

GaN, GaAs MMIC 개발 및 전망

GaN, GaAs MMIC Developments and Trends

스마트 코리아 실현을 위한 실감
방송통신 융합기술 특집

지홍구 (H.G. Ji) 무선RF탑재기술연구팀 선임연구원
장동필 (D.P. Chang) 무선RF탑재기술연구팀 책임연구원
신동환 (E.H. Shin) 무선RF탑재기술연구팀 선임연구원
염인복 (I.B. Yom) 무선RF탑재기술연구팀 팀장

목 차

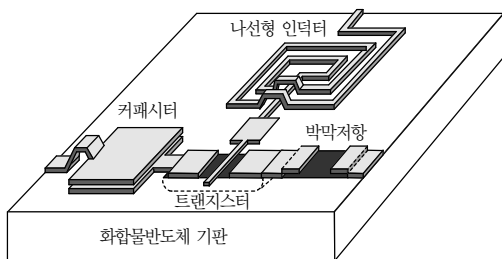
-
- I . 서론
 - II . MMIC 개요
 - III . MMIC 개발 현황
 - IV . 결론 및 전망

이동통신 및 위성통신 분야에 있어서 무선통신기술은 무선환경에서 신호를 보내고 받는 기능을 수행하는 중요한 분야이다. 이러한 무선통신 분야에서 송수신단을 구성하는 송수신 부품은 RF 시스템의 성능을 좌우한다. 특히, 위성통신 분야에서 신뢰성을 획득하기 위해서는 고집적화와 소형화를 통한 경쟁력 확보가 필수적인데 이를 위한 기술이 MMIC이다. MMIC 기술이란 반도체 공정을 이용하여 RF 부품을 설계하고 제작하는 기술로써 본 고에서는 MMIC 기술 소개와 이동통신 및 위성분야에서의 MMIC 기술 동향과 개발 현황, 앞으로의 전망을 개괄적으로 서술하고자 한다.

I. 서론

정보화 사회에서 통신수단인 이동통신 및 위성통신 분야에서의 무선통신 기술은 신호를 보내고 받는 기능을 수행하며 이를 구성하는 송수신 부품은 RF 시스템의 성능을 좌우하는 중요한 부분이다. 또한 군수 혹은 민간용 레이더 또한 무선통신 부품과 유사하나 이는 통신을 목적으로 하지 않고 식별 및 측정을 목적으로 하고 있다는 점만 다를 뿐 일반적인 RF 송수신부 차이는 거의 없다. 이러한 기존의 RF 부품 및 회로들은 하이브리드(hybrid) 형태가 주를 이루고 있었으나 1980년대 들어 초고주파 반도체 기술의 급속한 발전에 힘입어 하이브리드 회로들이 점차 MMIC로 대체되기 시작하였다. 초기에는 주로 수신부를 구성하는 회로들을 중심으로 MMIC화가 이루어졌으나 최근에는 GaN 등의 고효율용 화합물 반도체 기술의 발달로 인하여 고효율 송신기 부품까지 파급되고 있다. 다음 (그림 1)은 MMIC의 기본 개략도로 능동소자와 수동소자를 하나의 반도체 기판 위에 일괄 공정으로 제작하는 고주파 집적회로이다. 이러한 제작공정은 집적도가 높아 소형화가 가능하며 회로의 크기가 작아 저전력화가 가능하고 사용 부품 수를 대폭 줄임으로써 생산 수율을 증가시킬 수 있다.

최근의 무선통신 부품은 더 많은 정보처리가 필요하여 점점 더 초고주파대역, 광대역, 고효율, 고집적화하는 경향이 있다. 따라서 이에 적합한 반도체 공정



(그림 1) MMIC 개략도

으로 MMIC화 하는 추세이다[1].

본 고에서는 이러한 무선, 위성통신 및 군수용 MMIC 기술을 바탕으로 MMIC 기술의 특징을 알아보고 ETRI 무선 RF·탑재 기술연구팀이 개발한 MMIC를 중심으로 개발 현황 및 앞으로의 전망을 예측하고자 한다.

II. MMIC 개요

1. MMIC 기술의 이해

1950년대 초 연결 와이어를 없앤 새로운 형태의 집적회로를 개발하기 위하여 GaAs가 RF 고주파 기판으로 사용되기 시작하였다. 이후 1976년 Plessy의 연구팀은 처음으로 GaAs MESFET를 사용한 MMIC 증폭기를 개발하였고 이후 증폭기, 혼합기, 발진기 등 거의 모든 능동소자를 이용한 RF 부품은 MMIC 형태로 등장하였다. 1980년대에는 높은 전자 이동속도를 가지는 HEMT의 등장으로 초고주파 대역 MMIC가 제작되었으며 1990년대와 최근에는 이동통신 시장의 폭발적인 성장과 디지털화 추세에 따라 고주파 반도체 소자 기술을 바탕으로 한 MMIC 기술이 급속하게 발전해 왔다[2]. 이러한 MMIC 기술은 반도체 기술에 근간을 두고 있다. 따라서 본 절에서는 반도체 기술의 몇 가지 특징을 살펴보고자 한다.

