

다중 모드/대역 CDMA 단말기용 SiGe RFIC 기술동향

이근호* · 김준호**

*광운대학교 정보통신연구원
**에스엔에스테크놀러지(주)
기술연구소

I. 서 론

최근 휴대전화는 비즈니스는 물론 일상생활에서도 반드시 휴대해야할 필수품이 되어 단말기 보급금 제도의 폐지에 따른 영향에도 불구하고 휴대전화 보급증가는 계속되어 전체 휴대전화 가입자 수가 현재 2,600만을 넘고 있다. 우리나라에서 최초로 상용화된 CDMA 방식의 경우는 중국 및 동남아, 그리고 중남미와 북미 등 세계 각 국에 보급이 확산되고 있어 단말기의 수요 또한 증가하고 있다. 단말기 수요증가와 더불어 소비자 층의 서비스 요구도 고급화됨에 따라 휴대전화 단말의 다 기능화, 고성능화, 소형/경량화 등이 요구되고 있다.

이러한 기술적 요구조건을 만족하면서 저 가격을 유지, 시장경쟁력을 갖는 단말기의 하드웨어는 성숙 단계에 접어든 저주파대역의 디지털 및 아날로그 기술보다는 아직도 많은 기술개발을 요구하는 RF 종단기술에 좌우된다.

단말기용 RF 종단기술 중 최근의 두드러진 특징은 하나의 단말기로 여러 통신방식의 서비스를 수용할 수 있는 다중 모드/밴드 방식의 요구로 기존의 개별소자를 이용 PCB상에 회로를 구현하는 Hybrid 방식보다는 하나의 칩에 여러 구성요소를 모듈화 하는 RFIC를 필요로 하고 있다.

따라서 현재 상용화된 이동통신 주파수 대역에서 갈륨비소(GaAs)에 버금가는 성능을 유지하며 실리콘과 같은 공정에 의한 대량생산을 통해 저 가격을 형성할 수 있는 SiGe 트랜지스터를 이용한 RFIC

에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 고에서는 다중 모드/대역 CDMA 단말기용 RFIC 기술 중 SiGe이 그 우수성을 인정받고 있는 RF 모듈의 상용화된 기술을 소개하고자 한다.

II. SiGe 반도체 기술

SiGe 트랜지스터는 실리콘에 비하여 높은 이동도와 낮은 밴드 갭을 갖는 게르마늄 혼합물을 전계 효과 트랜지스터의 채널 영역 및 쌍극성 트랜지스터의 베이스 영역에 도입함으로써 기존의 실리콘 트랜지스터보다 향상된 RF 성능을 갖는다. 이러한 향상된 성능과 더불어 표준 실리콘 공정에 따른 200mm의 웨이퍼를 이용한 대량생산 및 높은 안정성과 신뢰도를 갖는 공정기술은 SiGe RFIC를 무선기기 RF 종단응용에 있어 가격-성능의 최적합 트레이드-오프를 가능케 한다^[1].

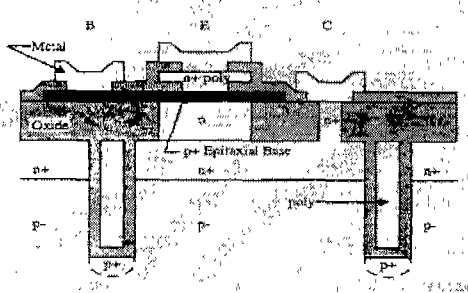
SiGe 반도체 기술의 가장 큰 장점으로는 향상된 초고주파, 초고속 특성을 갖는 HBT(Heterojunction Bipolar Transistor) 공정기술을 기존의 실리콘 CMOS 공정기술과 결합 통신시스템의 아날로그, 디지털, 그리고 RF회로를 하나의 칩에 통합된 회로(systems-on-chip)로 구현이 가능한 BiCMOS 기술에 있다. 상용화에 가장 앞선 IBM사의 5HP BiCMOS 기술을 살펴보면 200mm(8 inch) 웨이퍼를 기반으로 SiGe HBT 기술을 ASIC 가능한 CMOS 기술과 표준 CMOS 공정보다는 4단계, 표준 BiCMOS 공정보다는 한 단계 더 부가적 공정을 통하여 결합할 수 있

