

〈主 題〉

# MMIC 기술 동향

이창석, 이재진, 편랑의  
(한국전자통신전자연구소)

□차 례□

- I. 서 론
- II. MMIC의 구조 및 특징
- III. MMIC의 응용분야
- IV. MMIC의 연구분야
- V. 연구방향

## I. 서 론

현대사회의 다양화와 전문화에 따라 신속한 정보교환의 필요성이 날로 증가하고 있으며 정보의 양 또한 급증하여 통신시스템은 더욱 고속화 되고 이에 따라 고주파회로의 수요가 급증하고 있다. 특히 이동통신 및 개인통신에 대한 수요는 예상을 초월하여 급증하고 있으며 급증하는 무선기기 시장에서 경쟁력을 확

보하기 위해서는 고주파회로의 소형경량화 및 저가격화를 최우선적으로 해결하여야만 한다. 이러한 요구에 따라 80년대부터 군수용 등 특수목적을 위해 연구 개발되어 오던 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)가 90년대에 들어 일반 상용 제품의 수요가 급증함에 따라 무선기기의 소형경량화 및 저가격화를 위해 연구되기 시작하였다.

고주파회로를 제작할때 전통적으로 사용하여온

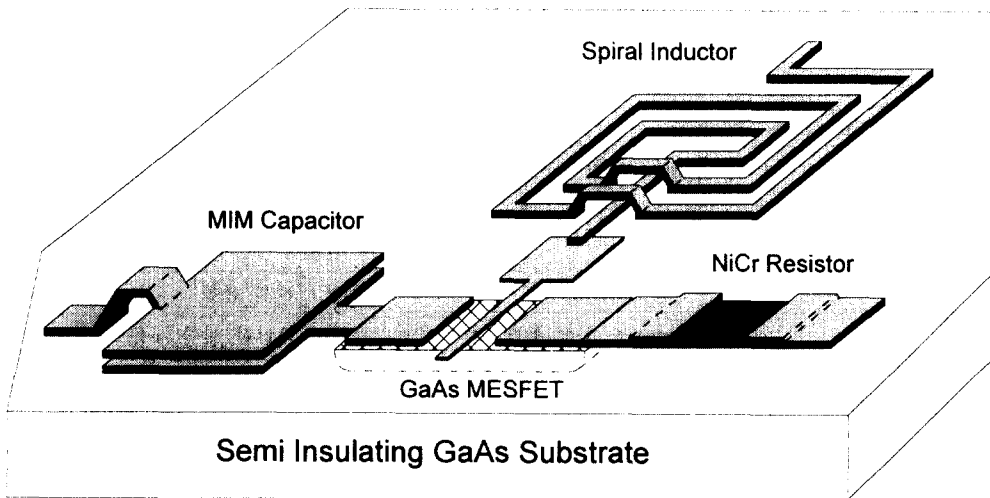


그림 1. MMIC 의 구조

HMIC(Hybrid Microwave Integrated Circuit)는 유전체 기판에 전송선 등의 형상을 새기고 그 위에 능동소자 및 수동소자를 장착시키는 방법을 사용하는데 반해, MMIC는 반도체기판 위에 능동소자와 수동소자뿐 아니라 각 단위소자의 연결까지도 일괄공정으로 동시에 제작하므로 크기가 작고 신뢰성이 높으며 특성이 균일하다.

또한 개별부품의 패키지가 따로 필요 없으므로 개별부품을 사용하는 경우에 비해 제작단가를 낮출 수 있다.

본 고에서는 MMIC의 설계 및 제작과정을 설명함으로써 MMIC의 개략적인 논의와 설계과정 및 소자공정에 대하여 알아보고, MMIC 기술의 국내외 기술동향을 살펴보고 향후 연구전망에 대하여 기술 한다.