실리콘(Si) 반도체가 단일 원소인데 비하여 화합물 반도체는 두 종류 이상의 원소로 구성되며, 주기율표에서 그룹별로 III-V, IV-IV, II-VI으로 구성된 반도체 결정을 이용한 기판을 사용한다. 이러한 기판은 대부분 광흡수와 발광 효율이 좋고, 전자가 빠르게 이동하여 고속으로 동작하는 전자소자에 사용된다. 특히, III-V족 이종구조(heterostructure)인 $Al_{1-x}Ga_xAs/GaAs$, $In_{1-x}Ga_xAs_{1-y}P_y/InP$, $Al_{1-x}Ga_xN/GaN$, Si_{1-x}

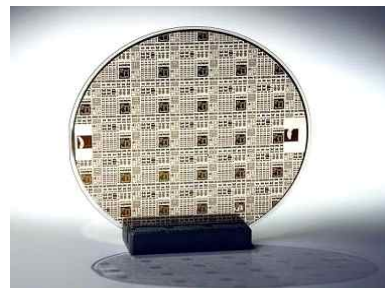
$y\text{Ge}_x\text{C}_y/\text{Si}$ 의 경우, 함량 x 와 y 를 조절하여 양자채널을 만들거나 전기적 특성을 조절하여 특별한 성능의 소자를 제작할 수 있다. <표 1>은 반도체별 주요 소자 및 특징을 나타낸다. 이 중 GaN는 3.4eV의 넓은 에너지갭을 갖는 반도체로 고온에서 안정하며 5MV/cm² 이상의 breakdown 전압을 나타내고 2.5×10⁷cm/Vsec의 높은 포화전자속도를 바탕으로 1990년대 이후 전기 및 광소자의 응용 가능성이 보이면서 각국에서 중점적으로 연구를 하고 있다. 특히 이동통신 기지국용 전력증폭기, 자동차용 전력증폭기, 해상 레이더 등 여러 분야에 응용이 가능하고 특히 군수용으로 전환 시 고가의 무기체계 국산화 및 정밀 군수용품에 대한 수요를 충족할 수 있을 것으로 기대된다[4].

MMIC는 그 적용 기판의 물질적 특성에 따라 구분된다. 이러한 물질으로 특정 짓는 이유는 그 물질적 특성으로 인하여 능동소자의 특성이 결정되며 이러한 특성으로 인하여 적용 응용분야가 결정되기 때문이다. 먼저 대표적인 MMIC 기판 물질인 GaAs는 원소기호 III족(Ga, Al, In), V족(N, P, As, Sb)화합물의 가장 오래된 반도체로서 전자가 빠르게 이동하여 고속으로 동작하는 전자소자에 사용된다. 이러한 특성은 정보통신 기술이 발전하면서 유선과 무선을 이용한 데이터, 음성, 멀티미디어 전송이 점점 증가하고 이에 따라 높은 동작주파수와 대역폭에 대한 요구가 발생해 옴에 따라 고성능 기판의 통신 소재로서 실리콘 기반의 솔루션은 한계를 드러냈기 때문이다. 대표적인 소자로는 MESFET, HEMT, HBT 등이 있으며 잡음 특성과 전력효율이 좋아 주로 이동통신 기반 단말기의 전력 증폭기 MMIC로 사용되고 있다. InP 소자 기반 MMIC는 역시 III-V족의 화합물 반도체 공정을 이용한 MMIC로써 주로 InP HBT, InP HEMT 등의 소자를 이용하며 GaAs MMIC보다 제작 비용이 비싸지만 주파수 특성이 높아 초고주파대역의 MMIC나 고효율, 저잡음 HBT 기반 MMIC에 주로 사용된다. SiGe 소자 기반 MMIC는 실리콘 기판상에 제작 가능하므로 디지털 파트의 집적회로와 같은 기판상에 제작할 수 있는 시스템 수준의 반도체 공정이 가능하다. 공정 또한 기존의 실리콘 공정을 그대로 이용할 수 있으므로 GaAs보다 저렴하며 대량생산 시 생산 효율을 높일 수 있는 장점이 있다. CMOS 기반 MMIC는 주로 전통적인 MOS 소자를 RF 회로에 적용한 것으로 실리콘의 물질적 특성상 주로 저주파대역에서 사용하여왔으나 최근 IBM사 등에서 공정개발을 완료하여 60GHz 대역의 상용 MMIC가 출시되고 있다. 마지막으로 GaN 기반 MMIC는 최근 가장 활발히 연구되고 있는 분야로써 전자 이동도는 낮지만 고전압 동작이 가능하고 높은 전력밀도를 얻음으로 고출력 전력소자 MMIC에 적합하다. 게다가 열전도가 실리콘에 비해 3배, GaAs에 비해 7배 가량 높아 비교적 작은 냉각장치가 필요하며 따라서 우수한 신뢰성이 보장 된다. GaN 기반 MMIC는 설계 시

