

밀리미터파대역 MMIC 개발 현황

장 동 필, 엄 만 석, 엄 인 복

한국전자통신연구원 위성RF부품연구팀

I. 서 론

벨의 전화기 발명 이후 전기 신호를 이용한 통신 기술은 눈부신 발전을 이룩하여 왔다. 1980년대 이전의 통신은 군사적 목적 또는 우주 통신 목적의 통신기술이 주도적으로 기술 발전을 선도했다고 볼 수 있으며, 1980년대 이후의 통신은 일반인들이 이용하는 대중 통신 기술이 점점 그 빛을 더해가고 있다. 그러나 최근의 대중 통신 기술의 발전은 반도체 기술의 발전 없이는 불가능했을 것이다. 요즘 아주 흔하게 사용되고 있는 개인 이동통신 기기 역시 반도체 기술의 발전에 힘입어 점점 작고, 점점 그 기능이 향상되고, 다양화되고 있다.

사람들의 욕구는 갈수록 좀더 빠른 서비스를 원하고 있다. 빠른 통신 서비스를 위해서는 동시에 많은 정보를 보내는 것이 필수적이다. 최신의 기술 발전은 신호처리 기술의 향상을 통한 대용량 정보를 동시에 보내는 방법과 넓은 대역폭의 변조된 신호를 왜곡 없이 전송하기 위하여 반송파 주파수를 상승시키는 방법 등으로 분할 진행되고 있다. 그 중에 반송파 주파수의 상승은 초고주파 부품의 동작 주파수가 상승하는 것을 의미하게 되는데, 이는 부품 개발 기술의 발전 없이는 불가능하다. 즉, 일반적인 회로 설계 이론에 의하면 동일한 증폭소자를 가지고 증폭기를 설계 및 제작할 경우를 가정할 때, 동작 주파수가 상승할수록 증폭기의 이득은 감소하며, 또한 증폭기의 다른 성능들 또한 대부분 저하되므로 이를 보완할 수 있는 설계 및 제작 기술의 발전 없이 초고주파

부품의 동작 주파수 상승은 득보다 실이 많을 수 있기 때문이다.

그러나 1980년대 중반 이후 발전에 발전을 거듭하고 있는 MMIC 기술이 있었기에 이제 초고속 대용량 통신 및 방송 서비스가 꿈으로 끝나지는 않을 것이다. 현재 MMIC 기술을 선도하고 있는 몇몇 국외 업체에서는 100 Ghz 이상에서 동작하는 증폭기를 설계 제작하고 있으며, 그외의 대부분의 국외 MMIC 업체에서도 40 Ghz 정도의 주파수 까지 동작하는 증폭기를 비롯한 초고주파 부품을 생산하고 있다. MMIC 부품 개발에 있어 무엇보다 중요한 것은 공정 기술이라고 할 수 있다. 현재의 MMIC 제조 공정상 1회의 공정을 수행하기 위한 비용이 매우 높은 실정이므로, 공정의 정밀도 및 정확도가 확보되지 않는다면 MMIC 기술로 제작된 부품의 성능 또한 보장할 수 없기 때문에, 부품의 가격이 상승하게 되고, 이는 통신시스템의 가격 상승을 가져오게 되므로, 저속 저용량 통신에 비하여 경쟁력을 잃게 될 것이다.

20 Ghz 이상의 주파수 대역에 대하여 현재 예상되어지고 있는 통신 서비스는 26 Ghz 대역의 LMDS 및 BWLL, 40 Ghz 대역의 MVDS, 성층권 무선통신 및 BMWS, 60 Ghz 대역의 Wireless LAN 등이 있다. 현재 상용으로 출시되어 있는 MMIC 부품의 경우 40 Ghz 이하의 대역에 대하여 0.25 μm Gate Length의 공정을 이용하고 있으며, 60 Ghz 이하의 대역에 대하여는 0.15 μm Gate Length의 공정을, 그리고 60 Ghz 이상의 대역에 대하여는 0.1 μm 의 Gate Length 공정을 이용하고 있다.

본 고에서는 최근의 밀리미터파 대역 MMIC 개발 현황을 국내외 자료를 비교하여 설명하고자 한다. 본 고에 자료로 제시된 국외 업체의 MMIC Chip은 상용 부품을 기준으로 하였다. 그리고 ETRI의 설계 기술을 이용하고 국외 업체의 MMIC 제조 공정을 이용하여 제작한 결과들이 제시되었다.

