

위성용 MMIC 기술 동향

원영진*, 이진호**, 천용식***

Technological Trend for Satellite Application MMIC

Young-Jin Won*, Jin-Ho Lee**, Yong-Sik Chun***

Abstract

In the department of mobile communication technology and satellite communication technology, wireless communication technology division is very important by transmitting and receiving the signals in wireless link environment. Most of all, the components which comprises the transmitter and receiver can decide the RF(Radio Frequency) system performances. Therefore to assure the reliability in the satellite communication field, it is essential to acquire the competitiveness by developing the highly integrated and compact components by means of MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit) technology. MMIC is the designing and fabricating technology for the RF components. This paper introduces the MMIC technology and describes the technological trend and prospect in the satellite application.

초 록

이동 통신 및 위성 통신 분야에 있어서 무선 통신 기술 분야는 무선 환경에서 신호를 보내고 받는 기능을 수행하는 중요한 분야이다. 이러한 무선 통신 분야에서 송수신단을 구성하는 송수신 부품은 RF 시스템의 성능을 좌우한다. 따라서 위성 통신 분야에 있어서 신뢰성을 획득하기 위해서는 고집적화와 소형화를 통한 경쟁력 확보가 필수적인데 이를 위한 기술이 MMIC 이다. MMIC란 RF 부품을 설계하고 제작하는 기술로서 본 논문은 MMIC 기술에 대한 소개와 위성 분야에서의 기술적인 동향과 전망을 기술하고 있다.

키워드 : 모놀리식 고주파 집적 회로(Monolithic Microwave Integrated Circuit)

1. 서 론

정보화 사회에서 통신 수단인 이동 통신 및 위성 통신 분야에서의 무선 통신 기술은 신호를 보내고 받는 기능을 수행하며 이를 구성하는 송수신 부품은 RF 시스템의 성능을 좌우하는 중요

한 부분으로서 이러한 RF 시스템의 경쟁력을 확보하기 위해서는 부품의 고집적화 및 소형화 기술이 무엇보다 요구된다고 할 수 있다. 기존의 마이크로파 회로들은 하이브리드 형태가 주를 이루고 있었으나 1980년대 들어 초고주파 반도체 기술의 급속한 발전에 힘입어 하이브리드 마이크

접수일(2007년 12월 24일), 수정일(1차 : 2008년 6월 5일, 2차 : 2008년 6월 17일, 게재확정일 : 2008년 7월 1일)

* 다목적5호체계팀/yjwon@kari.re.kr

** 다목적5호체계팀/ljh@kari.re.kr

*** 다목적5호체계팀/sik@kari.re.kr

로파 회로들이 점차 MMIC로 대체되기 시작하였다. 주로 수신부를 구성하는 회로들을 중심으로 MMIC화가 이루어 졌으나 최근에는 송신기 부품까지 파급되고 있다. 주로 레이더용 송신기는 일반적으로 큰 출력을 요구하므로 과거에는 Magnetron, Klystron, TWT(Traveling Wave Tube) 등을 사용하여 왔으나 신뢰성에 문제가 있어 반도체를 이용한 SSPA(Solid State Power Amplifier)의 사용이 늘고 있는 추세이다. 1990년대 들어서는 SSPA 역시 하이브리드 형태에서 MMIC 형태로 대체하고자 하는 연구들이 미국을 중심으로 활발하게 진행되고 있다. 본 논문에서는 MMIC 기술에 대한 소개와 주로 위성 분야에서의 MMIC 개발 동향에 대하여 알아보려고 한다.

2. MMIC 개요

2.1 MMIC의 개요

MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)란 능동 소자와 수동 소자를 하나의 반도체 기판 위에 일괄 공정으로 제작하는 고주파 집적 회로로 미약한 신호의 증폭, 주파수 변환 등의 기능을 수행할 수 있는 부품으로 고주파 시스템의 소형 경량화는 물론 사용 부품의 수를 대폭 줄임으로써 생산 수율을 증가시킬 수 있는 핵심 기술이다.