큰 기반의 솔루션은 한계를 드러냈기 때문이다. 대표적인 소자로는 MESFET, HEMT, HBT 등이 있으며 잡음 특성과 전력효율이 좋아 주로 이동통신 기반 단말기의 전력 증폭기 MMIC로 사용되고 있다. InP 소자 기반 MMIC는 역시 III-V족의 화합물 반도체 공정을 이용한 MMIC로써 주로 InP HBT, InP HEMT 등의 소자를 이용하며 GaAs MMIC보다 제작 비용이 비싸지만 주파수 특성이 높아 초고주파대역의 MMIC나 고효율, 저잡음 HBT 기반 MMIC에 주로 사용된다. SiGe 소자 기반 MMIC는 실리콘 기판상에 제작 가능하므로 디지털 파트의 집적회로와 같은 기판상에 제작할 수 있는 시스템 수준의 반도체 공정이 가능하다. 공정 또한 기존의 실리콘 공정을 그대로 이용할 수 있으므로 GaAs보다 저렴하며 대량생산 시 생산 효율을 높일 수 있는 장점이 있다. CMOS 기반 MMIC는 주로 전통적인 MOS 소자를 RF 회로에 적용한 것으로 실리콘의 물질적 특성상 주로 저주파대역에서 사용하여왔으나 최근 IBM사 등에서 공정개발을 완료하여 60GHz 대역의 상용 MMIC가 출시되고 있다. 마지막으로 GaN 기반 MMIC는 최근 가장 활발히 연구되고 있는 분야로써 전자 이동도는 낮지만 고전압 동작이 가능하고 높은 전력밀도를 얻음으로 고출력 전력소자 MMIC에 적합하다. 게다가 열전도가 실리콘에 비해 3배, GaAs에 비해 7배 가량 높아 비교적 작은 냉각장치가 필요하며 따라서 우수한 신뢰성이 보장 된다. GaN 기반 MMIC는 설계 시

<표 1> 반도체별 주요소자 및 특징

반도체	소자	특징
GaAs	MESFET HEMT/HBT	저가격, 고주파
GaN	MODFET HEMT	고밀도 전력
InP	HBT HEMT	고속, 초고주파
SiGe	HBT	저가격, 저소비전력
CMOS	MOS	저가격, 낮은주파수



(그림 2) 미국 Nitronix사의 GaN MMIC Wafer

GaAs FET보다 매우 높은 동작점을 갖기 때문에 높은 임피던스를 갖게 되므로 상대적으로 매우 간단한 정합회로 구성이 가능한 특징이 있다. (그림 2)는 미국 Nitronix사의 GaN MMIC Wafer이다.

2. MMIC의 특징

초기에는 높은 성능과 신뢰성을 요하는 군수용으로 개발 활용되었으나 이동통신 산업의 급성장에 따라 점차 산업화 기반을 갖추게 되었다. 현재는 군수용 뿐만 아니라 이동통신, 위성통신, 무선 LAN에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 차세대 이동통신 및 융복합 시대의 흐름에 맞추어 연구개발이 활발히 이루어지고 있다. 이러한 MMIC는 그 사용 영역이 점차 넓어지고 있으며 그 장점은 다음과 같다[3].

기존의 HMIC 회로에 비하여 그 크기가 수십 배에서 수백 배 이상 작아지는 장점을 가짐으로써 특히 위성분야에서 부품의 소형화 및 경량화를 가능하게 한다. 다음으로는 와이어본딩 등 연결수단을 최소화함으로써 생산 단가를 줄임과 동시에 본드 와이어 등과 같은 비반복성과 신뢰성 문제를 최소화 할 수 있다. 마지막으로 다기능 고집적 RF 부품을 가능하게 한다. (그림 3)은 도허티 전력 증폭기 MMIC의 구성도로 이와 같이 여러 기능의 회로들을 한 칩 위에 집적하여 생산원가를 절감할 수 있으며 칩 간 연결의 기생성분을 제거함으로써 가용 주파수 대역을 더욱 확장할 수 있게 되었다. 하지만 HMIC와 달리 한번 제작

