60 GHz 송수신기 기술 개발 동향

송명선 · 변우진 · 강민수 · 김광선 · 김봉수
한국전자통신연구원

Ⅰ. 서 론

30 GHz부터 300 GHz까지를 의미하는 밀리미터파는 넓은 가용 대역폭을 가지므로, 고속 전송에 유리하며 파장이 짧아서 회로의 소형화에 유리하다. 그러나, 직진성으로 인하여 가시 거리가 확보되어야 하고, 높은 주파수에서 동작하기 때문에 사용 부품이 고가이며, 자유 공간 손실 외에 대기 및 강우 감쇠가 심하여 장거리 전송에 불리하다. 반면, 빔 폭이 좁으며 대기 및 강우에 의한 신호 감쇠는 다른 링크에 간섭원으로 영향을 미칠 확률을 줄이기 때문에, 주파수 재 사용률을 높일 수 있을 뿐만 아니라 보안성 유지 측면에서는 장점도 된다.

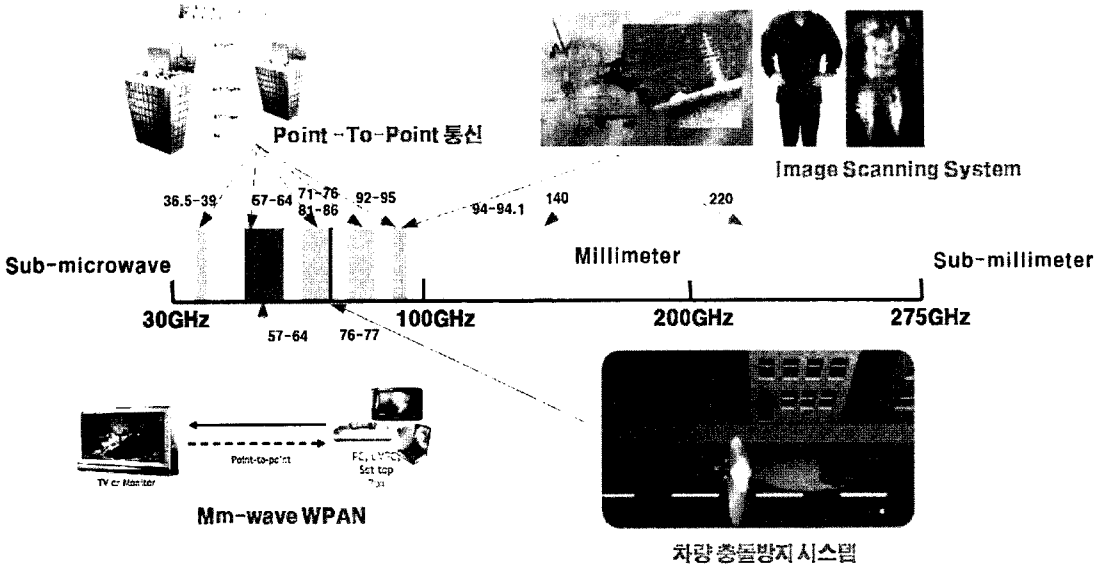
궁극적으로, 이와 같은 물리적 특성을 가진 밀리미터파 대역의 사용을 활성화하기 위한 주요 과제는 새로운 서비스의 창출과 저렴한 가격의 시스템 개발 가능성에 달려 있다고 할 수 있다. 최근에 수 Gbps급의 비압축 초고화질 데이터 전송과 10 Gbps 급 무선 Ethernet 망을 제공하기 위한 해결책으로 밀리미터파를 이용하는 것이 활발히 논의되고 있다[1],[2].