## II. MMIC의 구조 및 특징

그림 1에 MMIC의 구조를 개념적으로 나타냈다. 능동소자의 한 예로 MESFET(Metal Semiconductor Field Effect Transistor)을 나타냈으며 수동소자로는 나선형(Spiral) 인덕터, 니크롬을 박막 형태로 증착시켜 제작하는 박막저항, 그리고 상층 배선금속과 하층 배선금속을 유전체를 가운데 두고 서로 겹치게 하여 제작하는 MIM(Metal-Insulator-Metal) 캐패시터를 나타냈다. MMIC 내의 배선금속은 두께가 0.5 ~ 4  $\mu\text{m}$  정도이며 선폭 또한 2 ~ 20  $\mu\text{m}$  정도의 소형이므로 저항이 크며 따라서 배선금속의 저항을 줄이기 위해 금(Gold)을 배선재료로 사용하는 것이 일반적이다. 배선 형태 중 주파수 특성을 향상시키기 위하여 배선

금속을 기판 바닥으로부터 2~3  $\mu\text{m}$  정도 띄워서 공기층을 절연층으로 사용하는 방식을 air-bridge라고 부르는데 그림 1의 나선형 인덕터에서 상층배선금속과 하층배선금속이 서로 교차하는 영역과 캐패시터의 한쪽 전극에 air-bridge가 사용되고 있음을 볼 수 있다.

표 1에 HMIC와 MMIC의 주요 차이점을 나타냈다. HMIC는 세라믹, fiber glass 등 유전체 기판 위에 개별 패키징된 능동소자 및 수동소자들을 부착하여 제작하나 MMIC는 능동소자 뿐 아니라 임피던스 정합 회로 및 바이어스 회로 등 필요한 모든 회로가 집적되어 있어 부가적인 회로 및 부품 수를 대폭적으로 줄일 수 있다. MMIC는 mm 단위의 크기인 반면 HIC는 cm 단위의 크기이므로 시스템의 소형경량화에 유리하고, 부품간 연결점 수가 줄어들어서 시스템의 신뢰성을 향상시킬 수 있고, 일괄공정에 의해 제작되므로 균일한 특성의 소자를 대량생산할 수 있다.

HMIC 회로설계와 MMIC 회로설계의 차이는 표 1에 나타낸 바와 같은데, HMIC 회로설계에서는 전송선과 수동소자의 사용에 있어서 넓은 범위의 값을 사용할 수 있어 비교적 제한이 없는 반면 MMIC 회로설계에서는 칩 크기의 한계 때문에 사용 가능한 소자의 최대값이 제한되어 있다. MMIC에 사용 가능한 수동소자의 최대값 사용범위는 동작주파수가 높아질수록 제한되는데 1 ~ 2 GHz 대역의 MMIC의 경우, 인덕터는 사용가능한 최대값이 30 ~ 40 nH 이며 커패시터의 사용가능한 최대값은 20 ~ 40 pF 이다[1]. MMIC에서의 수동소자는 그 크기가 매우 작아 손실이 크므로 저잡음증폭기 등에 사용할 경우 회로 설계

<표 1> MMIC와 MMIC의 비교

비교 항목		HMIC	MMIC
일반 특성	기판	Ceramic 등 유전체	GaAs 반도체
	능동/수동 소자	package된 chip 부품	on-chip component
	회로 크기	~ cm <sup>2</sup>	~ mm <sup>2</sup>
	제작 단가	소량 제작시 유리	대량 생산시 유리
	성능	Tuning을 통해 최대 성능 가능	특성이 균일한 대량 제품 가능
회로 설계	기능 집적도	단위기능별	관계없음
	사용가능 소자	광범위, 특정한 값	사용목적에 맞게 sizing 가능
	정합회로 설계	Chip 부품 (R,C) 및 전송선	R,L,C 등 lumped element
	loss	low	high
제작후 특성조정	가능	불가능	

에 어려움이 있다.

그러나 MMIC에서의 회로설계상 큰 장점으로는 능동소자를 자유롭게 선택할 수 있다는 점이다.

기존의 HMIC에서는 특정한 패키지에 실장된 능동소자 만을 사용하여야 하므로 선택에 자유도가 없는 반면 MMIC는 회로설계자가 임의로 능동소자의 크기를 조절할 수 있다. 따라서 이러한 장점을 이용하여 수동소자의 단점을 보완하는 설계가 가능하다[2].