II. 밀리미터파 대역 MMIC

본 고에서는 밀리미터파 대역 MMIC에 대하여 국외 업체의 상용 부품 개발 현황 및 ETRI에서 개발한 결과 등에 대하여 기술하고자 한다.

우선 가까운 장래에 시장형성이 기대되는 Ka-대역(20 GHz 및 30 GHz 대역) MMIC에 대하여 설명하고, 그 다음으로 Q-대역(40 GHz대역) 및 V-대역(60 GHz 대역) MMIC에 대하여 설명하고자 한다.

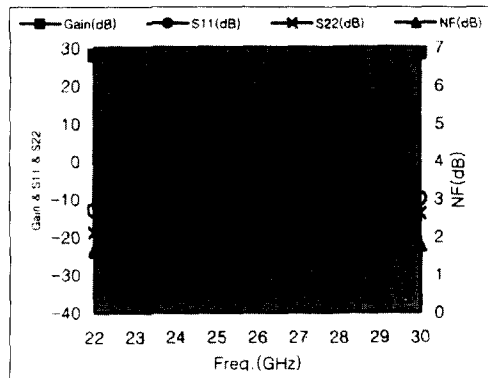
1. Ka-대역 MMIC

Ka-대역은 LMDS 및 BWLL, 그리고 위성 통신용 주파수로서 예정되어 있으며, 국외의 대부분의 MMIC 업체들이 30 GHz 대역까지 제조 가능한 공정을 보유하고 있어, 다양한 상용 MMIC

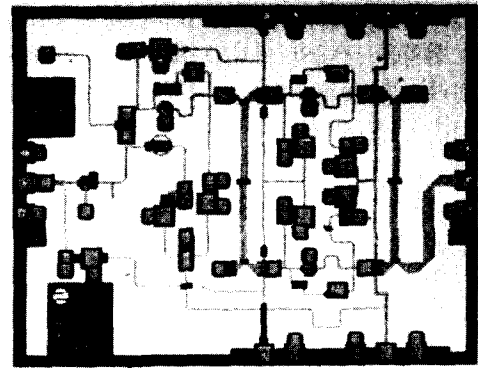
및 시험 개발용 MMIC들이 출시되어 있다. 특히 국내에서도 ETRI에서 시험 개발용으로 BWLL 대역의 MMIC Chip을 개발하였다. <표 1>에 국내의 업체들의 저잡음 증폭기에 대한 상용 MMIC 성능 비교를 보였다. <표 1>에서 보면 국외 업체의 Ka-대역 저잡음 증폭기는 대부분 2.0 dB 이상의 잡음 지수와 20 dB의 증폭 이득 특성을 보이고 있는 반면 ETRI에서 개발한 BLNA2는 1.8 dB의 잡음 지수와 27 dB의 증폭이득 특성을 보이고 있어 상대적으로 우수한 특성을 보이고 있다. 그리고 TRW 및 Triquint사는 0.15 μm 공정을 이용하고 있으며, Alpha사 및 UMS사는 0.25 μm 공정을 이용하고 있다. 특히, ETRI에서 개발한 BLNA2는 ETRI에서 설계하고 미국의 TRW사의 0.15 μm GaAs p-HEMT 공정에서 제작한 BWLL용 저잡음 증폭기로서 제작 후의 수율(Yield)이 80% 이상으로서 설계 신뢰도가 확보된 상태이며, 그리고 제조공정이 TRW사의 상용 MMIC 공정으로서 국외 업체의 상용 MMIC와 충분히 견줄만하다. <그림 1>에 ETRI에서 개발한 BLNA2 MMIC Chip의 특성과 사진을 보였다^[1]. 그리고, ETRI에서는 미국의 TRW사 공정을 이용하여 Ka 대역 위성중계기용(LNA2)^[2] 및 기지국용 저잡음 증폭기 MMIC Chip(GLNA)^[3]을 개발하였으며, 그 특성을 <표 1>에 요약하였다.