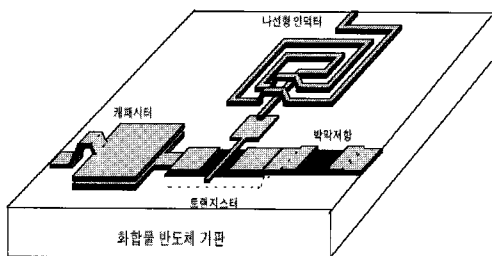


그림 1. MMIC 개략도

MMIC는 그림 1에 나타난 바와 같이 반도체 기판 위에 능동 소자와 수동 소자 뿐만 아니라

단위 소자의 연결까지도 일괄 공정으로 동시에 제작하므로 종래의 고주파 회로 기판에 비해 크기가 작고 신뢰성이 높으며 특성이 균일하다. 또한 개별 부품의 패키지가 따로 필요 없으므로 개별 부품을 사용하여 고주파 회로를 제작하는 경우에 비해 제작 단가를 낮출 수 있어 개발 비용이 많이 들기는 하나 개발이 완료되면 무선 통신 분야에서 시장 경쟁력을 높일 수 있다.

2.2 MMIC의 특징

MMIC는 현재 레이더 분야만이 아니라 위성 통신 및 이동통신의 RF 부품으로 그 사용 영역이 넓어지고 있는 마이크로파 시스템의 핵심 기술로서 장점은 다음과 같다.

우선 기존의 하이브리드 회로(HMIC: Hybrid Microwave Integrated Circuit)에 비하여 그 크기가 수 십배에서 수 백배 이상 작아지는 장점을 가짐으로서 위성 설계 분야에서 부품의 소형화 및 경량화를 가능하게 한다. 다음으로 MMIC의 장점은 와이어 본딩 등의 외부적인 연결 수단을 최소화할 수 있다는 점이다. 부품의 와이어 본딩이 줄어들어 패키징 단가를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 본드 와이어에서 기인하는 비반복성과 신뢰성 문제를 최소화할 수 있다. 마지막으로 MMIC 기술은 다기능 고집적 마이크로파 회로를 가능하게 하였다. 여러 기능의 회로들을 한 기판 위에 집적할 수 있으므로 수신기나 송신기의 RF 전단부를 원칩으로 구현할 수 있게 된다. 고집적 MMIC 기술은 생산 원가를 한층 더 절감할 수 있는 가능성을 제공하며 칩간의 연결에 의한 기생 효과를 없애므로써 평면형 마이크로파 회로의 가용 주파수 대역을 더욱 확장할 수 있게 되었다.

하지만 MMIC 기술의 단점은 다음과 같다. 첫째로 HMIC와 달리 MMIC는 한번 제작하게 되면 튜닝이 불가능하므로 회로 catastrophic failure의 확률이 높을 수 있다. MMIC는 한번의 제작 공정으로 많은 회로가 생산됨으로 회로 당 생산 원가는 낮으나 설계 시 제작 비용은 HMIC에 비해 훨씬 높은 편이다. 따라서 회로의 재설

계에 따르는 비용이 높으므로 초기 회로 설계 시 세심한 주의가 필요하다. 두 번째 단점으로는 소자 간의 RF 커플링의 증가를 들 수 있다. 칩의 크기가 줄어들었으므로 소자들의 간격이 줄어들게 됨으로써 crosstalk, coupling 등에 의한 기생 효과가 HMIC에 비해 높은 편이다. 이러한 커플링의 효과는 기판의 두께, 전송 선로의 특성 임피던스 등에 따라 달라지므로 이를 감안한 설계를 하여야 한다. 이렇듯 설계의 높은 난이도가 요구되지만 MMIC는 전체적인 생산 단가의 절감 및 대량 생산의 가능성으로 인하여 점차 마이크로파 시스템 각 분야로의 신속한 파급이 이루어지고 있다.