<표 1> IBM사의 5HP BiCMOS 기술

소자 종류	소자	특성값
NPN SiGe HBT	표준	$f_m/x_{max}=47/65$ GHz
	고 항복	$f_m/x_{max}=25/55$ GHz
FET	NFET	$L_{eff}=0.39 \mu m$
	PFET	$L_{eff}=0.38 \mu m$
다이오드	Schottky	$V_f = 0.31$ V
	Varactor	$C_j = 1.2$ fF/ μm^2
	PIN	$C_j = 0.25$ fF/ μm^2
	ESD	HBM, 2000V
커패시터	MIM	$C = 0.7$ fF/ μm^2
	Poly/N+ Si	$C = 1.5$ fF/ μm^2
인덕터	Thick last metal	$L = 1.0nH$, $Q = 17@5$ GHz
저항		$R_s(\Omega/sq)$ TCR(ppm/deg)
	Poly Si	220 -75
	Poly Si1	340 -275
	Si X - tal	25 1940
	Si X - tal	82 050
Si X - tal	17 50300	

다^[2]. <표 1>은 IBM사의 5HP BiCMOS 기술을 요약한다.

SiGe HBT는 Si과 SiGe의 에너지 대역간극 차이를 이용하여 이중 접합의 구조를 갖는다. 이중접합의 에너지 대역 차이가 대부분 전자 대에 형성되므로, 에미터에서 베이스로의 전자 주입은 증가하는



[그림 1] SiGe HBT의 대표적 단면도

반면, 베이스에서 에미터로의 정공 주입이 감소되어 전류이득이 증가하게 된다. [그림 1]은 SiGe HBT의 대표적 단면도를 보여준다.

현재 상용화된 SiGe HBT는 크게 두 가지로 미국의 IBM사^[3]를 주축으로 개발된 표류 전계(drift field) BJT 방식과 독일의 Daimler사^[4]를 주축으로 한 III-V HBT형 방식이 있다.

표류 전계 BJT 방식은 베이스막막내의 게르마늄 농도를 에미터 접합경계부터 컬렉터 접합 면까지 선형적으로 증가시켜 에너지 대역 간극의 선형적인 변화로 말미암아 베이스로 주입된 전자가 표류 전계에 의해 가속되어 베이스 천이 시간(base transit time)의 감소와 그에 따른 전류이득의 증가도 얻을 수 있는 방식이다^[5].

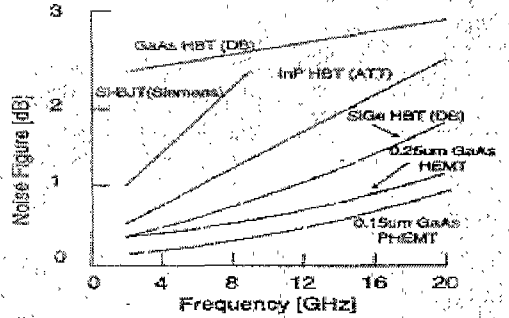
III-V HBT형 방식은 실리콘 BJT의 불순물 농도 분포와는 달리 GaAs HBT와 같이 에미터보다 훨씬 큰 균일한 베이스 불순물 농도에 의한 얇은 베이스를 이용함으로써 저항과 천이 시간을 감소시킬 수 있고 베이스 폭 변조 효과(Early effect)를 줄일 수 있다^[5].

SiGe HBT는 실리콘 BJT에 비하여 낮은 전류 밀도에서 높은 전류이득(2 GHz에서 $\beta > 100$) 및 높은 차단주파수를 가질 수 있어 고주파 저 전력소비의 회로 설계가 가능하다. 또 높은 전류이득에 의한 입력저항의 향상 및 낮은 잡음지수(2 GHz에서 $NF < 0.8$ dB)는 저잡음 증폭기(LNA)의 제작을 용이하게 한다^[6]. [그림 2]는 여러 RFIC용 트랜지스터 기술의 잡음지수(NF) 비교를 보여준다^[7].

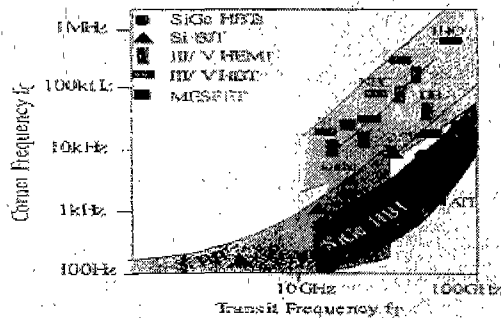
또 낮은 1/f 코너주파수(약 370 Hz)는 낮은 위상 잡음을 갖는 VCO(Voltage Controlled Oscillator)의 제작을 가능케 한다. [그림 3]은 여러 RFIC용 트랜지스터 기술의 코너주파수 비교를 보여준다^[8].

또 높은 베이스 도핑농도에 기인한 실리콘 보다 높은 Early 전압은 결과적으로 높은 출력저항을 갖게 해 안정된 전력 증폭기의 설계를 가능케 한다^[9].