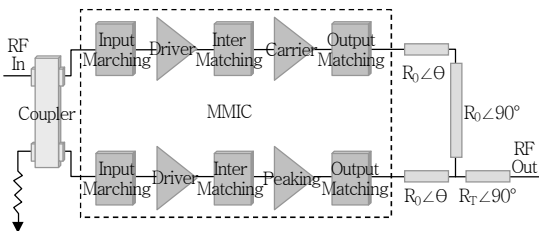
을 하게 되면 튜닝이 불가하여 오류 확률이 높으며 MMIC는 한번의 제작공정으로 많은 회로가 생산됨으로 회로당 생산원가는 낮으나 설계 시 제작비용은 훨씬 높은 편이다. 따라서 회로의 재설계에 따르는 비용이 높으므로 초기 회로 설계 시 세심한 주의가 필요하다. 또 한가지 지적된 단점으로는 소자들 간의 간격이 줄어들어 crosstalk, coupling 등에 의한 기생성분이 HMIC에 비하여 높다.

III. MMIC 개발 현황

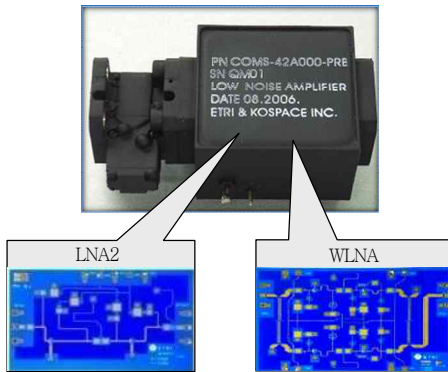
II 절에서 설명했듯이 MMIC는 설계의 높은 난이도가 요구되지만 전체적인 생산단가의 절감 및 고신뢰성을 바탕으로 한 대량생산의 가능성으로 인하여 점차 RF 시스템의 각 분야로의 신속한 파급이 이루어지고 있다. 이에 발맞추어 ETRI 무선 RF·탑재 기술연구팀은 그간의 연구노력으로 천리안 위성의 MMIC를 국산화한 경험이 있으며 본 절에서는 개발된 MMIC 현황을 살펴보기로 한다.

1. 천리안 위성 MMIC

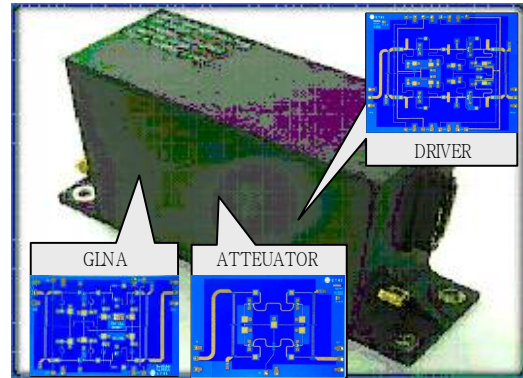
천리안 위성의 통신탑재체에 사용된 RF 부품들은 대부분 국산화된 부품들로 구성되어 있다. 특히 능동 부품인 저잡음 증폭기 주파수 하향변환기, 주파수 상향변환기, 그리고 채널 증폭기는 한국전자통신연구원 연구진이 설계하고 미국의 NGST(구 TRW)사에서 제작한 MMIC를 사용하여 소형 경량화하여 개발되었다. 잘 알려진 바와 같이 위성체를 우주에 올려 보내기 위해서는 발사체를 활용하는데 위성체의 무게가 가벼울수록 발사 비용이 감소되기 때문에 위성체의 내부에 사용되는 부품의 소형화가 필수적인 요소이며, 따라서 최근에 선진국에서 개발되는 위성에



(그림 3) 도허티 전력 증폭기의 MMIC 적용 예



(그림 4) 천리안 위성 저잡음 증폭기



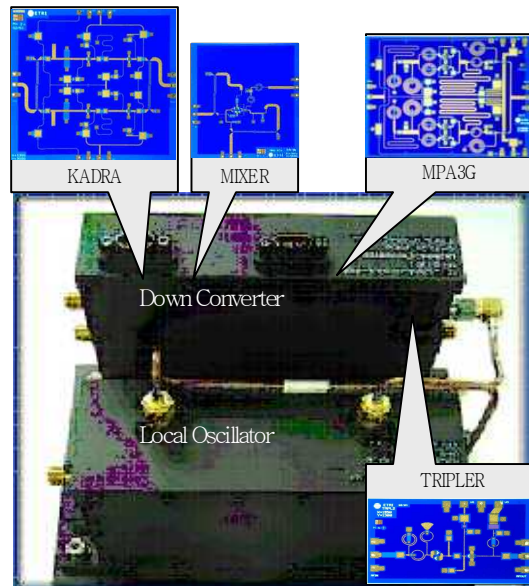
(그림 5) 천리안 위성 채널 증폭기

<표 2> 천리안 위성용 저잡음 증폭기 MMIC 성능

저잡음증폭기	이득(dB)	잡음지수(dB)
LNA2	17	1.7
WLNA	20	2.3

는 대부분 MMIC가 이용되고 있다. 특히 동일한 종류의 부품을 여러 개 사용해야 하는 배열 시스템이나, 다중 채널 시스템의 경우 RF 부품의 성능의 유사하게 유지되어야 하는데, 이 경우 MMIC 부품을 이용할 경우 MMIC가 갖는 높은 재현성 및 신뢰성을 바탕으로 동일 종류 부품의 성능 유지가 수월하게 되는 장점이 있다.