2.3 MMIC의 역사

1950년대 초에 연결 와이어를 없앤 새로운 형태의 집적 회로를 개발하기 위해 시작하여 1960년대에 단일 기판 집적 회로의 기본 개념과 기술이 심도 있게 개발되면서 GaAs(Gallium Arsenide)가 RF 고주파 반도체 기판으로 사용되기 시작하였다. GaAs를 MMIC의 기판으로 사용하고자 하는 시도는 이미 1964년에 이루어졌다. 하지만 그 당시에는 GaAs를 단지 전송 선로의 유전체로 사용하였을 뿐, 능동 소자로 제작할 반도체로 사용할 생각은 하지 못하였다. 능동 소자를 구현하기 위해서 Ge(Germanium: 게르마늄)을 GaAs 위에 증착한 후 Ge를 이용하여 트랜지스터를 제작하였다. 1960년대 중반에 들어서는 GaAs 위에 FET(Field Effect Transistor)를 만들고자 하는 연구가 본격적으로 시작되어서 1967년에는 최대 발전 주파수(maximum oscillation frequency: f_{max})가 3GHz인 마이크로파용 GaAs FET가 개발되었다. 그 후 발전 속도는 더욱 빨라져 3년 후인 1970년에는 f_{max} 가 30GHz로 10배 증가하였으며 GaAs FET는 이후 가장 빠른 트랜지스터로 자리를 잡았다. GaAs는 다음과 같은 두 가지 이유로 MMIC에 이상적인 기판으로 여겨졌다. 첫 번째로 실리콘 기판에 비해 상대적으로 낮은 유전체 손실로 인하여 마이크로스트립 라인 같은 전송선로의 구현에 적합하며, 두 번째

로 높은 전자의 이동도와 낮은 Schottky 장벽 전압으로 인하여 고성능의 MESFET(Metal Semiconductor Field Effect Transistor)을 GaAs 위에 Epitaxy나 이온 주입법 등을 사용하여 제작할 수 있다는 장점이 있다.

1970년대에 능동 소자를 사용한 다양한 고주파 반도체 소자들이 등장하기 시작했다. 1976년 Plessy의 연구팀은 처음으로 GaAs MESFET을 사용한 MMIC 증폭기를 개발하였고 이후 GaAs MMIC에 관한 연구 개발은 폭발적으로 이루어졌으며 증폭기 뿐만 아니라 mixer, multiplier, switch, oscillator 등의 다양한 부품의 MMIC가 등장하기 시작하였다.

1980년대는 HEMT(High Electron Mobility Transistor)가 가장 중요한 밀리미터파 소자로 MMIC에 사용되고 있다. HEMT는 그 이름에서 보더라도 알 수 있듯이 MESFET 보다 높은 전자의 이동도로 인하여 스피드가 빨라서 초고주파, 특히 밀리미터파에서 큰 이득을 가질 수 있으며 잡음 특성이 우수하여 저잡음 증폭기 등에 사용빈도가 높아지고 있다. 1990년대와 최근에는 이동통신 시장의 폭발적인 성장과 디지털화 추세에 따라 화합물을 이용한 고주파 반도체 소자 기술이 급속하게 발전해 왔다. 고주파 반도체 소자의 성능 개선 방향은 고주파 특성, 선형 특성, 최대 전류 및 항복 전압 특성, 잡음 특성 등의 분야에서 이뤄지고 있으며 소자가 적용되는 회로에 따라 주요한 개선 분야를 결정하게 된다. 소자의 성능 개선과 더불어 소자를 생산하기 위한 공정면에서도 높은 집적도, 수율 향상, 소자의 신뢰성 향상, 저전력 등을 실현할 수 있는 방법으로 MMIC 기술은 발전하리라 예상된다.

3. 위성용 MMIC

3.1 위성용 MMIC의 시작

MMIC 기술의 발전은 최근 위성 분야에서도 급속히 확산되고 있다. 위성 시스템 설계자가 우주 분야에 있어서 경쟁력을 확보하기 위해서는 위성 시스템을 개발하는 데 있어 개발 기간이 신

속해야 하며 가격이 낮아야 하며 신뢰성이 보장되어야 한다. 이러한 요구 사항에 MMIC가 부합한다는 사실을 절감하였으며 이는 MMIC 기술의 발전을 가속하였다. 또한 MMIC 발전의 원동력은 고주파 부품을 MMIC화 함으로써 소형화, 저가격, 높은 신뢰성을 얻을 수 있다는 것이다. 위성 분야에서 최초의 MMIC 적용은 그림 2의 정지 궤도(GEO: Geostationary Earth Orbit) 통신 위성의 CAMP(Compact channel AMplifier)에 적용되었다. 이후 수신기와 SSPA 등에 잇따라 적용되었다.