III. 다중 모드/대역 SiGe RFIC



[그림 2] RFIC용 트랜지스터 기술의 잡음지수 비교



[그림 3] RFIC용 트랜지스터 기술의 코너주파수 비교

현재 상용화된 RFIC용 SiGe HBT는 콜렉터 영역을 선택적으로 도핑 주입(selectively implanted collector; SIC) 함으로써 낮은 항복(breakdown) 전압(BVCEO < 3 V)과 높은 차단주파수(> 50 GHz)를 갖는 저 전력소비 소자와 SIC를 사용하지 않는 높은 항복 전압(BVCEO > 6 V)과 낮은 차단주파수(< 30 GHz)를 갖는 전력용 소자로 분류된다^[8].

이러한 우수한 RF특성을 이용하여 개발된 SiGe RFIC로는, 독일 Temic사의 GSM 단말기용 3단 전력 증폭기 모듈, 캐나다 SiGe Semiconductor사의 Bluetooth용 전력 증폭기, 영국 Maxim사의 이동 통신용 저 잡음 증폭기, 미국 Stanford Microdevices사의 주파수 혼합기(Mixer), 독일 Infineon사의 1-10 GHz 대역 전압조정 발진기 등을 들 수 있다^[9].

낮은 잡음지수와 저 전력소비는 SiGe RFIC의 가장 큰 장점으로 AMPS/Cellular/PCS용 이중대역 삼중모드의 LNA-Mixer 모듈이 최근에 상용화되고 있다. 표2는 IS-98C 에 규정되어진 Cellular 및 PCS용 단말기 수신단 규격 및 그에 따른 성능 요구조건으로, 규격을 만족시키기 위한 LNA 및 Mixer 성능을 고려하면 현재의 실리콘 BiCMOS나 CMOS RFIC 기술로는 LNA-Mixer 모듈구현이 어려움을 알 수 있다. 따라서 앞에서 언급한 바와 같이 고성능을 유지하며 저 가격을 형성할 수 있는 SiGe RFIC가 GaAs RFIC의 가장 유력한 대안으로 떠오르고 있다.(칩 한 개당 가격이 US 2달러 이하)

AMPS/Cellular/PCS용 이중대역 삼중모드의 SiGe LNA-Mixer 모듈 상용화의 선두주자로는 MAXIM사의 MAX2323으로 LNA의 경우 Cellular(PCS) 밴드에 대하여 3(2)가지 이득조정이 가능하며 IIP3를 +5dBm에서 +13dBm으로 조정 가능한 특징을 가지고 있다. 그 다음으로 RFMD사의 RF2477 및 CONEXANT사의 CX74004으로 볼다 LNA의 이득과 IIP3를 조절할 수 있는 기능을 갖고 있으며, 특히 CX74004은 PCS 대역에서도 LNA bypass 기능을 가지고 있는 특징이 있다.

한국의 S&S Technologies사와 캐나다의 SiGe Semiconductor사가 공동 개발한 Rx1924는 [그림 4]에서 보는 바와 같이 Cellular 대역 과 PCS 대역이 하나의 IF 필터를 사용하고 칩 내부의 주파수 변환 기능을 이용 수신단 VCO 신호를 송신단에서 이용할 수 있으며 전류조정에 의하여 mixer의 IIP3를 증가시킬 수 있는 기능을 갖고 있다. 하지만 Cellular 대역의 LNA bypass 기능이 없으므로 <표 2>의 IIP3 시험3의 조건을 만족하기 어려움을 알 수 있다.

마지막으로 QUALCOMM사의 RFR3100의 경우

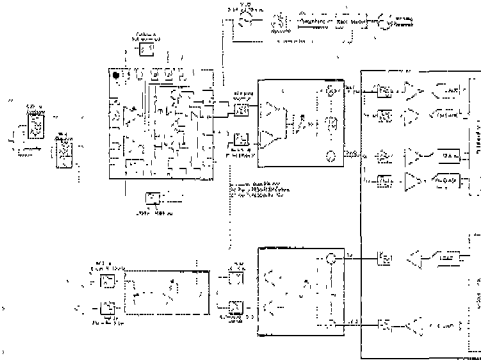
<표 2> IS-98C 에 규정되어진 Cellular 및 PCS용 단말기 수신단 규격 및 그에 따른 성능 요구조건