[그림 1]은 밀리미터파 대역에서 서비스되고 있거나 예정인 응용 분야를 해당되는 주파수 대역에 대비시켜서 보여주고 있다. 응용별로 분류하면 첫째, 점 대 점(point-to-point) 통신은 통신 수요가 많은 도시 및 집지역 및 유선 가설이 불가한 지역에 고속으로 대용량 데이터를 전송하기 위한 무선 Ethernet 망을 제공하거나 기지국간 통신을 하기 위한 무선 back-haul과 같은 기간 통신망을 구축하는데 응용되고 있다. 이와 같은 응용을 위하여 38 GHz, 57~64 GHz, 71~76 GHz, 81~86 GHz, 92~95 GHz 대역 등을 이용하도록 분배되었다. 점 대 점 통신 시장은 현재 최고 속도 1.25 Gbps급 전송 시스템까지 상용화 되었으며, Prectel Inc.(출처: Millimeter-wave Radio-Development of Technologies and Markets, 2008)의 예측 전망에 의하면 시장 규모가 2012년도에 10~14억 달러 수준까지 성장할 것으로 예상하고 있으며, 장비의 가격이 Link당 2만 달러 이하가 되면 판매가 증가할 것으로 예상하고 있다.

둘째, 강한 직진성과 짧은 파장을 이용한 응용으로는 77 GHz 대역 차량 충돌 방지용 레이더와 94 GHz 대역 이미지 스캐닝 시스템이 있으며, 짧은 파장으로 더욱 더 선명한 영상을 얻을 수 있다. 특히, 차량용 레이더 시스템은 현재 고급 차종에 장착되어서 사용되고 있지만, 가격이 저렴한 차종으로 레이더 시스템이 확대 사용되려면 저가격화 연구가 필수적이라 할 수 있다.

셋째, 10 m 이내의 거리에서 수 Gbps급의 데이터 전송이 가능한 WPAN 응용을 위해 60 GHz 대역을 사용하는 것이다. 많은 문헌에서 발표되었던 것처럼 대표적인 응용 예가 TV와 set-top box간의 초고화질 데이터 전송이며, 현재 시제품이 개발되고 있다.

[그림 1]에서 보여준 여러 가지 응용을 위하여 분배된 밀리미터파 대역 중에서 특히 주목해야 할 주파수는 60 GHz이다. 2003년에 FCC(Federal Communication Committee)가 57~64 GHz 대역을 무선 통신용 비면허 주파수로 할당한 이후, 일본 및 유럽 등의 나라에서도 동일한 목적으로 60 GHz 주파수를 할당하거나 분배를 계획하면서, 밀리미터파 기반 기술과



[그림 1] 밀리미터파 대역의 주파수별 응용 시스템

관련된 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. 국내의 경우 2006년에 주어진 기술 규격만 만족하면 응용 분야에 상관없이 사용할 수 있도록 하기 위하여 "용도 미지정"으로 57~64 GHz 대역을 분배하였다.

하지만 60 GHz WPAN 응용 서비스가 시장에서 성공하려면 밀리미터파 송수신기의 크기가 작고, 가격이 낮아야 하며, 전력 소모가 작아야 한다. 능동 소자의 경우 성능은 우수하지만, 가격이 비싼 단점을 가지는 화합물 반도체 기반의 소자 중심이었다. 하지만, 집적도를 높이고 가격을 대폭적으로 낮출 수 있는 Si CMOS 또는 SiGe BiCMOS를 이용하는 기술 개발이 TSMC, STMicro, IBM, IHP 등의 공정 업체와 SiBeam 등의 설계 업체를 중심으로 활발히 진행되고 있다.

더불어 LTCC는 이미 10 GHz 대역 미만에서 대량 생산 체제가 갖추어져 있고, 밀리미터파 대역에서 유전체 손실 특성이 매우 우수한 기판이 많이 개발되어왔다. 더불어 능동 소자를 실장하기 위하여 기생 인덕턴스와 커패시턴스를 줄일 수 있는 공정과 각 유전체 층을 연결하기 위한 비어 공정 기술의 발전으로 밀리미터파 유전체 도파관과 필터, 송수신 모듈 구성에 LTCC 기술이 많이 적용되었다[3]~[6].