(그림 4)에 보인 천리안 위성의 통신탑재체용 수신단 저잡음 증폭기 모듈은 2개의 저잡음 증폭기 MMIC를 이용하여 개발되었으며, 현재까지 알려진 바에 의하면, 국내외에서 개발된 Ka-대역 위성탑재체용 저잡음 증폭기 중에서 가장 우수한 2.3dB 잡음지수 특성을 가지고 있다. 사용된 MMIC의 특성은 <표 2>와 같다. (그림 5)는 천리안 위성의 통신탑재체에 사용된 20GHz 대역 채널 증폭기 모듈과 사용된 MMIC를 보였다. 채널 증폭기는 위성에서 지구로 신호를 송신하는 최종 증폭기인 고출력 증폭기의 앞에 위치하여 위성 중계기의 전체 이득을 조절하는 역할을 하는 부품이다. 채널 증폭기에는 총 3종 6개의 MMIC가 활용되었으며, 저전력 증폭기 MMIC, 중



(그림 6) 천리안 위성 하향변환기

전력 증폭기 MMIC, 그리고 감쇠기 MMIC가 활용되었다.

(그림 6)은 천리안 위성의 통신탑재체에 사용된 주파수 하향변환기로서 30GHz 대역의 수신단 저잡음 증폭기를 3GHz 대역의 IF 신호로 변환하는 역할을 한다. 활용된 MMIC는 Ka-대역 증전력 증폭기, 주파수 혼합기, IF 대역 증전력 증폭기, 그리고 X-대역의 국부발진기 신호를 Ka-대역 신호로 변환해주는 주파수 3체배기 등이다. 사용된 MMIC의 특성을 <표 3>에 요약하였다.

〈표 3〉 천리안 위성 주파수 하향변환기용 MMIC 성능

	주파수 (GHz)	이득 (dB)	출력전력 (dBm)
KADRA	20~31	15	24
MPA3G	30~40	15	27
MIXER	30→3.4	-6	-10
TRPLER	8.8→26.4	-6	4

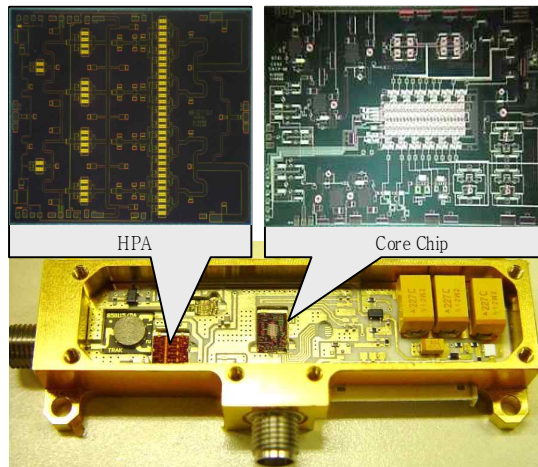
〈표 4〉 X-대역 다기능 집적회로 MMIC 성능

	단위	성능 파라미터
주파수	GHz	8.5~10.5
수신이득	dB	22
송신이득	dB	15
잡음지수	dB	10.2
감쇠 제어 비트	bit	6
위상 제어 비트	bit	6
RMS 감쇠 오차	dB	0.25 Typ.
RMS 위상 오차	dB	0.25 Typ.

2. X-대역 레이더 TR 모듈용 MMIC

최근의 X-대역 레이더는 능동위상배열시스템으로 개발되고 있으며, 시스템의 구조상 초소형 TR 모듈이 수백~수천 개의 개별 안테나 소자에 직접 연결되어야 한다. 이렇게 초소형 TR 모듈을 구현하기 위해서는 MMIC 칩의 활용이 반드시 필요하며, 특히 고출력 증폭기 MMIC와 다기능 집적회로 MMIC가 반드시 필요한 요소 부품으로써 그 성능의 우수성에 관심이 높아지고 있다.