	측정항목	조건	비고	측정요소	시험값 1	시험값 2	시험값 3	성능 조건	
Cellular	Sensitivity	FER ≤ 0.005	9.6Kbps	Ior[dBm/1.23MHz]	-104	-25		NFmax=10[dB]	
				Traffic Ec/Ior[dB]	-15.6				
	IMD	FER ≤ 0.01			Tone 1 Offset From Carrier[KHz]	±900			시험값 1 IIP3=-13.1[dBm]
					Tone 1 Power[dBm]	-43	-32	-21	시험값 2 IIP3=-3.6[dBm]
					Tone 2 Offset From Carrier[KHz]	±1700			
					Tone 2 Power[dBm]	-43	-32	-21	시험값 3 IIP3=+7.4[dBm]
					Ior[dBm/1.23MHz]	-101	-90	-79	
					Traffic Ec/Ic[dB]	-15.6	-15.6	-15.6	
	Single Tone Desensitization	FER ≤ 0.01			Tone Offset From Carrier[KHz]	±900			Phase Noise=-134[dBc/Hz]@900 [KHz] Offset
					Tone Power[dBm]	-30			
Ior[dBm/1.23MHz]					-101				
Traffic Ec/Ic[dB]					-15.6				
PCS	Sensitivity	FER ≤ 0.005	14.4kbps	Ior[dBm/1.23MHz]	-104			NFmax=6.8[dB]	
				Traffic Ec/Ior[dB]	-15.6				
	IMD	FER ≤ 0.01			Tone 1 Offset From Carrier[MHz]	±1.25			시험값 1 IIP3=-11.425[dBm]
					Tone 1 Power[dBm]	-43			
					Tone 2 Offset From Carrier[MHz]	±2.05			
					Tone 2 Power[dBm]	-43			
					Ior[dBm/1.23MHz]	-101			
					Traffic Ec/Ic[dB]	-15.6			
	Single Tone Desensitization	FER ≤ 0.01			Tone Offset From Carrier[MHz]	±1.25			Phase Noise=-136.83[dBc/Hz] @1.25[MHz]Offset
					Tone Power[dBm]	-30			
					Ior[dBm/1.23MHz]	-101			
					Traffic Ec/Ic[dB]	-15.6			

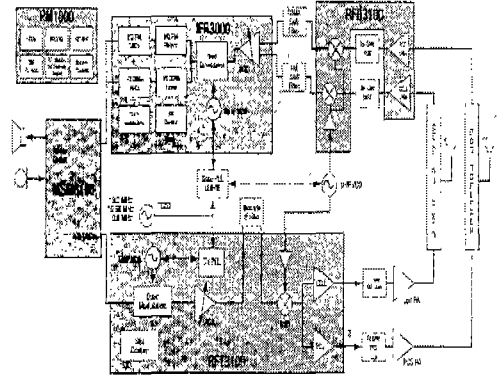
앞서 설명한 다른 제품들과 유사한 기능을 갖고 있으면서도 [그림 5]에서 보는 바와 같이 자사의 MSM 칩과의 연결을 용이하게 할 수 있으며 IF 대역의 IFR3000 칩과 송신 IF-RF 대역의 RFT3100 칩을 이용 CDMA 단말 전체를 구현할 수 있는 장점을 보여 주고 있다. 최근에 개발된 RFR3300의 경우는 GPS

수신 가능한 특징을 보여주고 있다.

<표 3>은 이중대역 삼중모드의 SiGe LNA-Mixer 모듈의 전형적 성능을 종합한 것으로 모든 제품이 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다. 하지만 여기 나타낸 수치는 개발단계의 성능을 나타내므로 실제 양산시, 목표하는 성능의 재현성 구현이 시장에서



[그림 4] Rx1924의 응용 회로도



[그림 5] Qualcomm사의 CDMA 단말기용 칩 응용회로

<표 3> 이중대역 삼중모드의 SiGe LNA-Mixer 모듈의 제품별 전형적 성능

Product Name			Rx1924	RF2477	CX74004	RFR3100	Max2323
L N A	Gain dB	Cellular	16(H)/3(L)	14.5(H)/-7.5(L)	15(H)/6(M) /-5.5(L)	16(H)/3.7(M) /-2.7(L)	15.5(H)/6(M) /-3.5(L)
		PCS	16	14.5(H)/-6(L)	16.5(H)/-4(L)	14.8	14.5
	IIP3 dBm	Cellular	8	11(H)/20(L)	5(H)/17.7(M) /22(L)	10(H)/14.5(M) /26.4(L)	10.5(H)/10(M) /17.5(L)
		PCS	8	10(H)/24(L)	3(H)/21(L)	8	8
NF dB	Cellular	0.9	2(H)/7.5(L)	1.6(H)/2.8(M) /6.4(L)	1.5(H)/5.5(M) /3.2(L)	1.7(H)/3.3(M) /7.5(L)	
	PCS	1.0	1.7(H)/6(L)	1.6(H)/4(L)	1.6	1.9	
M I X E R	Gain dBm	Cellular	10.5	13.5	10.5	11.14	13
		PCS	10.5	13.5	13	13.2	13.5
	IIP3 dBm	Cellular	5.2	3(H)/12.5(L)	7.5	5.9	4.8
		PCS	5.8	2(H)/12(L)	3.5	4.4	4
	NF dB	Cellular	10	7(H)/14(L)	8.5(SSB)	7.4	7.5
PCS		10	8(H)/15(L)	8.5(SSB)	8.9	7.9	
Package			4×4 mm 24pin LPCC	5×5 mm 32pin MLF32	5×5 mm 32pin LGA	5×5 mm 32pin BCC++	5×5 mm 28pin QFN