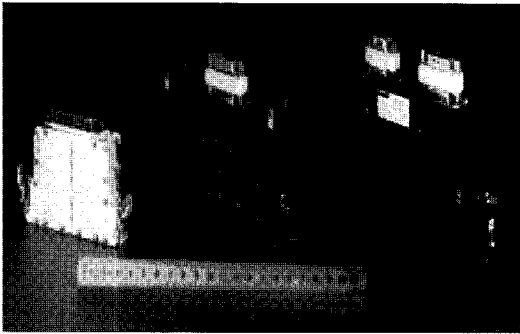


그림 2. 위성용 MMIC의 시작(CAMP)

3.2 위성용 MMIC의 품질 인증

위성 분야에서 MMIC의 필요성을 인식하였고 우주 분야에서 소자로서 사용하기 위해서는 품질 인증이 필요하다. 2GHz 이하의 응용 분야에서는 Si(Silicon) 회로가 충분한 RF 성능을 제공하지만 2GHz 이상의 응용 분야에서는 GaAs 소자가 탁월한 성능을 제공한다. 게다가 GaAs MMIC는 위성 분야에서 요구되는 좀 더 복잡함과 좀 더 작은 사이즈 그리고 저가격의 실현을 위한 해결책이 되었다. 특히 다중 빔 안테나(Multi-beam antenna), 위상배열 안테나(Phased array antenna), switch matrices, 전력증폭기(Power amplifiers) 그리고 beamforming networks에 필수적인 기술이 되었다. 위성 분야에서 GaAs의 적용은 최초로 1992년에 발사되었던 ITALSAT-1의 In Orbit Test Transponder(IOTT)이다. IOTT

는 송신기에 GaAs 전력증폭기를 사용하였으며 구동증폭기(Drive amplifier)에 X-band GaAs FET 전력 증폭기를 사용하였다. 또한 다음과 같은 ANIK(Telesat, Canada), AUSSAT(Australia), GSTAR(GTE Spacenet, US), INMARSAT, INTELSAT, N-STAR(NTT, Japan), PANAMSAT(Alpha Lyracom, US), SATCOM(GE Americom, US), SUPERBIRD(Space communication Corp., Japan), TELSTAR(ATT, US), IRIDIUM(Motorola, US), ODYSSEY(TRW, US), GLOBALSTAR(Loral Cellular Systems Corp., US) 등의 상업용 위성 프로그램에도 GaAs 소자나 회로가 사용되었다. 또한 CASSINI, Pluto Fast Flyby, MESUR 등과 같은 NASA(National Aeronautics and Space Administration)의 여러 미션에도 GaAs MMIC는 사용되었으며 사용될 예정이다. 이렇게 많은 GaAs MMIC 회로가 우주 분야에 많이 사용되고 있음에도 불구하고 GaAs community에 의해 승인된 우주 분야 품질 인증 표준이 없는 실정에서 NASA의 JPL 그리고 DOD가 공동으로 "GaAs MMIC Reliability and Space Qualification Guide"를 개발하는 프로그램을 시작하였으며 [1994] 위성용 GaAs 품질 인증에 상호 협력하고 있다. 유럽에서도 역시 맨 처음 프랑스의 Alcatel Espace에 의해 시작되었으며 Philips, Thomson, 그리고 GEC-Marconi 와 같은 유럽의 foundaries 가 ESA(European Space Agency)의 지원 아래 동일한 노력을 기울이고 있다.

3.3 위성용 MMIC의 발전

위성용 MMIC 분야에서 최초로 소개된 것은 앞에서 설명한 Alcatel Espace에서 개발한 C-band (4GHz), Ku-band(12GHz) 대역의 CAMP이다. 이것은 low level amplifiers, attenuators와 flatness corrector circuit 등의 7 개의 MMIC를 포함하고 있으며 Triquint 공정에 의해 생산되었다.

