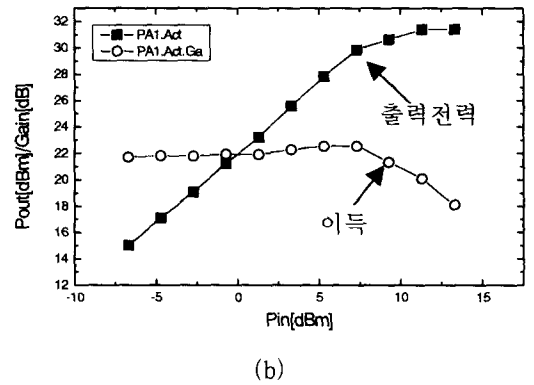
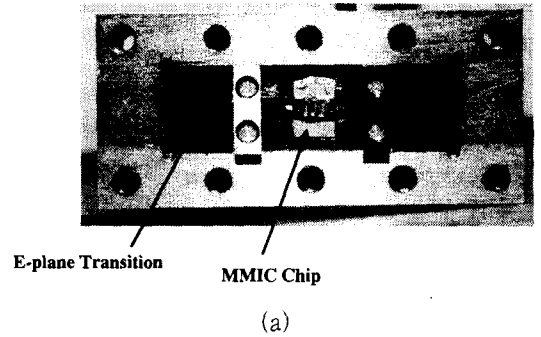
(a) 3D 모의실험과 제작에 사용된 back-to-back 도파관-마이크로스트립 변환구조

(b) 주파수 통과대역이 다른 4가지 back-to-back 변환구조의 삽입손실 측정결과

고 대역내의 입출력 정합을 위하여 개방형 stub과 마이크로스트립 전송선로를 이용하였다. [그림 4]의 (b)는 다양한 통과대역을 가지는 제작된 변환구조의 측정결과를 보여주고 있다. 그림에서도 알 수 있는 바와 같이 back-to-back 변환구조 사이의 마이크로스트립 전송선로의 손실을 감안하면 변환구조당 최저 0.35 dB 정도의 삽입손실이 발생함을 알 수 있으며 이는 변환구조로서 충분히 좋은 특성을 보이고 있다. 그림에서 저주파 영역(23.5 GHz 근처)의 큰 손실은 변환구조 위에 자리잡은 back short에 의한 공진에 기인하며 이는 back short 영역에 screw tuning 또는 이에 상응하는 기하학적 구조물을 삽입함으로써 해결이 된다. 대역내에 존재하는 major ripple은 임피던스 부정합에 의해 발생하며 minor ripple은 변환구조 사이에 생기는 혼선(cross talk)에 의해 주로 발생한다. major ripple의 경우 대역내에서 임피던스 정합을 더 잘 이루어지도록 함으로써 많이 개선시킬 수 있으며 혼선에 의한 ripple은 전파 흡수체를 이용하면 향상될 수 있지만 기본적으로 완전한 제거는 어렵다.

[그림 5]의 (a)는 WR-34 도파관-마이크로스트립 변환구조를 이용하여 제작한 LMDS용 전력모듈의 사진을 보여주고 있다. 사진의 뒷면으로 WR-34 도파관이 형성되어 있고 도파관 위에 접착된 마이크로스트립 기판에는 field coupling을 위해 ground plane에 slot을 형성하고 마이크로스트립으로 E-plane probe를 만듦으로써 모듈의 제작이 완성된다. 그림 (b)는 WR-34 모듈로 제작된 전력증폭기 모듈의 측정결과를 보여주고 있다. 측정주파수는 27 GHz이고 출력전력 측정과 에러보정은 도파관으로 구성된 셋업(setup)에서 이루어졌다. 측정결과는 27 GHz에서 22 dB의 선형이득과 31.5 dBm의 포화전력을 보여주었다.