### III. MMIC의 응용분야

무선통신 시스템은 통신 방식과 용도에 따라 구성이 다르지만 기본적으로 고주파 회로부는 그림 2와 같다. 안테나로부터 수신된 고주파 신호는 duplexer에 의해 수신 신호만 선택되고 저잡음증폭기(LNA : Low Noise Amplifier)에 의해 증폭된 후 수신부 주파수혼합기(DMIX : Down-conversion Mixer)를 통해 중심주파수를 낮춘 다음 중간주파수 증폭기(IF Amp.)로 증폭하여 중간주파수 신호처리부로 보내진다. 송신될 신호는 송신용 주파수혼합기(UMIX : Up-conversion Mixer)를 통해 중심주파수를 높이고 구동증폭기(Driver Amplifier)와 전력증폭기(Power Amplifier)로 증폭한 다음 duplexer를 통해 안테나로 송출한다. 주파수혼합기를 통해 신호주파수를 낮추거나 높이기 위해서는 국부발진기(LO : Local Oscillator)가 필요하며 시스템에 따라 하나의 국부발진기 신호를 수신부와 송신부에 공통으로 사용하는

경우도 있다.

그림 2에 나타난 각 기능회로들은 수신부 MMIC (Rx MMIC), 송신부 MMIC(Tx MMIC) 그리고 전력증폭기로 집적화 하는 것이 일반적이다. 송신 출력이 100 mW 이하인 경우에는 전력증폭기를 송신부 MMIC에 포함시키는 경우도 있으며, 시간분할 송수신 방식의 시스템용 MMIC의 경우에는 전력증폭기와 저잡음증폭기를 집적화 하는 경우도 있다. 일본의 PHS(Personal Handy-phone System)의 경우 5개의 IC로 구성되어 있으며 이중 2 개가 GaAs MMIC이며 [3], Qualcomm 사가 공급하는 디지털 겸용 전화기에도 2 개의 MMIC가 사용되고 있다.

그림 3에 MMIC화가 선결되어야 할 무선 통신 시스템의 사용 주파수와 상용화 시기를 나타냈다. 3 GHz 이하의 주파수를 사용하는 시스템과 10 GHz 이상을 사용하는 시스템 등 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 이동성과 대중성을 강조하는 휴대전화, TRS 및 무선 LAN 등은 기술적으로 구현이 용이한 3 GHz 이하를 사용하고 있으며 이들 시스템은 이 주파수를 사용하여 FPLMTS 및 UPT로 발전해갈 것으로 전망된다. 또한 화상전송 및 고속 데이터 전송을 위해서는 전송주파수를 높여야만 하므로 무선 LAN의 경우에도 2.4 GHz 시스템으로부터 18 GHz, 60 GHz 시스템으로 점점 전송주파수가 높아질 것이며[4] 전송 데이터의 증가에 따라 사용 주파수는 100 GHz 대역의 주파수 까지도 사용될 전망이다. 이들 시스템이 상용화 되기 위해서는 부품의 대량생산이 가능해야