<표 1> Ka 대역 상용 저잡음 증폭기 MMIC Chip 비교

Name of MMIC chip	Freq. (Ghz)	NF (dB)	Gain (dB)	Return loss (dB)		DC Bias		Size (mm)	Gate Length
				In.	Out.	Vd	Is		
ETRI(BLNA2)	22-27	1.8	27	13	17	2.3V	60mA	3.10×2.40	0.15 μm
ETRI(LNA2)	29-33	1.8	16	8	3	2.6V	18mA	2.85×1.25	0.15 μm
ETRI(GLNA)	19-23	1.7	18	18	18	2.0V	60mA	3.10×2.40	0.15 μm
UMS(CHA2193)	20-30	2.0	18	10	12	3.5V	60mA	2.07×1.03	0.25 μm
Alpha(AA028N1-00)	24-30	3.0	17	12	15	4.5V	24mA	2.40×1.30	0.25 μm
Alpha(AA035N1-00)	28-36	2.8	12	18	20	4.5V	70mA	2.69×2.37	0.25 μm
Triquint (TGA1319B-EPU)	21-27	1.75	19	7	15	3.0V	45mA	2.24×1.14	0.15 μm
TRW(ALH364C)	24-32	2.0	21	12	8	5.0V	68mA	1.80×0.73	0.15 μm



(a) On-wafer 측정 결과



(b) MMIC Chip 사진 (3.1mm×2.4mm)

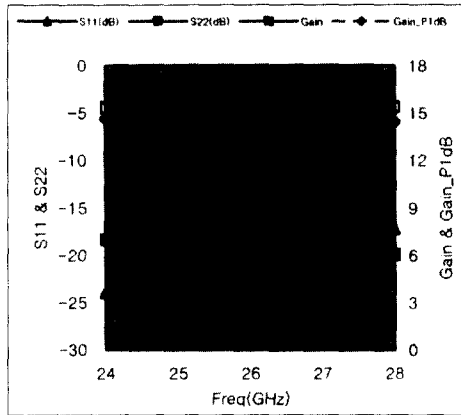
〈그림 1〉 BWLL용 LNA MMIC Chip (BLNA2)

〈표 2〉는 20GHz 및 30GHz 대역 고출력 증폭기에 대한 국외 업체의 현황과 ETRI의 개발 실적을 요약하였다. 고출력 증폭기의 경우 설계의 신뢰성을 확보하기 위해 증폭소자의 비선형 특성의 정확한 모델링이 무엇보다도 요구되어진다. 공정에 있어 TRW사와 Raytheon사는 0.15um 공정을 이용하고 있으며, 그외의 UMS사, Triquint사 및 Alpha사는 0.25um 공정을 이용하고 있다. 〈표 2〉에서 볼 수 있듯이 Ka-대역용 고출력 증폭기 MMIC의 경우 대부분의 업체에서 30dBm 근처의 출력 전력 특성을 보이고 있으며, ETRI에서 개발한 고출력 증폭기 MMIC도 30dBm 이상의 출력전력 특성을 보이고 있

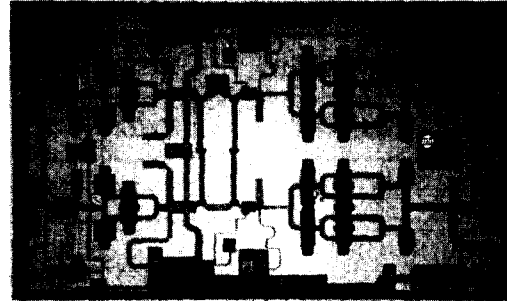
다. 특히, ETRI가 개발한 고출력 증폭기는 ETRI에서 설계하고 미국의 TRW사에서 제작한 BWLL용 고출력 증폭기와 위성중계기용 주파수 대역에서 사용할 수 있는 고출력 증폭기로서, 최대효율이 20% 이상으로서 국외 업체의 고출력 증폭기의 성능에 필적하고 있다. 또한 그 수율도 70% 이상으로서 설계 신뢰도가 확보되어 있으며, 저잡음 증폭기와 마찬가지로 TRW의 상용 MMIC 제조 공정을 이용하였으므로 상용 MMIC로 간주할 수 있다. 개발된 BWLL용 고출력 증폭기인 BHPA1의 특성 및 사진을 〈그림 2〉에 보였다. 그리고 ETRI에서는 TRW의 공정을 이용하여 Ka 대역 위성중계기용(SHPA)^[4] 및 기