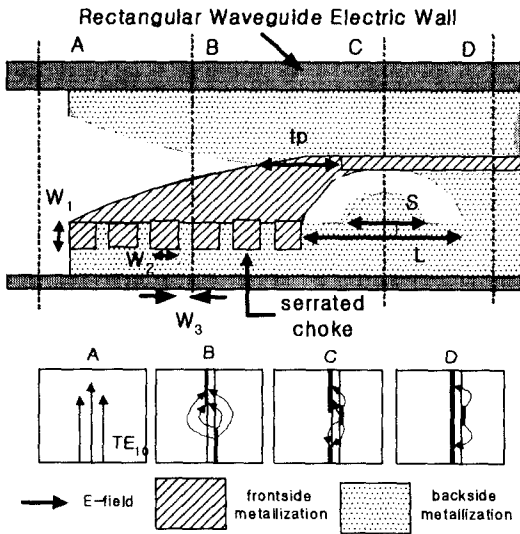
[그림 6]는 77 GHz 자동차 레이더를 위해 개발된 MMIC를 도파관 모듈에 실장하여 테스트하기 위해



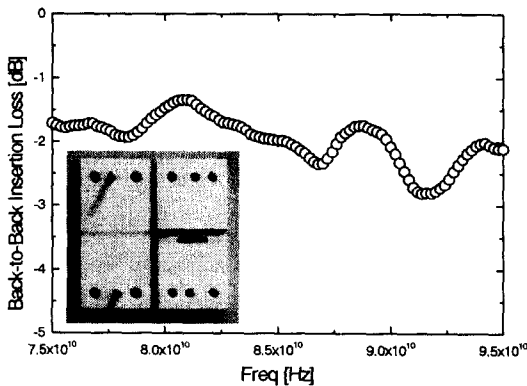
[그림 5] E-plane 도파관-마이크로스트립 변환구조를 이용한 LMDS 전력모듈의 제작 예와 27 GHz에서 도파관으로 측정된 전력특성

개발된 antipodal finline 변환구조를 보여주고 있는데 도파관의 E-plane에 삽입된 기판이 E-field의 90도 회전을 가능하게 하여 변환이 이루어진다 (그림의 위치에 따른 field 회전 참고)^[8]. 도파관의 dominant mode는 TE₁₀ 모드로서 antipodal finline을 거치면서 E-field가 회전하여 마이크로스트립 라인의 field 분포가 형성되게 된다. 이러한 antipodal finline 변환구조는 다른 변환구조에 비해 기계적 가공 작업에 민감하지 않고 기타 다른 수치들의 조그마한 변동에도 민감하지 않아 좋은 재현성을 가진다. 이러한 변환구조에서 고려해야 하는 중요한 설계 변수로는 [그림 6]에 나타낸 바와 같이 serrated

choke의 폭, 길이, 간격 그리고 접지면에 형성된 반원모양의 금속패턴의 크기, 그리고 임피던스 부정합을 최소화하기 위해 조정되는 마이크로스트립 전송선로의 변환모습과 길이 등이 있다. 이 변환구조는 높은 주파수에서도 손실이 적은 $127\mu\text{m}$ 두께의 quartz 기판을 사용하여 제작되었는데 제작된 변환



[그림 6] Antipodal finline 변환구조의 구조적 모습과 중요한 설계 변수들



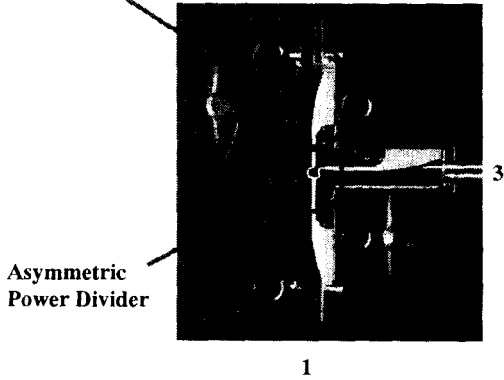
[그림 7] 제작된 WR-12용 antipodal finline 변환구조의 back-to-back 삽입손실 측정결과.