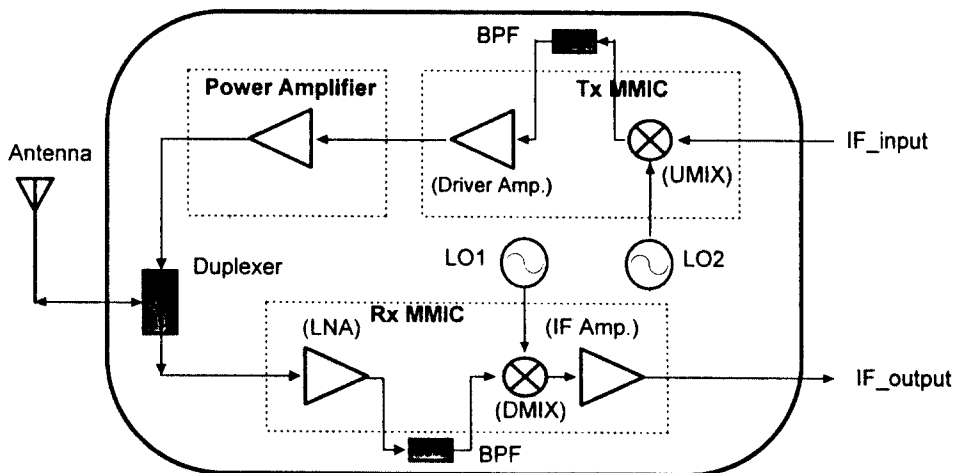


그림 2. 무선통신 시스템의 고주파 회로부

IV. MMIC의 연구분야

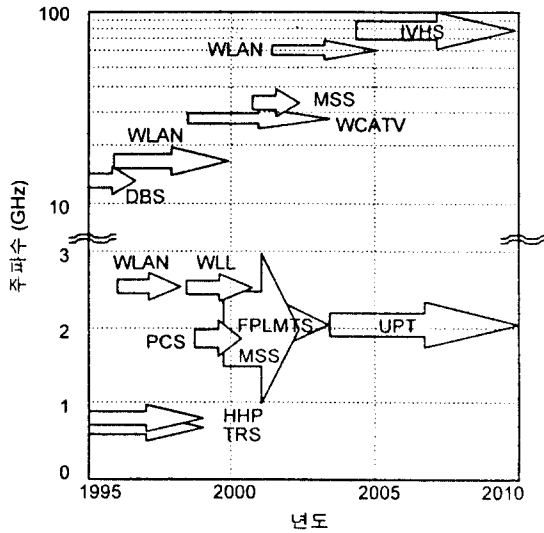


그림 3. MMIC를 필요로 하는 무선통신 시스템의 사용 주파수 및 상용화 전망

하고 단말기의 가격이 저렴해야 하므로 MMIC의 개발이 필수적이다.

그림 3. MMIC를 필요로하는 무선 통신 시스템의 사용 주파수 및 상용화 전망  
 DBS : Direct Broadcasting System, FPLMTS : Future Public Land Mobile Telecommunication System, HHP : Hand-held Phone, IVHS : Intelligent Vehicle High-way System, MSS : Mobile Satellite Service, PCS : Personal Communication Service, TRS : Trunked Radio Service, WCATV : Wireless CATV, WLAN : Wireless Local Area Network,

MMIC의 개발을 위해서는 소자제작기술, library 기술 등의 기본 기술로부터 회로설계기술 및 고주파 패키지 기술 등 다 방면의 기술이 종합적으로 필요하다. 본 장에서는 MMIC의 개발을 위해 필요한 기술을 분야별로 정리하였다.

4-1 소자 제작 기술

MMIC를 제작하기 위한 소자로는 능동소자와 수동소자로 나눌 수 있으며 수동소자에 대한 기술은 어느 정도 완성되어 있다고 보이며 잡음 특성, 이득 특성, 선형성 및 사용주파수 향상을 위하여 새로운 능동소자들에 대한 연구가 진행되고 있다.

MMIC의 초기에 사용되어 현재까지도 가장 많이 사용되고 있는 소자는 GaAs MESFET이다.

MESFET은 반도체와 금속간의 전위장벽을 이용하여 반도체내의 전류통로를 조절함으로써 증폭기능을 하는 소자로 제작공정이 간단하고 기존의 실리콘 bipolar 트랜지스터에 비해 주파수 및 잡음 특성이 우수하다. 3 GHz 이하의 주파수에서 가장 경쟁력이 있다고 판단되며 게이트 길이 0.5  $\mu\text{m}$  의 E/D (Enhancement / Depletion) 모드 MESFET을 이용한 휴대전화기용 MMIC가 상용화 되어 사용되고 있고 수년내에 PCS 용 MMIC 역시 상용화 될 전망이다 [5]. 보다 높은 주파수에서의 MMIC에 이용하기 위하여 HEMT(High Electron Mobility Transistor)가 연구되고 있다. 서로 성질이 다른 반도체 박막층을 이용하여 캐리어를 공급하는 층과 전류가 흐르는 층을 분리함으로써 캐리어의 이동도 (mobility) 를 향상시키는 구조로 고주파 잡음특성이 우수하다. 집속된 전자선을 이용하여 0.25  $\mu\text{m}$  게이트 길이의 능동소자를 제

<표 2> 기능회로별 능동소자 채용의 장단점

	Bipolar	BiCMOS	CMOS	MESFET	HEMT	HBT
LNA	fair	fair	Not so good	good	very good	very good
Mixers	Not so good	Not so good	Not so good	good	good	good
Power Amp.	poor	poor	poor	good	very good	very good
RF SW	N/A	good	N/A	fair	fair	N/A
VCO	good	good	Not so good	fair	good	good
Pre-scaler	very good	very good	N/A	fair	fair	very good
Analog	good	very good	good	fair	fair	good

작하여 사용하고 있으며 60 GHz이상의 MMIC가 발표되어 있다[6]. 최근에 와서 MMIC에 이용되고 있는 소자로는 HBT (Hetero-junction Bipolar Transistor)가 있다. 기존의 실리콘 bipolar 트랜지스터와 기본적인 동작원리는 같지만 서로 성질이 다른 반도체 박막층을 이용하여 기생전류를 억제함으로써 주파수 특성이 우수하다. 또한 MESFET에 비해 낮은 주파수에서의 회로정합이 용이하여 광대역 회로에 유리하다.