〈표 2〉 Ka대역 상용 고출력 증폭기 MMIC Chip 비교

Name of MMIC chip	Freq. (Ghz)	P1dB (dB)	Gain (dB)	RL (dB)	DC Bias Vd (V) / Id (mA)	Eff (%)	Size (mm)	Gate Length (um)
				In/Out				
ETRI(BHPA1)	24-28	31	16	16/16	5.0/960	20	5.0×3.0	0.15
ETRI(SHPA)	20-22	31	18	15/15	4.8/720	30	5.4×3.0	0.15
ETRI(HPA30)	29-31	28	10	13/18	5.0/800		5.6×3.15	0.15
UMS(CHA5093)	20-26	29	20	5/11	6.0/600	19	3.3×2.5	0.25
Alpha (AA028N1)	22.5-26.5	24	17	17/20	6.0/520		3.2×3.1	0.25
Raytheon(RMPA2900)	27-30	30	23	10/10	5.0/700	25	5.2×3.0	0.15
Triquint(TGA1172)	27-32	29	16	10/10	6.0/630		2.7×1.4	0.25
TRW (APH184CA)	27-30	28.5	17	16/16	5.0/1100		6.1×2.5	0.15



(a) On-Wafer 측정 결과



(b) BHPA1 MMIC 사진 (5.0mm×3.0 mm)

〈그림 2〉 BWLL용 HPA MMIC Chip (BHPA1)

지국용 고출력 증폭기 (HPA30)^{[5][6]}를 개발하였으며, 그 특성은 <표 2>에 요약하였다.

ETRI에서는 저잡음 증폭기 및 고출력 증폭기 MMIC 이외에 Ka 대역용 Mixer MMIC를 개발하였다. 현재 통신위성 중계기용 31 GHz 대역 Mixer MMIC 및 BWLL용 Mixer MMIC를 개발하여 시제품 모듈 개발에 사용하고 있다. 특히 BWLL용 Mixer MMIC의 경우 부구조조 주입식 Mixer도 1종을 개발한 바 있다. 아울러 본 고에 언급하지는 못한 10여종의 Ka 대역용 Ku 대역용 증폭기 MMIC들이 있으며, 이들의 특성 또한 양호한 것으로 나타났다.^[7]

2. Q-대역 및 V-대역 MMIC

40 GHz 및 60 GHz 대역은 MVDS 및 BMWS, Wireless-LAN 등의 무선통신 서비스가 예상되고 있는 주파수 대역으로서 전파 특성상 단거리 또는 실내 통신에 유리하다^[8]. 40 GHz 이상의 주파수 대역에서는 회로의 설계에 있어 많은 예측 불가능한 요소가 산재해 있으며, 모듈화 기술 및 측정 기술에 있어서도 많은 어려움이 있다. 또한 아직 해당 부품의 가격이 상당히 고가이기 때문에 모듈 및 시스템의 개발을 위한 노력도 많지 않아, 시장형성에 있어 장애요소로서 작용하고 있다. MMIC Chip의 개발에 있어서도 40 GHz 이상의 대역은 국외 소수의 업체에서만 상용 부

품을 개발하여 판매하고 있으며, 그 성능 또한 Ka 대역에 비해 열등한 것이 사실이다. 40 GHz 이상의 주파수 대역에 있어 MMIC 설계 및 제작의 주요 변수는 MMIC 설계에 사용되어지는 능동 및 수동 소자의 정확한 모델링으로 파악되고 있다.

40 GHz 이상의 주파수 대역에 대하여 증폭기를 설계 및 개발하기 위하여 0.15 μm 이하의 Gate Length를 가지는 MMIC 공정이 요구되고 있으며, 상용으로 이러한 공정을 가진 업체는 많지 않고, 그외의 MMIC 업체들은 시험 제작용 공정을 이용하여 연구개발 단계에 있는 것으로 파악된다. 40 GHz 대역의 경우 저잡음 증폭기를 상용으로 개발한 업체중 ALPHA사, TRIQUINT사, UMS사, Raytheon사, TRW사 등의 제품이 비교적 우수한 특성을 가지고 있으며, 3.0 dB에서 4.0 dB의 잡음 지수 특성을 보이고 있다. 밀리미터파 대역에서 가장 안정적인 공정을 제공하는 업체로서 미국의 TRW사를 꼽을 수 있으며, 이 공정을 이용하여 ETRI에서 설계한 40 GHz 및 60 GHz 대역 MMIC가 비교적 우수한 특성을 가지고 제작되었다.