구조의 측정결과를 [그림 7]에 나타내었다. 제작된 변환구조는 변환구조의 평가를 위하여 back-to-back으로 제작되었고 도파관으로는 60~90 GHz까지 사용 가능한 E-band 도파관, 즉 WR-12를 사용하였다. 측정결과에서도 알 수 있듯이 삽입손실은 변환구조당 평균 0.74 dB의 양호한 특성을 보여주었다. 90 GHz 이상에서의 ripple은 도파관에서 생기는 overmode에 의한 특성에 주로 기인한다.

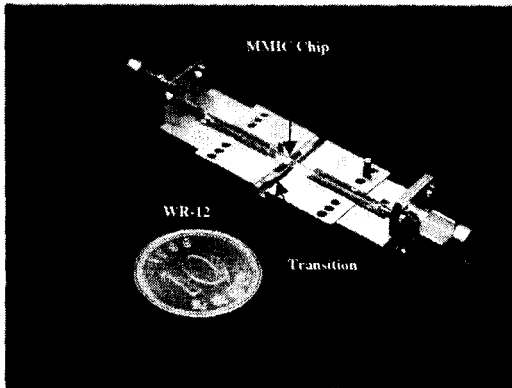
LG종합기술원에서는 개발된 antipodal finline 변환구조를 이용하여 77 GHz 차량용 레이더 시스템에 사용되는 개별 부품들을 개발하였다. [그림 8]과 [그림 9]는 WR-12 antipodal finline 변환구조를 이용하여 제작한 비대칭 전력 분배기와 MMIC 믹서모듈을 보여주고 있다^[9]. 기존의 레이더 시스템에 사용되는 전력 분배기나 방향성 결합기는 크기가 너무 커서 전체 시스템의 부피를 크게 하여 실제 차량의 장착에 부담을 주게 된다. 본 기술원이 개발한 전력 분배기는 시스템이 요구하는 전력분배 비율에 맞게 전력을 비대칭적으로 분배하는 모듈이다. 측정된 결과는 77 GHz에서 안테나로 송출되는 through 방향으로 -3.85 dB의 삽입손실이 측정되었으며 수신단 믹서의 LO(Local Oscillator) 입력부로는 -6.44 dB의 삽입손실이 측정되었다. 측정된 결과는 설계시에 예측된 결과에서 그다지 벗어나지 않은 결과이며 이 정도의 값이면 시스템 장착에 무리가 없는 결과이다.

[그림 9]는 MMIC 믹서 chip이 antipodal finline 변환구조로 만들어진 WR-12 지그에 탑재된 모습을 보여주고 있다. 믹서 MMIC는 저항성(resistive) 믹서로 설계되었고 LG종합기술원의 $0.2\mu\text{m}$ 저잡음 PHEMT 제작공정으로 만들어졌다. MMIC chip이 탑재된 믹서모듈은 76.6690 GHz에서 -15 dBm의 RF전력과 76.6955 GHz에서 7 dBm의 LO전력에서 10.3 dB의 변환손실이 측정되었다. 제작된 MMIC가 평형형(balanced type)으로 만들어지지 않는 한 하더라도 다이오드로 제작된 하이브리드 믹서를 제

WR-12 to Microstrip
Transition



[그림 8] 77 GHz 자동차 레이더용 소형 비대칭 전력 분배기



[그림 9] Antipodal finline 변환구조를 이용하여 제작한 77 GHz MMIC 믹서 모듈

의한다면 외국 foundry의 상업용 HEMT 믹서와 대등한 수준의 값이라 할 수 있다^[10].

III. 국내외 다른 기관의 밀리미터파 부품개발 동향

밀리미터파 분야의 IC 기술 연구는 II.항에서 언급한 소자 기술이 없이는 어려우므로 국내에서는 몇몇의 산학연 기관을 중심으로 이루어지고 있다. 사