이 밖에도 실리콘 소자의 특성향상에 따라 실리콘 bipolar 트랜지스터, CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor), BiCMOS (Bipolar-CMOS) 등의 소자가 연구되고 있다. 표 2에 각 기능회로에 따른 소자별 장단점을 비교하였는데 고주파 회로의 중요한 특성이 잡음특성과 전력효율이라는 점을 감안할 때 현재 기술수준에서는 화합물소자가 유리함을 알 수 있다.

4-2 소자 모델링 기술

MMIC의 설계를 위해서는 소자의 물리적 구조와 전기적 특성을 서로 연관지어 주는 data-base가 필요한데 이를 MMIC library라 한다. 전기적 특성은 회로 모델 및 파라미터로 나타내며 각 수동소자와 능동소자의 구조에 따라 계산 가능하여야 한다. 수동소자의 모델링은 능동소자의 모델링에 비해 완벽하게 연구되었다고 판단되며 능동소자의 모델로는 소신호 모델, 대신호 모델 및 잡음모델이 있다.

MESFET과 HEMT에 대한 소신호 등가회로 모델은 그림 4에 보인 바와 같은 13 파라미터 모델이 사용되고 있으며 주파수가 더 높아지는 경우에도 게이트, 소오스, 드레인 단의 인덕터가 전송선으로 바뀌는 변형 만으로 사용 가능하다. 소신호 모델링 분야에서 현재 연구되고 있는 것으로는 독립변수 모델이다[7]. 독립변수 모델이란 그림 4의 13 파라미터가 서로 연관성이 있으므로 각 파라미터의 연관성을 고려하여 독립변수를 추출하고 이 독립변수의 공정에 따른 분산정도를 회로 설계에 도입함으로써 생산 수율을 높일 수 있는 설계가 가능하다.

대신호 모델로는 JFET(Junction Field Effect Transistor)의 원리를 변형한 모델들이 사용되고 있으며 대표적인 것으로는 Curtice 모델[8], Statz 모델[9], Materka 모델[10] 등이 사용되고 있으나 발전기의 설계 및 전력증폭기의 설계에 있어 만족스러운 모델은 없는 상태이다. 그 밖에도 MMIC 제작회사가 제안하여 사용하고 있는 TOM 모델[11], 고주파 설계용 소프트웨어 제작사가 제안하고 있는 Eesof 모델[12] 등이 있으며 최근에는 동작영역의 모든 드레인 전압과 게이트 전압마다 전류특성 및 고주파 특성을 측정하여 두고 이를 simulation에 이용하는 모델도 제안되어 있으나[13] 회로가 복잡해질 경우 계산속도가 늦어지는 단점이 있다.