본 고에서는 60 GHz 대역에서 동작하는 점 대 점 통신과 WPAN 응용을 위한 송수신기의 고성능화, 저가격화 및 소형화를 위한 기술 개발 동향을 살펴보고, 향후 60 GHz 대역의 송수신기 기술이 어떤 흐름으로 흘러 갈 것인지 예측해본다. 그리고 ETRI에서 개발한 WPAN용 CMOS 송수신 칩과 LTCC를 이용한 송수신 패키지 기술에 대하여 소개하고자 한다.

Ⅱ. 60 GHz Point-to-Point 통신용 송수신기의 기술 동향

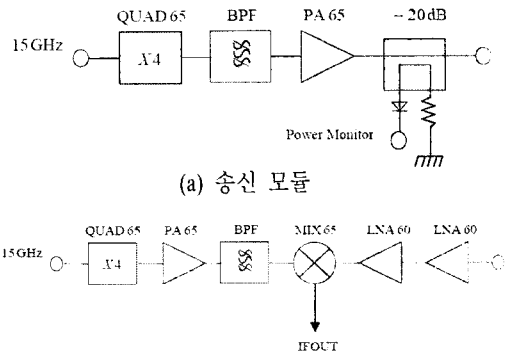
Point to Point 용 고정 통신 시스템은 대부분 모바일 시스템의 백홀망이나 기존 유선망의 대체망으로 사용되고 있어 가격도 중요하지만 안정적인 동작이 더욱 중요하여 Si 계열의 소자 기술이 많이 발전했음에도 불구하고 사용되는 소자는 GaAs 계열의 화

합물 반도체가 많이 사용되어지고 있다. 또한, 다른 대역에 비해 60 GHz 대역은 7 GHz의 넓은 대역폭을 사용할 수 있으므로 넓은 대역폭을 이용한 Gbps급 이상의 전송에서 주로 이용되며, 구현이 용이하고 신호의 위상 특성에 둔감한 ASK나 FSK 계열의 비동기 변복조 방식이 주로 이용되고 있다.

2000년대 초반 애질런트에서는 1 Gbps급 전송을 위한 MMIC 칩셋과 테스트 베드를 발표하였다[7]. 자체 0.125 um pHEMT 공정을 이용하여 각각의 부품을 개별 칩으로 개발하였고, 알루미나 기판을 이용하여 모듈화한 다음 성능을 테스트하였다. 넓은 주파수 대역에서 사용할 수 있게 광대역 정합을 하는데 중점을 두었고, 250 m 거리에서 10^{-12}의 BER 특성을 나타내었다.

일본의 NEC에서는 직접 ASK 변복조 기술을 사용한 1.5 Gbps급 60 GHz 송수신기를 개발하였다[8]. [그림 3]에서 보는 것과 같이 스위치를 이용하여 60 GHz 신호를 직접 ASK 변조를 하고 FET의 비선형 특성을 이용하여 60 GHz 신호를 직접 복조하여 중간주파수 소자의 사용을 없앴으며, LTCC 기술을 이용하여 모듈화하였다. 36 dBi 파라볼라 안테나를 사용하여 200 m까지 1.485 Gbps 고화질 영상 전송 시험을 하였다.