용되는 소자는 E-beam lithography를 이용한 HEMT의 개발 결과가 일부 발표되고 있다. 주요 결과는 26 GHz 대역의 저잡음 증폭기와 전력증폭기 결과가 전자통신연구원에서 발표되었고 50 GHz 대역폭을 가지는 광대역 증폭기 결과가 서울대 연구진에 의해서 발표되었다^{[3],[11]}. 밀리미터파 분야의 package 기술은 2건 정도의 결과가 보고되어 있는데 finline을 이용한 도파관-마이크로스트립 변환구조를 가지는 소자 조립 방법에 관한 연구결과가 있다^{[8],[12]}. II항의 주요 기술 중 밀리미터파 IC 설계 방법에 관한 연구는 전자파 이론을 연구하는 연구진에 의해 구조 해석에 관한 연구가 이루어지고 있으나 현재는 상용 simulator를 이용한 설계가 이루어지고 있다. 밀리미터파 IC 기술 관련한 국내의 연구는 향후 상당한 활기를 보일 것으로 예상된다. 동국대를 주축으로 하는 밀리미터파 신기술 연구센터(MINT ERC), 서울대의 밀리미터파 국가지정 연구실 등이 국가 프로그램으로 구성되어 있어서 향후 4~5년 이내에 60 GHz 대역, 9년 기간에 140 GHz 대역의 MMIC 기술을 연구할 계획이다. 그리고 오래 전부터 밀리미터파 분야에서 꾸준히 연구를 해오고 있는 대전전파천문대의 경우 그동안 시스템 개발 위주로 연구가 진행되어 오다 최근에 들어서 Gunn 발진기와 같은 단품의 개발도 조금씩 수행하고 있으며 KAIST의 경우에도 77 GHz에서 사용 가능한 Gunn 다이오드 기반의 소자기술, 그리고 이를 이용한 회로 및 모듈의 구현에 대한 연구를 시작하고 있다.

국외의 경우 미국, 유럽을 중심으로 밀리미터파 부품에 대한 연구가 오랜전부터 정부의 지원을 받으며 집중적으로 그리고 광범위하게 이루어져 왔다. 과거에는 이 주파수 대역의 부품이 주로 군사용 또는 우주용 목적으로 개발되고 사용되어 왔기 때문에 미국에서는 TRW, Raytheon, Rockwell 등과 같은 방산 업체에서 주로 연구가 되었고 유럽에서는 Daimler-Chrysler Aerospace, Thomson-CSF 등과 같은 방산

업체에서 개발이 이루어졌다. 현재 이들의 밀리미터 파 부품 생산기술은 충분히 성숙되어 있어서 시스템에의 적용이 이루어지고 있을 뿐만 아니라 상업적 수요가 있는 부품에 대해서는 대량생산을 통한 마케팅에 힘을 쏟고 있는 실정이다.

IV. 결 론

밀리미터파 대역의 주요 응용분야를 분석하고 이에 필요한 각 부품의 요소기술을 살펴보았다. 요소 기술로는 공정기술, 소자기술, 회로설계 기술, 조립 기술 등이 있으며 LG종합기술원이 제작한 실제 제작 예를 통해 이 기술에 자세히 알아보았다. 또한 국내의 타 연구기관들(대학과 연구소)의 최근 연구개발 동향을 살펴보았다. 국내에서는 그동안 축적된 MMIC 관련 기술을 바탕으로 밀리미터파 대역의 연구가 태동 초기 단계로 산학연의 공동 관심 연구 분야를 형성, 초기 개발 결과를 보이고 있다. LG 종합 기술원에서는 향후 이 분야의 중요성을 인식, 밀리미터파 MMIC의 기반 기술을 확립하고 주요 분야의 일부 분야에서 차별화된 연구 방향을 선정, 초기 연구결과를 보이고 있다. 현재의 밀리미터파 부품기술이라는 것은 다양한 종류가 개발되고 연구되어 시스템으로의 적용이 일어나는 단계가 아니라 소수의 개별 품목에 대한 prototype 수준의 개발에 머물고 있으며 시스템의 경우도 기존의 밀리미터파 하이브리드 부품으로 기본적인 기능의 구현정도에 머물러있다. 그러나 머지않아 고객의 필요에 의해 밀리미터파 서비스가 필요하게 되고 이를 지원하기 위한 시스템과 부품이 필요하게 될 것이므로 지금이 이에 대한 준비가 필요한 시점이라 할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] 박경열외, "LIGA 구조를 이용한 K/Ka-Band