잡음모델로는 고전적인 계산을 토대로 잡음특성을 모델링하는 방법[14]과 잡음온도를 정의하여 사용하

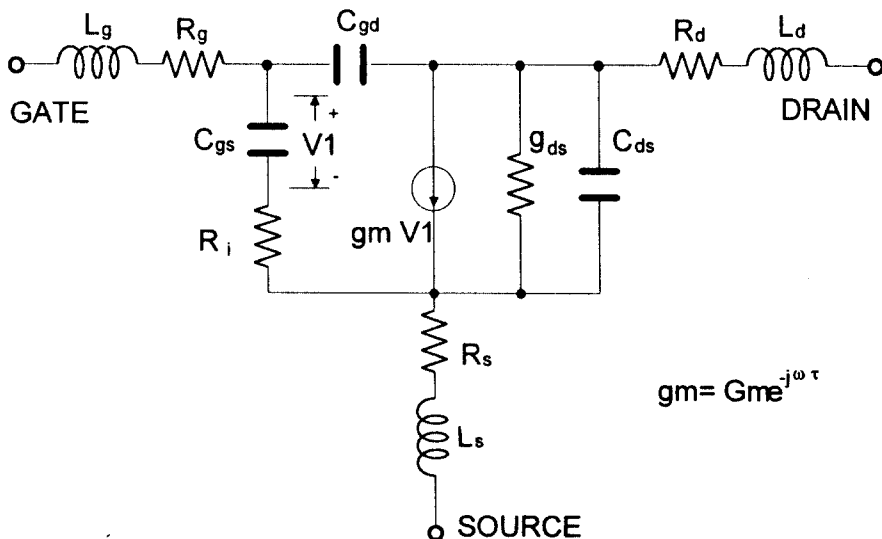


그림 4. MESFET과 HEMT에 대한 소신호 등가회로 모델

는 모델[15] 이 있는데 잡음온도를 정의하는 방법이 사용하기 간단하면서도 주파수 특성 및 드레인 전류에 대한 특성을 잘 설명할 수 있다. 최근 들어서는 HEMT의 누설전류에 의한 특성을 모델링 하는 연구 결과가 발표되어 잡음특성을 보다 정확하게 예측할 수 있게 되었다[16]. 잡음특성은 고주파 부품에서 중요한 특성이므로 잡음모델을 이용하여 사용 주파수 및 용도에 따라 최적의 능동소자 구조를 결정하려는 연구가 최근 들어 큰 연구 분야로 떠오르고 있다[17].

4-3 MMIC 회로 연구

MMIC는 HMIC에 비해 능동소자를 많이 사용할 수 있고 능동소자의 구조를 회로설계자가 자유롭게 선택할 수 있다는 장점을 충분히 이용하여야만 HMIC에 비해 성능이 우수한 고주파 부품을 개발할 수 있으므로 MMIC 특유의 설계 기술이 필요하다. 잡음모델을 이용한 최적 능동소자 구조 및 바이어스 선정은 MMIC 설계의 대표적인 예이며[17], Gilbert cell을 이용한 주파수혼합기 설계[18], cascode 구조를 이용함으로써 선형성을 향상 시키는 설계[19], 부 저항회로를 사용하여 회로의 손실을 보상하는 설계 및

능동 인덕터를 사용하는 방법 등은 MMIC 특유의 설계 기법이라고 볼 수 있다.

MMIC의 집적도를 높이기 위하여 단위소자간의 간격을 좁혀감으로써 발생하는 상호간섭을 효과적으로 제거하는 설계 기법이 필요하며 경우에 따라서는 상호간섭을 회로설계에 이용할 수 있는 설계 기법이 필요하다.

동작 주파수가 높아짐에 따라 파장이 짧아져서 일반적인 HMIC기법으로 제작하기 힘들게 되며 이러한 영역에서 MMIC의 역할이 기대된다.

4-4 고주파 패키지 연구

무선통신 시스템의 대중화를 위해서는 단말기의 제작단가를 낮추어야 하므로 전통적으로 고주파 부품의 패키징에 사용되어온 세라믹 패키지는 제작단가가 높아 사용하기 어렵게 되었다. 따라서 저가의 플라스틱 패키지를 MMIC에 도입하고 있다. 현재 상용화된 2 GHz 대역의 MMIC는 대개 플라스틱 패키지를 사용하고 있으며 12 GHz 대역의 DBS수신용 MMIC에서도 플라스틱 패키지를 사용하고 있다. 높은 주파수에서 플라스틱 패키지를 사용하기 위해서는 피키지

<표 3> 상용화 된 휴대전화기용 수신부 화합물반도체 MMIC

항 목	상용화 된 MMIC					국내연구
	Triquint	Raytheon	Motorola	RFMD	Anadigics	
제작회사	Triquint	Raytheon	Motorola	RFMD	Anadigics	ETRI
모델 명	TQ-9223	RMDC-0900	MRFC-200 1	RF-9906	AWR-0900	ESM-0162
사용 Technology	GaAs MESFET	GaAs MESFET	GaAs MESFET	GaAs MESFET	GaAs MESFET	GaAs MESFET
기능 집적도	LNA + Mixer + LO buffer	LNA + Mixer + LO buffer + IFA x2	LNA + Mixer	LNA + Mixer + LO buffer + IFA x2	LNA + IR filter + Mixer + IF Amp.	LNA + mixer + LO buffer + IFA x2
LNA 잡음지수 (dB )	1.8	1.7	-	1.5	-	1.6
Rx 잡음지수 (dB)	2.5	3.7	-	2.8	3	2.8
Gain (dB)	20	26	23	26	15	35
IIP3 (dBm)	-11	-6	-33	-8	-5	-14
전원전압 (V)	3.3	3.6	2.7~5.0	3.6	5	3.3
Current (mA)	10	40	4.7	39	15	22.5
Ref.	[20]	[5]	[21]	[22]	[23]	[24]

자체의 설계도 중요하지만 정확한 모델링에 대한 연구도 절실하다.