V-대역인 60 GHz 대역에 대하여는 프랑스의 UMS사와 미국의 TRW사만에 상용 제품을 제작하여 판매하고 있으며, 그 성능은 잡음지수가 3.5 dB로서 40 GHz 대역과 근사한 특성을 가지

〈표 3〉 Q 대역 및 V 대역 상용 저잡음 증폭기 MMIC Chip 비교

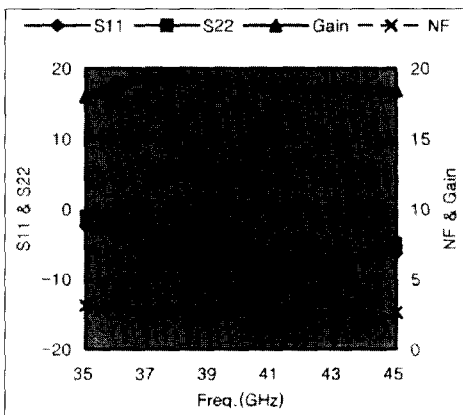
Name of MMIC chip	Freq. (Ghz)	NF (dB)	Gain (dB)	RL (dB)		DC Bias		Size (mm)	Gate Length
				In.	Out.	Vd	Id		
ETRI(LNA44A)	40-44	2.2	17	8	8	2.2V	15mA	2.2×1.5	0.15um
ETRI(LNA44B)	40-45	3.0	21	12	14	2.3V	30mA	2.2×1.5	0.15um
ETRI(LNA60A)	58-65	2.9	13	5	7	2.1	10mA	2.2×1.5	0.15um
UMS(CHA2194)	36-44	3.0	19	11	9	3.5V	42mA	1.7×1.0	0.25um
UMS(CHA2157)	55-60	3.5	10	4	8	3.3V	80mA	1.7×1.0	0.15um
Alpha(AA038N3)	37-40	3.5	13	12	12	5.0V	20mA	1.6×1.3	0.25um
Raytheon (RMWL38001)	37-40	2.7	22	12	13	4.0V	50mA	2.9×1.3	0.25um
TRW (ALH386)	37-43	3.0	26	7	3	2.5V	52mA	1.8×0.7	0.15um
TRW (ALH382)	57-65	3.8	23	12	12	2.5V	64mA	1.6×0.7	0.15um

고 있으며, ETRI에서 개발한 LNA60A를 보면 60 GHz 대역에서 3.0 dB 정도로서 국외 업체의 제품에 비해 오히려 우수한 성능을 보이고 있다.

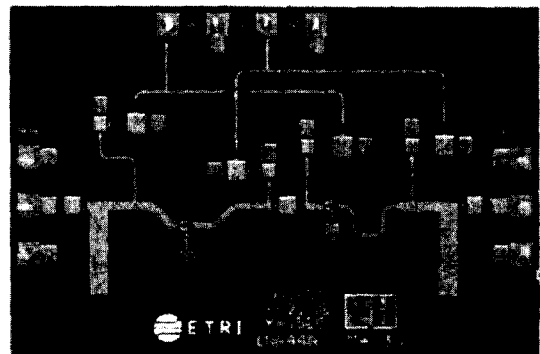
〈표 3〉에 ETRI에서 개발된 40 GHz 및 60 GHz 저잡음 증폭기 MMIC의 성능을 국외 업체의 상용 MMIC의 성능과 비교하여 나타내었다. 표의 LNA44A, LNA44B, LNA60A는 ETRI에서 설계하고 미국의 TRW사의 0.15 μm GaAs p-HEMT 공정을 이용하여 제작한 MMIC들이다. LNA44A MMIC에 대하여 측정 결과를 〈그림 3〉에 보였으며, LNA60A MMIC에 대한 측정

결과를 〈그림 4〉에 보였⁹⁾¹⁰⁾. 표에서 보면 UMS사와 Alpha사 그리고 Raytheon사는 0.25 μm 공정을 가지고 40 GHz 대역의 저잡음 증폭기를 개발하였으며, TRW사는 0.15 μm 공정을 이용하여 40 GHz 대역과 60 GHz 대역 저잡음 증폭기를 개발하였다. 특히 UMS사는 60 GHz 대역 저잡음 증폭기의 경우 0.15 μm 공정을 이용하였다.

〈표 4〉에 국외업체의 40 GHz 및 60 GHz 대역용 고출력 증폭기 MMIC와 ETRI에서 개발한 고출력 증폭기 MMIC의 특성을 비교하여 보였