성공할 수 있는 관건이라 하겠다.

IV. 결 론

80년대 중반 IBM사를 중심으로 연구개발되기 시작한 SiGe 트랜지스터 기술은 초기의 많은 회의론에도 불구하고 이제는 무선통신 RF중단 하드웨

어의 가장 경쟁력 있는 기술로 자리잡고 있다. 본고에서 논한 CDMA 이동통신 단말기용 수신단 RFIC 뿐만 아니고 송신단 RFIC에서도 경쟁력 있는 상품이 기대되고 있으며 CDMA와 GSM 방식을 동시에 수용할 수 있는 단말기용 RFIC를 SiGe BiCMOS 기술을 이용 하나의 칩에 구현하는 기술도 개발 중이다. 향후 150 GHz 이상의 차단주파수

를 갖는 SiGe HBT 기술의 개발도 가능할 것이므로 10 GHz 이상의 대역에서도 많은 응용이 기대되며, 현재의 상용화된 10 Gbps 전송률의 광통신용 SiGe 레이저 드라이버 증폭기 기술을 40 Gbps 이상의 전송률까지도 끌어 올릴 수 있으리라 기대된다.

참고문헌

- [1] 이근호, 김남영, 이제영, “정보통신 시스템을 위한 SiGe 트랜지스터 기술 동향,” 한국 전기 전자재료학회지, vol. 13, pp. 24-27, 2000.
- [2] D. C. Ahlgren, N. King, G. Freeman, R. Groves and S. Subbanna, “SiGe BiCMOS Technology for RF Device and Design Applications”, *IEEE Radio and Wireless Conf. Proc.*, W3.2, 1999.
- [3] S. Heinen “RF Circuit Design on Si and SiGe BiCMOS”, *IEEE MTT-S Workshop, WFA02*, 2000.
- [4] A. Schuppen, “SiGe-HBTs for Mobile Communications”, *Solid-State Electro-nics*, vol. 43, pp. 1373-1381, 1999.
- [5] J. D. Cressler, “SiGe HBT Technology: A New Contender for Si- Based RF and Microwave Circuit Applications”, *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech.*, vol. 46, pp. 572-589, 1998.
- [6] J. Lee, G. Lee, S. Zhang, G. Niu, J. D. Cressler, and N. Kim, “Performance Projections of SiGe HBTs for LNAs in CDMA Mobile Communication”, *The 5th CDMA International Conference Proceedings*, vol. II, pp. 259-262, 2000.
- [7] U. Konig, A. Gruhle and A. Schuppen, “SiGe Devices and Circuits: Where are Advantages over III/V?”, *IEEE GaAs IC Symposium Digest*, 99. 14-17, 1995.
- [8] D. Barlas, G. Henderson, X. Zhang, M. Bopp and A. Schuppen, “SiGe Transistor Technology for RF Applications”, *Microwave Journal*, June, pp. 22-39, 1999.
- [9] 이근호, 김남영, 한상국, 이제영, “SiGe RFIC 기술 동향,” 한국통신학회지, vol. 17, pp. 1667-1674, 2000.

≡ 필자소개 ≡

이 근 호

1986년: 연세대학교 물리학과 (이학사)
 1988년: 연세대학교 물리학과 대학원 (이학석사)
 1995년: Johns Hopkins Univ. 물리학과 Ph.D
 1996년~2000년: 정보통신부 전파연구소 공업연구원
 1999년~2000년: U of Maa. at Amherst, Georgia Tech., Auburn Univ. 전자공학과 객원 연구위원
 2001년~현재: 광운대학교 정보통신연구원 교수



김 준 호

1996년: 명지대학교 전자공학과 (공학사)
 1996년~1998년: 서울이동통신 근무
 1998년~2000년: 한국 CONEXANT 근무
 2000년~현재: 에스엔에스테크놀로지(주) 과장