## V. 연구방향

MMIC의 연구방향은 시스템의 발전과 매우 밀접한 관련이 있다. 사용 주파수 별로 무선 통신 시스템을 구분하여 보면 음성 및 저속 데이터를 통신하는 것을 주목적으로 하는 3 GHz 이하의 이동통신 시스템과 화상전송 및 고속 대용량 국간 전송을 목적으로 하는 10 GHz 이상의 고속 무선통신 시스템이다.

현재 상용화 되어 있는 1 GHz 대역 휴대전화 시스템과, 향후 수년내에 상용화 될 2 GHz 대역 개인통신 시스템 등에 사용되는 MMIC는 이미 고 집적화, 성능 극대화와 함께 수율향상을 통한 경쟁력 향상에 대한 연구단계이며 이미 다수의 MMIC가 상용화 되어 있다[5,20-23]. 표 3에는 상용화된 휴대전화기용 수신부 MMIC의 특성을 나타냈다. 국내에서도 한국 전자통신연구소가 CDMA/AMPS겸용의 RF chipset을 개발한바 있으며[24-26] 표 3에 수신부 MMIC의 결과를 비교하였다. 대중성을 위해서는 저 가격화가 필수적이며 따라서 제작단가가 낮은 MESFET을 이용한 MMIC가 주종을 이루고 있으며 전원전압은 3 V 수준으로 낮아져 있다. 그러나 아직까지 규격이 확정되어 있지 않은 상태이며 지역에 따라 전파환경이 다르므로 독자적인 MMIC 개발 능력을 확보하여야만 경쟁력을 확보할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 한국전자통신연구소, 초고주파 집적회로설계 지침서 Versin 2.0, 1993.8
- [2] S Hara, et al., "Miniaturized low noise variable MMIC amplifiers with low power consumption for L-band portable communication applications," IEEE Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuit Symposium, pp. 67-70, 1993.
- [3] Steven J.Sharp, "Crosstalk", Microwave & RF, pp.49 - 50, Oct., 1995
- [4] Y.Takimoto, M.Kotaki, "Recent development of mm-wave applications in Japan," Microwave Journal, pp.214-226, May 1966.
- [5] Raytheon, microelectronics data sheet, 1996,25
- [6] I.Telliez, M.Camiade, P.Savary, P.Bourne, Yaonaba, "Millimeter wave phase locked oscillator for mobile communication systems," IEEE Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuit Symposium, pp. 49-52, 1995.
- [7] J.Carroll, K.Whelan, S.Pritchett, D.R.Bridges, "FET statistical modeling using parameter orthogonalization," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. 44, pp. 47-55, Jan. 1996.
- [8] W.R.Curtice, "A MESFET model for use in the design of GaAs integrated circuits," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. 28, pp. 448-456, May 1980.
- [9] H.Statz, P.Newman, I.W.Smith, R.A.Pucel, [9] H.A.Haus, "GaAs FET device and circuit simulation in SPICE," IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 34, pp. 160-169, 1987.
- [10] A.Materka, T.Kacprzak, "Computer simulations of large-signal GaAs FET amplifier characteristics," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. 33, pp. 129-135, Feb. 1985.
- [11] A.McCamant, G.D.McCormack, D.H.Smith, "An improved GaAs MESFET model for SPICE," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. 38, pp. 822-824, June 1990.
- [12] A.Sango, O.Pitzalis, L.Lerner, C.McGuire, P.Wang, W.Childs, "A GaAs MESFET large-signal model for nonlinear analysis," IEEE Tech Dig. MTT-S, pp.1053-1056 1988.
- [13] D.Root, S.Fan, J.Meyer, "Technology independent non quasi-static FET models by direct construction from automatically characterized device data," European Microwave Conference Proceedings, pp. 927-932 1991.
- [14] R.A.Pucel, H.A.Haus, H.Statz, "Signal and noise properties of gallium arsenide microwave field-effect transistors," Advabces in Electronics and Electron Physics, Vol. 38, pp.195-265, 1974.
- [15] M.W.Pospieszalski, "Modeling of noise parameter of MESFET's ans MODFET's and their frequency and temperature dependence," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. 37, No. 9, pp.1340-1350, Sept. 1989.
- [16] R.Reuter, S. van Wassen, F.J.Tegude, "A new noise model of HFET with special emphasis on