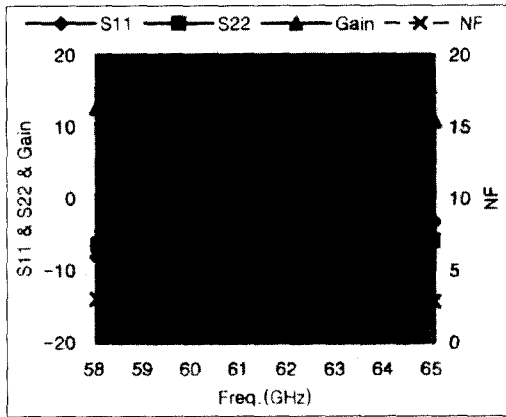


(a) On-Wafer 측정 결과

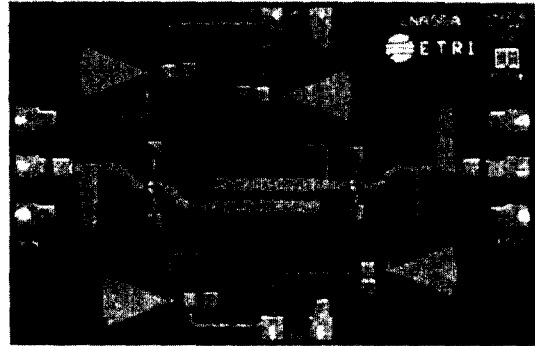


(b) LNA44A MMIC Chip 사진 (2.2mm×1.5mm)

〈그림 3〉 MVDS용 LNA MMIC Chip (LNA44A)



(a) On-Wafer 측정 결과



(b) LNA60A MMIC 사진(2.2mm×1.5mm)

〈그림 4〉 Wireless-LAN용 LNA MMIC Chip (LNA60A)

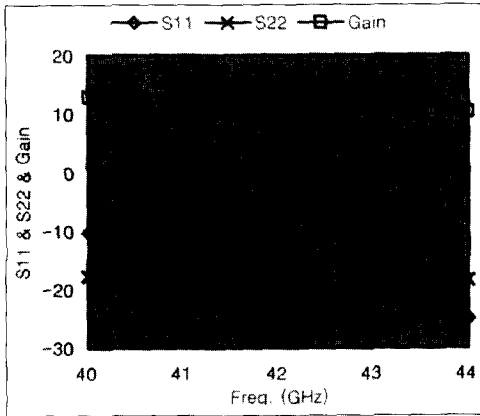
〈표 4〉 Q 대역 및 V 대역 상용 고출력 증폭기 MMIC Chip 비교

Name of MMIC chip	Freq. (Ghz)	P1dB (dB)	Gain (dB)	RL (dB)	DC Bias Vd(V) /Id(mA)	Eff (%)	Size (mm)	Gate Length (um)
				In/Out				
ETRI(HPA44)	40-44	30	11	10/17	4.8/1000	20	4.5×3.0	0.15
ETRI(HPA60)	55-65	23	11	6/12	5.0/190		4.0×2.5	0.15
Raytheon(RMPA39200)	37-40	32	19	10/10	5.0/1600	17	4.3×3.2	0.15
Triquint(TGA1171)	36-40	29	14	10/15	6.0/500		2.9×2.7	0.25
TRW(APH309C)	37-40	28	12	20/15	5.0/960		5.6×2.5	0.15

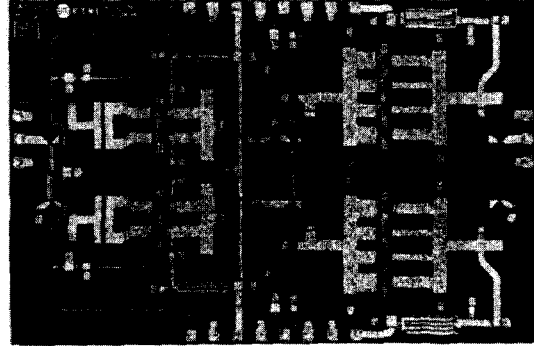
다. 아직까지 40Ghz 이상의 대역에서의 증폭기의 개발에 있어 설계에 사용하는 소자들의 모델링이 부정확하며, 또한 회로의 설계 및 해석에 사용하는 소프트웨어들의 해석 오차들의 누적 등으로 40Ghz 이하에서의 증폭기 개발보다 40Ghz 이상에서의 증폭기 개발에 있어 어려움이 많다. 더욱이 고출력 증폭기의 경우 증폭기 설계를 위해 증폭소자의 비선형 모델이 필수적이지만, 고출력 증폭소자의 경우 소자의 비선형 모델링이 부정확한 것이 사실이다. 이것은 보다 큰 출력을 내기위한 고출력 증폭기의 경우 소자의 크기가 커져야 하기 때문에 모델의 정확도가 떨어지게 된다. 게다가 고출력 증폭기의 경우 여러 개의 증폭소자를 병렬로 합성(Combining)하여야 하는

데, 이 경우 회로 자체가 복잡해지기 때문에 회로의 설계 및 해석에 있어 오차도 증가하게 된다. 〈그림 5〉은 ETRI에서 개발한 MVDS용 고출력 증폭기 MMIC Chip의 특성과 사진을 보였으며, 〈그림 6〉에는 Wireless-LAN용 60Ghz 고출력 증폭기 MMIC Chip의 특성과 사진을 나타냈다.