광대역 대역통과 필터", 제3회 대한전기학회 MEMS 심포지움 논문집, 제2권, 제1호 pp. 15-19

- [2] 김동욱외, "LMDS용 광대역 MMIC 전력 증폭기", 1999년 추계 마이크로파 및 전파 학술대회, vol. 22, no. 2, pp. 85-88
- [3] 서광석, "CPW 기술을 이용한 광대역 GaAs pHEMT distributed Amp.", 1999년 마이크로파 및 밀리미터파 워크샵
- [4] S. S. Moochalla *et al.*, "Ridge Waveguide used in Microstrip Transition", *Microwave and RF*, March, 1984.
- [5] L. J. Lavedan, "Design of Waveguide-to-Microstrip Transitions Specially Suited to Millimeter-Wave Applications", *Electron. Letters*, vol. 13, no. 20, pp. 604-605, Sept., 1977.
- [6] T. Q. Ho *et al.*, "Spectral-Domain Analysis of E-plane Waveguide to Microstrip Transitions", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 37, pp. 388-392, Feb., 1989.
- [7] 김동욱외, "E-plane 도파관-마이크로스트립 변환구조를 이용한 LMDS용 전력증폭기 모듈의 제작", 1999년 추계 마이크로파 및 전파 학술대회, vol. 22, no. 2, pp. 3-6.
- [8] 윤양훈외, "Finline을 이용한 75-90 GHz 도파관-마이크로스트립 변환구조 최적설계 및 제작", 1998년 추계 마이크로파 및 전파 학술대회, vol. 21, no. 2, pp. 101-103.
- [9] 김동욱외, "77 GHz HEMT Resistive Mixer MMIC for Automotive Applications", 2000년 제7회 한국반도체학술대회 논문집, pp. 205-206.
- [10] United Monolithic Semiconductors Product Catalog.
- [11] 맹성재, "광대역 무선 통신용 HEMT MMIC",

1999년 마이크로파 및 밀리미터파 워크샵.
 [12] 염경환, "35 GHz drop-in 형 Gunn diode 전압

제어 발전기의 설계 및 제작", 1996년 마이크로파 및 밀리미터파 워크샵, pp. 1-15.

≡필자소개≡

김 동 옥

1967년생

1990년: 한양대학교 전자통신공학과(공학사)

1992년: 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과(공학석사)

1996년: 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과(공학박사)

1996년~현재: LG종합기술원 소재재료연구소 선임연구원,
 현재 업무: 밀리미터파 전력증폭기, 저잡음증폭기, 믹서 등
 선형, 비선형 회로 설계 및 모듈 개발

[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 소자 (MESFET, HEMT, HBT) 모델링, 마이크로파 및 밀리미터파 선형, 비선형 회로 설계 및 평가, RF용 미세구조 시스템 (RF-MEMS)을 이용한 밀리미터파 회로 응용



이 중 원

1952년생

1974년: 서울대학교 재료공학과(공학사)

1983년: Stanford 대학원 재료공학과(공학석사)

1976년~1981년: 대우중공업 과장대리, 기술개발 담당

1983년~1985년: AMI 연구원, 반도체 연구개발 담당

1985년~현재: LG종합기술원 소재재료연구소장

[주 관심분야] 반도체, 산화물 재료의 산업적 응용(화합물 반도체, 초전도체, 강유전체), 미세구조 시스템(MEMS)의 응용, 환경 정화용 재료 개발



정 기 응

1962년생

1984년: 서울대학교 전자공학과(공학사)

1986년: 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과(공학석사)

1990년: 한국과학기술원(KAIST) 전기 및 전자공학과(공학박사)

1990년~1991년: Univ. of Minnesota, Research Associate (Post Doc.)

1991년~현재: LG종합기술원 소재재료연구소 책임연구원

[주 관심분야] 초고주파 집적회로 소자 및 공정 분석, HEMT IC를 이용한 밀리미터파 응용, 질화물 반도체 전력소자, RF용 미세구조 시스템(RF-MEMS), 광통신용 고속 집적회로 설계