- gate-leakage." IEEE Electron device letters, Vol. 16, No.2, pp.74-76, Feb. 1995.
- [17] B.-U.H.Klepser, C.Bergamaschi, M.Schefer, C.G.Diskus, W.Patrick, W.Baechtold, "Analytical bias dependent noise model for InP HEMT's," IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 42, No. 11, pp. 1882-1889, Nov. 1995.
- [18] A.Boveda, F.Ortigoso, "GaAs monolithic single-chip transceiver," IEEE Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuit Symposium, pp. 31-34, 1995.
- [19] M.Muraguchi, M.Nakatsugawa, H.Hayashi, M.Aikawa, "A 1.9 GHz-band ultra low power consumption amplifier chip set for personal communications," IEEE Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuit Symposium, pp. 145-148, 1995.
- [20] Triquint, Semiconductor data sheet , 1996,3,17.
- [21] Motorola ,RF product data sheet, Internet 1996,7,5.
- [22] RF micro devices ,RF/Wireless communication component data sheet, 1994,12,13.
- [23] Anadigics ,data sheet 1994,6,16.
- [24] C.-H. Kim, M.-G. Kim, I.-G. Hwang, C.-S. Lee, J.-W. Yang, C.-S. Park, K.-S. Yoon, K.-E. Pyun, H.-M. Park," A 3.3V Front-end receiver GaAs MMIC for the digital/analog dual-mode hand-held phones," IEEE Tech. Dig. GaAs IC Symp., pp. 55-58, 1995.
- [25] M.-G. Kim, C.-H. Kim, I.-G. Hwang, E.-G. Oh, J.-W. Yang, C.-S. Lee, C.-S. Park, J.-L. Lee, K.-E. Pyun, H.-M. Park," A 3.3V GaAs MESFET monolithic driver amplifier for digital/analog dual-mode hand-held phones," IEEE International Conference on Compound Semiconductor, No. 145, pp. 743-746, 1995.
- [26] S.-J. Maeng, S.-S. Chun, J.-L. Lee, C.-S. Lee, K.-J. Youn and H.-M. Park,"A GaAs power amplifier for 3.3V CDMA/AMPS dual-mode cellular phones," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 43, pp.2839-2844, Dec. 1995.





이 창 석

- 1984년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1986년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1996년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)
- 1986년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구소 책임연구원
- 관심분야 : 고속 디지털 IC 설계 및 고주파 IC 설계 관련 모델링 및 측정분석



이 재 진

- 1975년 2월 : 공주사범대학 과학교육 물리전공(이학사)
- 1982년 8월 : 동국대학교 물리학과 고체물리전공(이학석사)
- 1987년 2월 : 동국대학교 물리학과 고체물리전공(이학박사)
- 1991년 6월 ~ 1992년 6월 : 미국 MIT 전기전자 컴퓨터 공학과 객원연구원
- 1987년 2월 : 한국전자통신연구소 책임연구원, 화합물회로연구실 실장
- 관심분야 : 화합물반도체 재료성장 및 특성분석, 초고속 반도체소자, 고집적화합물반도체 공정



편 광 의

- 1977년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1980년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1990년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
- 1980년 2월 ~ 1981년 2월 : 연세대학교 전자공학과 연구조교
- 1981년 3월 ~ 1984년 5월 : 해군사관학교 전자공학과
- 1992년 5월 ~ 1993년 5월 : 동경대학교 전지전자공학과 공동연구원
- 1984년 6월 ~ 현재 : 한국전자통신연구소 책임연구원, 화합물반도체연구 부장
- 관심분야 : 화합물반도체 관련 고주파 및 광소자