CAMP의 발전 이후로 MMIC의 발전은 정지 궤도 위성(GEO) 분야에서 주로 개발되었으며 C-band와 Ku-band 수신기, TTC 송신기, 그리고

C-band와 Ka-band SSPA의 개발이 진행되었다. 수신기 부분은 TRW, Alena 그리고 Alcatel에 의해 수행되었으며 일본의 Mitsubishi는 MMIC Ku-band 수신기를 개발하였다.

안테나의 빔을 원하는 방향으로 형성할 수 있는 능동 안테나(active antenna)가 위성 분야에서 등장하면서 복잡한 회로를 구현하기 위한 MMIC 기술이 많이 필요하게 되었으며 적용되었다. 대표적인 두 개의 프로젝트는 다음과 같다. 우선 DRS-ESA(Data Relay System by ESA)는 그림 3과 같이 5-bit의 위상변위기(Phase shifter)를 가진 S-band beam forming network(BFN)을 구현하였으며 이 중 Ku-band demodulator는 MMIC 형태로 France Telecom의 지원하에 Alcatel에서 개발하였다.

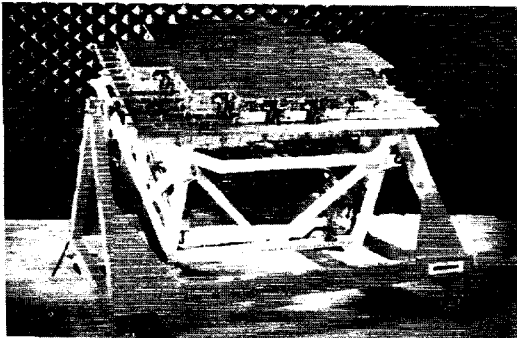


그림 3. 위상배열안테나(Ku-band)

다른 하나의 프로젝트는 COMSAT Labs에서 수행했던 것으로 C-band와 Ku-band 대역의 능동 위상 배열 안테나(active phased array antenna)의 개발이다. 이는 네 개의 안테나 빔을 동시에 형성할 수 있는 고출력의 Ku-band multibeam array로 제작되었으며 MMIC 위상 천이기와 2W의 SSPA 그리고 24개의 능동 방사 소자를 가지고 있다.

보다 높은 주파수 대역에서의 응용 분야는 미국의 ACTS나 일본의 ETS-VI와 같은 실험 위성에서 찾을 수 있다. 높은 대역의 위성의 목적은 Ka-band telecommunication의 가능성 검증이나 Inter-Satellite Link(ISL)를 실험하기 위함이었다.

또한 TRW가 V-band 저잡음 증폭기(LNA)와 down converter 그리고 ISL을 위한 SSPA를 개발하였다. 또한 TI가 4-bit 위상 천이기와 Ka-band(29.3GHz) PHEMT 전력 증폭기를 개발하였다. 그리고 ETS-VI를 위해 Mitsubishi에서는 30GHz 수신기를 개발했으며 Fujitsu에서는 Ka-band(38GHz) SSPA를 개발하였다.

Mobile communication satellite 분야에서는 Iridium과 Globalstar와 같은 여러 constellation 프로그램에 적용되었다. Mobile communication을 위한 링크는 1.5~2.5GHz 대역이며 feeder 링크는 C-band(5~7GHz)나 K-band 또는 Ka-band(20~30GHz)대역이 할당되었으며 Motorola와 Raytheon은 Iridium을 위한 L-band 위상 배열 안테나를 개발하였으며 Motorola에 의해 30GHz 상향 링크와 20GHz 하향 링크를 위한 PHEMT와 MESFET MMIC 기술을 이용한 저잡음 증폭기, HPA(High Power Amplifier), mixers 그리고 multiplier 등이 개발되었다. Globalstar의 RF 부품들 또한 다음의 개발 업체들에 할당되어 개발되었다. Space System Loral(Active antennas, L/C converters), Alcatel(C/S converters, TTC transponders), Alena(L-band LNA), Mitsubishi(S-band, C-band SSPAs) 그리고 Hyundai(Local oscillator)에게 각각 할당되었으며 MMIC 기술을 사용하여 설계되었다. 즉 여러 개의 위성을 사용하는 constellation 프로그램에 저가격을 실현하는 MMIC 기술이 큰 기여를 하였다.