ETRI에서는 총 2회에 걸쳐 TRW사의 공정을 이용하여 40Ghz 및 60Ghz 대역용 MMIC를 개발하였으며, 본 고에 언급하지 못한 저잡음 증폭기 2종, 고출력 증폭기 3종, 38Ghz 대역 발진기 MMIC 2종이 있으며, 이들 MMIC 역시 양호한 특성을 나타내고 있어 현재 ETRI가 진행 중인 시험 모듈 개발에 사용되고 있다.

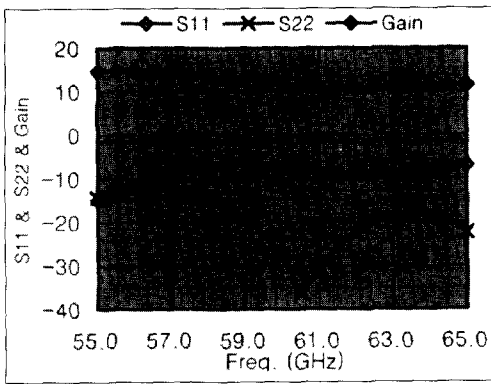


(a) On-Wafer 측정 결과

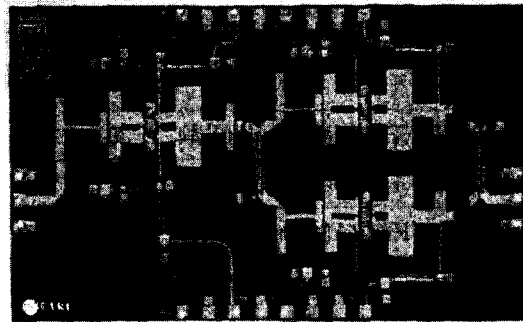


(b) HPA44 MMIC 사진(4.5mm×3.0mm)

〈그림 5〉 MVDS용 HPA MMIC Chip (HPA44)



(a) On-Wafer 측정 결과



(b) HPA60 MMIC 사진(4.0mm×2.4mm)

〈그림 6〉 Wireless용 HPA MMIC Chip (HPA60)

III. 결 론

리미터파 대역에서의 MMIC 기술을 이용한 RF부품의 개발로 현재보다 진보된 초고속 대용량 서비스가 가능하게 될 것이다. 본 고에서는 현재 상용으로 개발 판매되고 있는 국외 업체의 밀리미터파 대역 MMIC에 대하여 살펴보았으며, 아울러 ETRI가 설계하고 국외 업체에서 제작한 MMIC에 대하여도 언급하였다. 국외 밀리미터파 대역 MMIC 기술 선도 업체의 제품들을 보면 Ka-대역에서 2dB, Q-대역에서 3dB 정도의 잡

음 지수 특성을 가지는 저잡음 증폭기와 밀리미터파 대역에서 30dBm 정도의 P1dB 특성을 가지는 고출력 증폭기를 40GHz 대역까지 상용화하여 판매하고 있다. 특히, ETRI에서는 다가오는 밀리미터파 대역 통신서비스 시대를 대비하여, 밀리미터파 대역용 핵심 RF 부품을 MMIC 기술로 개발하여, 선진 기술의 조기 습득 및 본격적인 시장 형성 시기에 신속히 대응하고자 하였으며, 개발된 MMIC들은 상용 MMIC들과 유사한 특성을 가지고 있어 국내 설계 기술의 확보에 기여했다. ETRI에서는 20GHz~60GHz에 걸친 밀리미터파 대역에 대하여 앞으로 수요가 예상되