당 연구팀에서 개발한 고출력 증폭기 MMIC의 경우 GaAs HEMT 기술을 이용하여 대만의 Win-semiconductor사의 공정으로 제작되었으며, 약 12W의 최대 출력 특성을 가진다. 또한 다기능 집적회로인 corechip의 경우 MMIC 내에 3개의 RF 스위치와 3개의 증폭기, 그리고 6-bit 디지털 감쇠기와 6-bit 디지털 위상변위기가 포함되어 있어서, 초소형의 TR 모듈내부에서 레이더 제어 신호에 따라서 송신과 수신 경로를 변경하면서, 동시에 송/수신 신호의 위상과 크기를 조절할 수 있다. 이 corechip의 경우 전 세계적으로 개발된 X-대역 다기능 집적회로 중에서 성능면에서 최고 수준에 있는 것으로 평가되고 있다. 이 corechip은 GaAs HEMT 기술을 이용하여 구현되어 RF 성능이 아주 우수하며, 주요 성능을 <표 4>에 요약하였다. (그림 7)은 개발된 MMIC와 레이더 TR 모듈이다.



(그림 7) 레이더 TR 모듈용 MMIC

3. 밀리미터파용 MMIC

과거 2000년도에 40GHz 1W급 고출력 증폭기와 3.5dB 저잡음 증폭기 개발을 완료하였으며, 2001년도에는 60GHz 대역에서 4.0dB의 잡음지수를 갖는 저잡음 증폭기 MMIC와 25dBm 출력의 전력 증폭기 MMIC가 개발되었다.

이러한 경험을 바탕으로 2009년도와 2010년도에는 70/80/90GHz에서 동작하는 증폭기와 주파수 혼합기, 그리고 주파수 하향변환기 및 상향변환기 MMIC를 개발 하였다. 구현된 MMIC 칩의 성능을 요약하면 <표 5>과 같다.

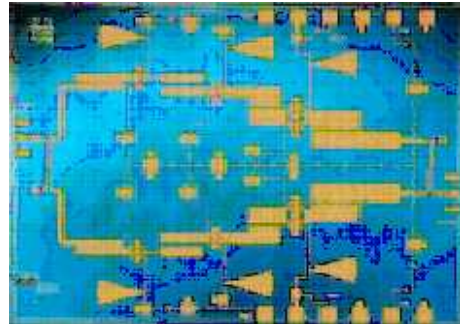
〈표 5〉 70/80/90GHz 대역 MMIC 개발 결과

고출력 증폭기	이득(dB)	최대출력전력(dBm)
80GHz HPA	21	21
70GHz HPA	12	21
저잡음 증폭기	이득(dB)	잡음지수(dB)
70/80GHz LPA	15	4.0
90GHz LNA	20	4.5
주파수변환기	이득(dB)	출력전력/잡음지수
80GHz 채배기	3	출력 13dBm
80GHz 상향변환기	8	출력 13dBm
80GHz 하향변환기	7	잡음지수 4.5dB
90GHz 혼합기	-12	출력 -10dBm

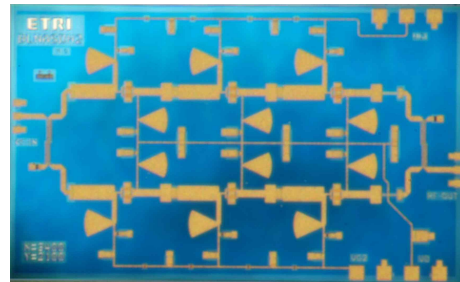
70/80/90GHz 대역은 미국과 유럽에서 2km 내외의 중거리 대용량 무선 전송 시스템으로 활용하고자 주파수 분배를 통하여 산업화하고 있는 주파수 자원으로써, 국내에서도 2010년도에 70/80GHz 대역에 상용 용도로 주파수를 분배하고 기술 기준을 마련하였다. 이 주파수 대역은 직경 30cm~60cm의 안테나를 포함한 소형 송수신 장치를 이용하여 수 Gbps의 전송속도를 구현할 수 있는 장점을 가지고 있으나, MMIC로 RF 부품을 구현해야 시스템 구현이 가능한 주파수 대역이기 때문에 송수신 시스템을 완성하기 위해서는 MMIC 칩의 확보가 필수적이다. (그림 8)은 미국의 Gigabeam사에서 상용하여 판매하고 있는 1.25Gbps 전송속도의 70GHz 무선 송수신 시스템의 사진이다. 이 시스템의 안테나 크기는 60 cm 직경인 것으로 알려져 있다. (그림 9)는 제작된 80GHz 대역 고출력 증폭기 MMIC 사진을 보였으며, (그림 10)은 70/80GHz 대역 저잡음 증폭기 MMIC 사진을 보였다. (그림 11)은 40GHz 대역에서 70/80GHz 대역으로 주파수를 체배할 수 있는 주파수 체배기 MMIC의 사진을 보였다.