그리고 현재 가장 많은 개발이 이루어지고 있는 지구 관측용 위성에도 또한 MMIC 분야의 급속한 적용이 되고 있다. MMIC 기술은 SAR(Synthetic Aperture Radar) 탑재체 위성에도 적용되어 여러 개의 송수신 모듈(T/R module)을 가진 능동 안테나의 구현을 가능하게 하였으며 MMIC 기술로 구현된 최초의 SAR 시스템은 ENVISAT 위성의 C-band ASAR이다. ASAR는 Alcatel에 의해 320개의 T/R 모듈로 제작되었다. 또한 저궤도 위성(LEO: Low Earth Orbit)에 주로 통신용으로 사용되는 S-band Transponder에도 소형화와 집적화를 위하여 새로운 개념의 트랜스폰더가 개발되었다. 그림 4는 Alcatel

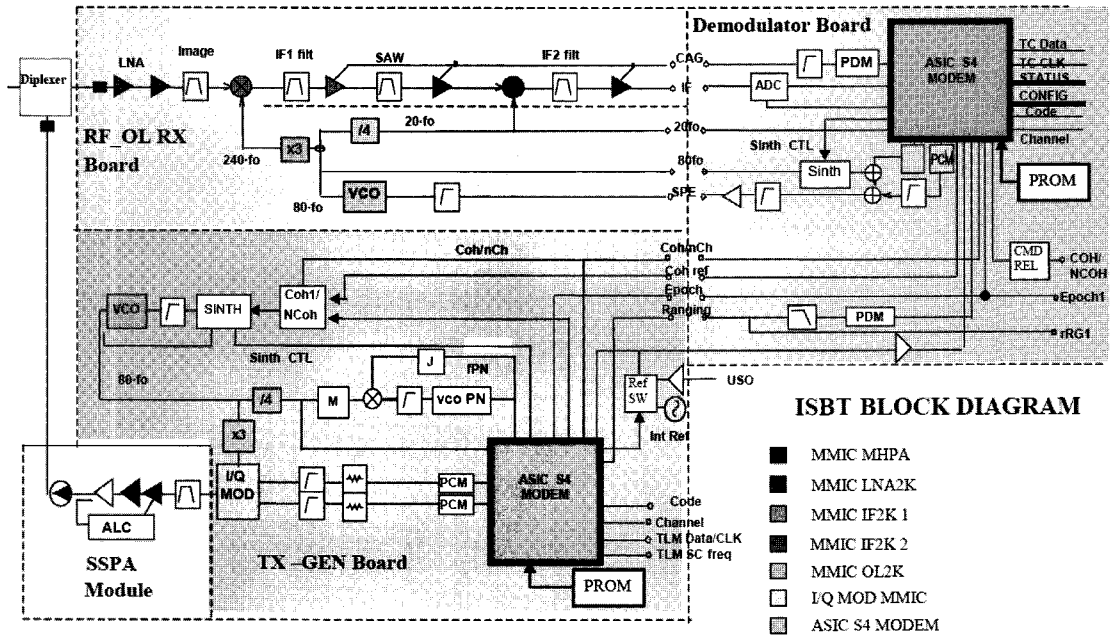


그림 4. ISBT Block Diagram (Alcatel Espacio)

Espacio에서 개발한 ISBT(Integrated S-band Transponder)의 블록도이며 그림 5는 소형화된 구조를 보여주고 있다. RF 송신부와 수신부 그리고 SSPA 모듈의 많은 부분을 MMIC로 구현하였으며 소형화를 실현하였다.