는 주파수 대역을 선정하여 그 대역에서 동작하는 MMIC를 개발하였다. 개발된 MMIC는 저잡음 증폭기와 고출력 증폭기를 비롯하여 RF 송수신단을 구성하는 능동부품인 Mixer MMIC와 발진기 MMIC를 개발하였으며, 제작후 측정된 결과들은 모두 양호하며, 일부 부품의 경우 국외 업체의 MMIC Chip의 성능을 능가하는 특성을 얻기도 하였다. 여기서 주목할 만한 것은, ETRI가 설계하여 개발된 MMIC Chip들이 TRW사의 상용 MMIC 공정을 이용하여 제작되었으며, 수율이 70% 이상으로서 설계 신뢰도가 확보됨에 따라 국외 업체의 상용 MMIC Chip과 충분히 경쟁할 만하다는 것이다. 대표적인 예로서 BWLL 및 LMDS용으로 개발된 저잡음 증폭기는 1.8 dB 정도의 잡음 지수 특성을 가지고 있으며, MVDS 및 BMWS용으로 개발된 저잡음 증폭기는 2.2dB 정도의 잡음 지수 특성을 가지고 있어 현재 상용으로 제공되는 MMIC Chip에 비해 우수한 잡음 특성을 가지고 있다. 또한 고출력 증폭기도 30 dBm 이상의 전력을 출력할 수 있는 성능을 가지고 있어 현재의 상용 고출력 상용 MMIC의 성능에 비교하여 손색이 없다.

그러나, MMIC 기술은 설계 기술과 더불어 MMIC 공정 기술이 안정되어 공정의 신뢰성 확보가 우선적으로 이루어져야 하나 아직 국내 MMIC 공정이 밀리미터파 대역까지 적용하기에는 부족한 것이 아쉬운 실정이다. 앞으로 국내 밀리미터파 대역 MMIC 공정 기술이 본 궤도에 오르면 지금까지의 확보된 설계기술을 바탕으로 국제적으로 경쟁력 있는 제품을 개발하여 곧 펼쳐질 밀리미터파 대역 통신 시장에 "Made-in-Korea"로 참여할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- (1) 염인복, "Ka대역 3단 MMIC 저잡음 증폭기 설계", 한국전자과학회 추계학술대회, 2000년 11월
- (2) 염인복, "MMIC 회로를 이용한 위성중계기용 30 Ghz 저잡음증폭기 모듈 개발", 한국전자과학회논문지, Vol.11, No.5, pp796-805, 2000년8월
- (3) 유경완, "K-Band Low Noise MMIC Receiver Module," IEICE Trans. on Electronics, VOL. E83-C No. 5 pp.750-754, 1999년 5월
- (4) 엄만석, "High gain and high efficiency Ka band Monolithic power amplifier," TSMMW2001, pp.71, 2001. 03
- (5) KyungWan Yu, "A gain variable 2W Ka-Band power module using MMIC Technology," 18th AIAA Conference, pp 87-90, 2000.
- (6) 엄만석, "A Gain-Variable Ka-Band SSPA Using MMIC Technology," APMC2000 Proceeding, pp.617-620, 2000년 12월
- (7) 정진철, "Ka-Band BWLL용 MMIC 저잡음 증폭기의 설계 및 제작," 한국전자과학회 추계학술대회, Vol.10 No.1 pp179-182, 2000년 11월
- (8) 장병준, "60 Ghz 주파수 대역의 무선통신 연구동향," ETRI 주간기술동향 1004호, pp.1~11.
- (9) 장병준, "밀리미터파 응용을 위한 MMIC 저잡음 증폭기 설계," 한국전자과학회논문지, 2001. 12월
- (10) 장병준, "V-band MMIC low noise amplifier design based on distributed active device model," APMC2001, 2001. 12

(1) 염인복, "Ka대역 3단 MMIC 저잡음 증폭

저자 소개



張東弼

1970년 2월 12일생, 1992년 2월 충남대학교 전자공학과 졸업, 1994년 2월 충남대학교 대학원 졸업(석사), 1994년 2월~현재: 한국전자통신연구원 근무, 선임연구원, <주관심 분야: 마이크로웨이브 및 밀리미터파 대역 회로 설계>

브 및 밀리미터파 대역 회로 설계



嚴萬錫

1987년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업(학사), 1989년 2월 중앙대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사), 1992년 8월~현재: 한국전자통신연구원 근무, 선임연구원, <주관심 분야: 위성통신중계기, M/W 및 MM-Wave 부품 설계>

중계기, M/W 및 MM-Wave 부품 설계



廉仁福

1990년 한양대학교 전자공학과(공학사), 1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 근무, 위성RF 부품연구팀장, 선임연구원, 1992년 9월~1995년 5월: 무궁화 위성 현장교육 참여 (영국 Matra

Marconi사), <주관심 분야: 위성통신중계기, MMIC 회로, 필터 설계>