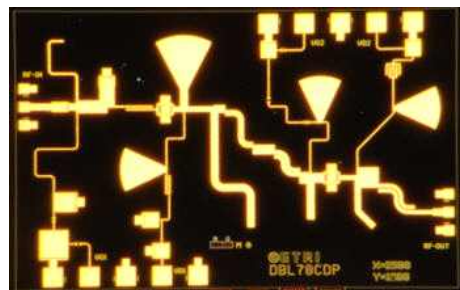
(그림 8) GigaBeam사의 70GHz 송수신 시스템



(그림 9) 80GHz 대역 전력 증폭기 MMIC



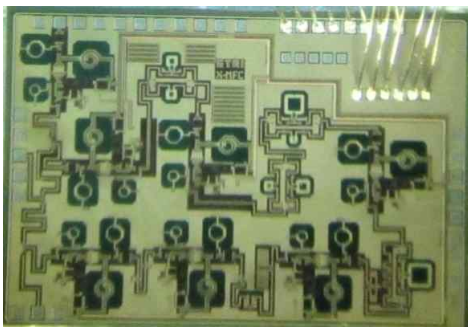
(그림 10) 70/80GHz 대역 저잡음 증폭기 MMIC



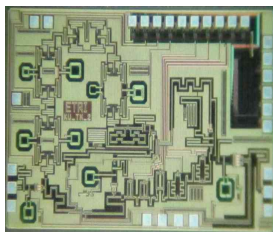
(그림 11) 70/80GHz 대역 주파수 체배기 MMIC

4. SiGe MMIC

다가능 칩의 수요로 인하여 당 연구팀에서는 2008년 도부터 차세대 위성/무선 시스템용 X-대역 및 Ku-대역 집적회로 기술 개발 사업을 통해 SiGe 공정을 이용한 다가능회로 MMIC를 개발하였다. 지금까지는 주로 GaAs 계열 반도체 공정을 이용하여 레이더 시스템용 다가능 회로 칩(corechip)과 위상배열 시스템용 송수신 칩 등이 개발되어 왔으나, 보다 저렴한 SiGe 공정을 이용한 다가능회로 RFIC 기술을 통한 개발이 진행 중이다. SiGe BiCMOS 공정은 RF 블록 뿐만 아니라 디지털 회로도 쉽게 구현이 가능하여 SOC 구현이 가능한 장점을 가지고 있다. 당 연구팀에서는 기존의 레이더 시스템용 corechip MMIC를 대체할 X-대역 다가능회로 MMIC(그림 11)와 Ku-대역 위상배열 통신 시스템용 상/하향 다가능 RFIC(그림 12), (그림 13) 참조)를 IHP사(독일)의 0.25um SiGe BiCMOS 공정을 이용하여 개발하였다. 구현된 MMIC 칩의 성능을 요약하면 <표 6>~<표 8>과 같다.



(그림 12) SiGe X-대역 다가능 MMIC



(그림 13) SiGe Ku-대역 상/하향 다가능 MMIC

<표 6> X-대역 다가능 MMIC 개발 결과

성능 파라미터	비고
주파수(GHz)	9~10
수신이득(dB)	23
송신이득(dB)	32
잡음지수(dB)	9
출력전력(dBm)	18 P _{sat}
감쇠제어 비트	5bit
위상제어 비트	5bit

<표 7> X-대역 하향 다가능 MMIC 개발 결과

성능 파라미터	비고
주파수(GHz)	10.7~12.75
수신이득(dB)	25
잡음지수(dB)	6
감쇠제어 비트	5bit
위상제어 비트	5bit

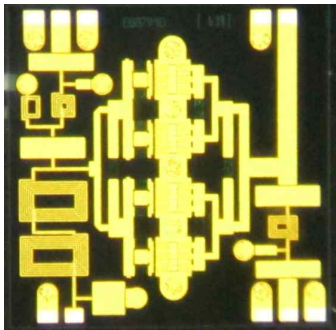
<표 8> X-대역 상향 다가능 MMIC 개발 결과

성능 파라미터	비고
주파수(GHz)	14~14.5
송신이득(dB)	19
출력전력(dBm)	18 P _{1dB}
감쇠제어 비트	5bit
위상제어 비트	5bit