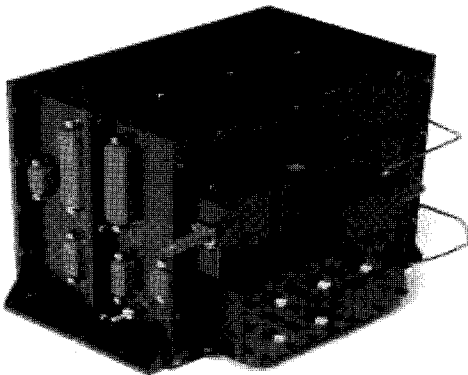


그림 5. ISBT 외형(Alcatel Espacio)

3.4 위성용 MMIC의 기술 전망

지금까지의 MMIC 개발 기술과 발전에 따른 위성 분야에서의 기술 전망은 다음과 같다.

3.4.1 소형화와 경량화

불과 몇 년 전까지만 해도 정지 궤도 위성의 telecommunication 탑재체에 의한 위성 시장이 대부분을 차지하였다. 하지만 사용자와 gateway 간의 통신 지연 시간 최소화를 위하여 멀티미디어 시장은 저궤도 위성의 coverage 영역 확장을 위한 constellation 쪽으로 기반을 넓혀가고 있으며 지구 전체를 커버하기 위해서는 많은 수의 위성이 필요하게 되었으며 이를 위해 저가격의 실현과 위성들의 그룹에 의한 개발 및 발사가 중요한 문제였다. 따라서 무게와 사이즈의 감소는 필수적이며 탑재체의 중요한 비중을 차지하는 RF 장비들의 MMIC 기술을 이용한 소형화와 저중량 저가격화는 중요한 이슈이다. 이러한 시대의 흐름에 일조한 예는 그림 6의 Alcatel Space industries가 Globalstar에 참여하여 적용한 C-band to S-band down converter이다.

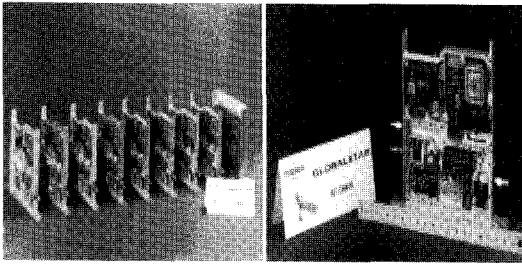


그림 6. C-S Down Converter(Globalstar)

3.4.2 패키징 기술

또한 MMIC 기술을 위한 전망으로 패키징 기술이 대두되고 있다. 최근 수년 동안 마이크로웨이브 회로 분야에서 GaAs를 사용한 소자에 대한 수많은 연구가 진행되어 왔다. 결국 1990년대 위성용 장비가 개발되었으며 현재 수많은 RF 시스템에 GaAs 칩이 사용되고 있다. 현재 MMIC 기술의 성숙기에 접어들어 따라 패키징 기술이 새로운 이슈로 떠오르고 있으며 그림 7과 같은 초소형화 마이크로 패키지(Micro-package) 기술이 우주 분야에서 MMIC의 시장 진출에 유리하게 작용하고 있다.

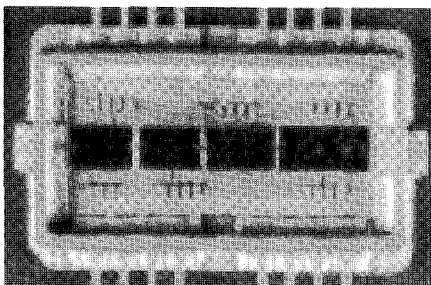


그림 7. MMIC의 micro-package 기술

3.4.3 새로운 개념의 설계

MMIC는 개개의 단순한 회로(LNA, HPA, Phase shifter, Multipliers, Mixers, Oscillators 등)가 설계되면 하나의 building block으로 개발하게 된다. 이러한 기능들은 전체 유닛을 위한

개별 소자들을 모아서 구현하게 된다. 이러한 집합 개념의 MMIC 소자들을 설계하는 새로운 개념은 예를 들면 Statistical Load Pull과 같은 방법으로 비선형 회로 소자(mixers, multiplier 등)의 정확한 성능 예측이 가능해지게 되었으며 상업적인 소프트웨어의 사용으로 설계한 회로의 불안정성을 사전에 예측할 수 있게 되었다. 그리고 수동 MMIC 소자의 전자기적(electromagnetic) 해석은 더 나은 효율성과 성능을 가진 회로 설계를 가능하게 하였다.