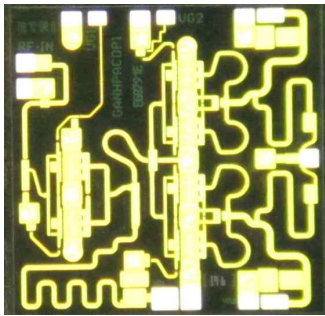
5. GaN 전력 MMIC

최근 가장 큰 연구 토픽으로 떠오른 GaN MMIC 개발 연구를 2010년도부터 수행하고 있다. 그동안 MMIC 공정 서비스를 제공하는 국내외 업체가 없었으나, 2010년도에 미국의 Triquint사가 우리 ETRI에 GaN MMIC 제조 공정을 제공하겠다고 하여 연구가 시작되었다. 현재 수행된 결과로는 이동통신 기지국용 20W급 고출력 증폭기 MMIC, X-대역 8W급 고출력 MMIC, 20GHz 위성 단말기용 3W급 고출력 증폭기 MMIC가 1차 제작되었으며, 측정결과에 있어 X-대역과 20GHz 대역 증폭기는 설계 결과보다 다

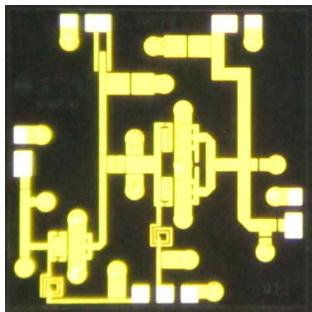
소 열화된 특성을 보이고 있지만, S-대역 이동통신 기지국용은 설계결과와 유사한 특성으로 측정되었다. 제작된 S-대역 GaN 전력 증폭기 MMIC는 20W 출력 전력에 40% 이상의 효율이 구현되었으며, X-대역 고출력 증폭기 MMIC는 8W 출력에 25% 정도의 효율이 구현되었다. 20GHz 대역 고출력 증폭기 MMIC는 3W 출력에 20%의 효율이 구현되었다. (그림 14), (그림 15), (그림 16)은 제작된 GaN 각 밴드별 전력증폭기이다.



(그림 14) GaN S-대역 전력 증폭기 MMIC



(그림 15) GaN X-대역 전력 증폭기 MMIC



(그림 16) GaN Ka-대역 전력 증폭기 MMIC

IV. 결론 및 전망

MMIC 기술의 발전은 기존 소자 설계 개념을 완전히 바꾸었다. 크기와 가격면에서 기존의 HMMIC보다 월등히 나은 특성을 나타내고 있으며 신뢰성 또한 우수하여 급속히 성장하고 있는 이동통신, 위성통신, 군수용 분야에 적용하고 있다. 따라서 지속적인 시장 경쟁력을 확보하기 위하여 부피와 가격 면에서 지속적인 소형화를 이루어야 한다. 고주파용 부품산업은 고집적을 위한 노력으로 계속적으로 초소형, 고성능화가 진행될 것이며 따라서 이러한 노력은 Ka-대역과 그 이상의 주파수에서도 효율적이고 진보한 MMIC 기술을 개발하는데 효과적이다. 또한, 다양한 새로운 개념들(multifunction MMIC's, mixed analog/digital MMIC's)의 등장과 새로운 재질의 MMIC 기술(SiGe, GaN 등)이 MMIC에 적용됨으로 점점 더 고주파 부품의 MMIC화는 필수적이라 하겠다. 이러한 MMIC 연구개발은 기술적 트렌드와 선진국들의 기술적 종속 탈피를 위하여 점차 MMIC의 그 중요성이 강조되고 있다.

● 용어해설 ●

하이브리드: MMIC 이전의 회로로 일반적인 soldering이나 wiring으로 연결된 전기적 회로를 통칭함.

능동소자(Active Device): 트랜지스터, 다이오드 등의 소자

수동소자(Passive Device): 커패시터, 인덕터, 저항, 전송선 등의 소자

S-대역: 2~4GHz의 주파수 영역

X-대역: 8~12GHz의 주파수 영역

Ku-대역: 12~18GHz의 주파수 영역

Ka-대역: 18~26GHz의 주파수 영역

약어 정리

dB Decibel

FET	Field Effect Transistor
Gbps	Giga Bit Per Sec.
HBT	Heterojunction Bipolar Transistor
HEMT	High Electron Mobility Transistor
HMIC	Hybrid Microwave Integrated Circuit
HPA	High Power Amplifier
IF	Intermediate Frequency
LAN	Local Area Network
LNA	Low Noise Amplifier
LO	Local Oscillator
MESFET	Metal Semiconductor FET
MMIC	Monolithic Microwave Integrated Circuit
MOS	Metal Oxide Semiconductor
RF	Radio Frequency

SOC System On a Chip

참고 문헌

- [1] 권영우, "Outline and Tendancy of the MMIC Technology," 서울대학교, 2000.
- [2] J.L. cazaux, "MMIC's for Space-born Systems: Status and Prospective," *GaAs IC Sym.*, 1994.
- [3] J.L. Cazaux et al., "How MMIC Technology is Improving for Satellite Transponders," *EuMC*, Jerusalem, Israel, Sept. 1997.
- [4] 특허청, "고주파 반도체 소자," 2004년 PM 보고서.