3.4.4 Multifunction 개념의 도입

고집적화를 위해서는 multifunction 개념이 도입된다. Multifunction은 몇 개의 “Building block”을 포함한 한 개의 회로로 정의되는 것으로 그림 8과 같은 Alcatel에서 개발한 Ku-band double-balanced mixer가 좋은 예가 될 것이다. 이것은 mixer와 RF amplifier, IF amplifier, LO amplifier 그리고 LO attenuator의 5개의 function을 갖는 개별 소자를 하나의 칩으로 구현함으로써 multifunction 개념을 적용하였다.

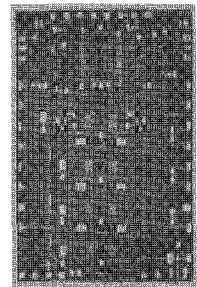
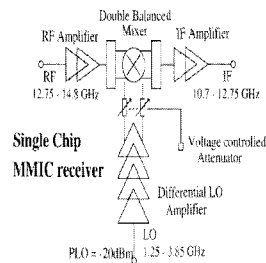


그림 8. Multifunction scheme (Ku-band receiver)

4. 결론 및 전망

MMIC 기술의 발전은 기존의 소자 설계 개념을 완전히 바꾸었다. 크기와 가격 면에서 기존의 하이브리드 계열보다 월등히 나은 특성을 나타내고 있으며 신뢰성 측면에서도 향상되었다. 그리

고 급속히 성장하고 있는 위성 분야의 satellite constellation에 기초한 multimedia 서비스 시장에서 좀 더 높은 주파수 대역과 많은 수의 마이크로웨이브 모듈을 필요로 하고 있다. 따라서 시장 경쟁력을 확보하기 위해서는 부피와 가격 면에서 지속적으로 저가격 소형화를 구현하여야 한다. 마이크로웨이브 모듈은 고집적을 위한 노력으로 초소형화할 것이며 고성능 그리고 저가격을 실현할 것이다. 따라서 이러한 요구는 Ka-band 대역과 그 이상의 주파수에서도 효율적이고 진보한 MMIC 기술들을 개발하는데 최선의 노력을 기울이고 있다. 현재 MMIC를 개발하기 위한 tool의 성능이 점점 더 발전하고 있으며 다양한 새로운 개념들(Multifunction MMIC's, mixed analog/digital MMIC's)을 적용한 새로운 재질의 MMIC 기술들(SiGe HBT, GaAs HBT, Meta-morphic HEMT, Wide Band Gap Device 등)이 등장하고 있으며 새로운 패키징 기술들(Multi-chip module 기술, 3D module 기술, Si micro machining 기술 등)이 적용됨에 따라 위성용 MMIC 분야의 발전을 점점 가속화하고 있다. 이러한 세계의 흐름에 따르기 위하여 MMIC 기술을 적용한 위성 설계는 필수적이라 하겠다.

Is Improving for Satellite Transponders", EuMC, Jerusalem, Israel, September 1997.

6. M. Soulard et al., Alcatel Space Industries, "Experience and New Trends in MMIC's for Space Programmes"
7. NASA, JPL, "GaAs MMIC Reliability Assurance Guideline for Space Applications"
8. 특허청, "2004년 PM 보고서[고주파 반도체 소자]"
9. Strategy Analytics, "GaAs Industry Forecast : 2001-2006"
10. E. López et al., "I.S.B.T.: A new generation of compact, multimode-multimission S-band transponders", ESA Workshop on TTC, 2004.

참 고 문 헌

1. 권영우, 서울대학교, "Outline and Tendency of the MMIC Technology"
2. 이재진, ETRI, "Recent Trend of Researches on the MMIC Technology for the Wireless Communication"
3. J.L. Cazaux, "MMIC's for space-borne systems: status and prospective", GaAs IC Symposium, Philadelphia, USA, October 1994.
4. G. Ponchak et al., "The Development of a GaAs MMIC Reliability and Space Qualification Guide", IEEE MW-Monolithic Circuits Symposium, San Diego, USA, May 1994.
5. J.L. Cazaux et al., "How MMIC Technology