대부분의 송수신기가 개별 칩을 이용하여 하나의 모듈로 패키지화 하는 형태이지만 최근에는 개별 칩

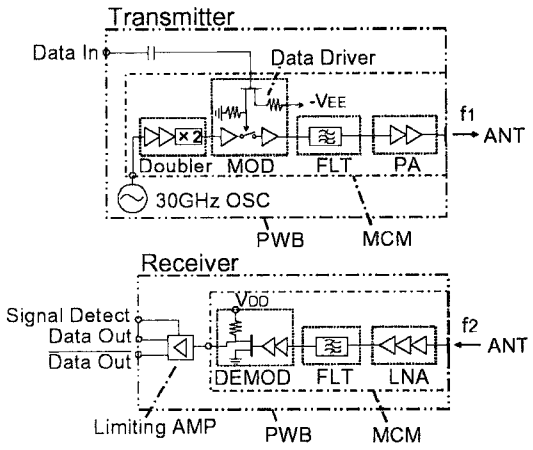


(a) 송신 모듈

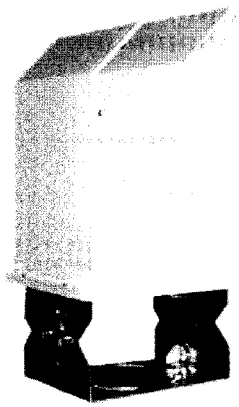
(b) 수신 모듈

(c) 테스트용 60 GHz 시스템

[그림 2] 애질런트 1 Gbps급 60 GHz 시스템



(a) 송수신 시스템 블록도



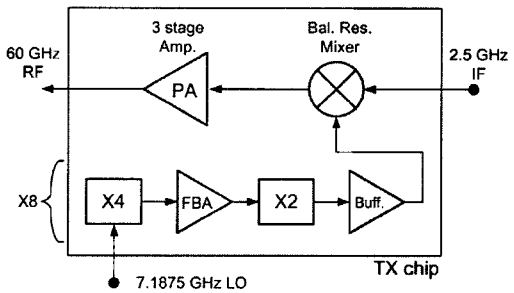
(b) 옥외용 제품 사진

[그림 3] NEC의 1.5 Gbps급 60 GHz 시스템

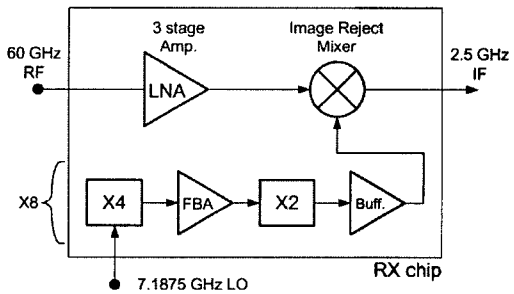
에서 단일 칩 형태의 GaAs 60 GHz 송수신기도 개발되고 있다. [그림 4]는 스웨덴 에릭슨에서 개발한 0.15 um mHEMT 공정을 이용하여 개발된, 송신 및 수신 단일 칩을 나타낸다[9]. 낮은 주파수의 LO를 사용하기 위해 8배 체배기를 사용하였고, 송신기는 PA와 믹서 그리고 수신기는 LNA와 헤테로다인 수신을 위한 이미지 제거 믹서까지 직접화 하였으며, 플립 칩 방법으로 패키지화 하였다. 최고 5.6 dBm의 출력과 7.2 dB의 잡음지수의 특성을 가지며, ASK 방식으로 1.5 Gbps까지 유선 감쇠기를 사용하여 전송 테스트를 하였다.

또, 다른 GaAs 단일 칩을 사용하는 예로 60 GHz 송수신기 단일 칩을 백홀망이 아닌 차량-도로간 통신에 이용하기 위한 시스템을 찾아 볼 수 있다[10]. 전체적인 시스템은 802.11a WLAN을 IF단으로 사용하고 0.15 um GaAs pHEMP 공정을 사용하여 5 GHz 신호를 상/하향 변환하기 위해 믹서와 LNA, Drive 증폭기들을 송수신 단일 칩 형태로 개발하고, PA와 낮은 LO를 위한 체배기는 별도의 칩으로 개발하였다.

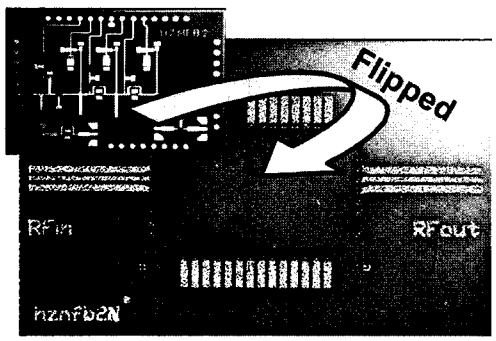
Sub-harmonic 믹서를 사용하였고 송신 블요파를 방지하기 위해 hairpin 형태의 필터를 삽입하였으며, [그림 5]는 송수신 구조와 형상을 나타낸다.



(a) 송신 칩 구조

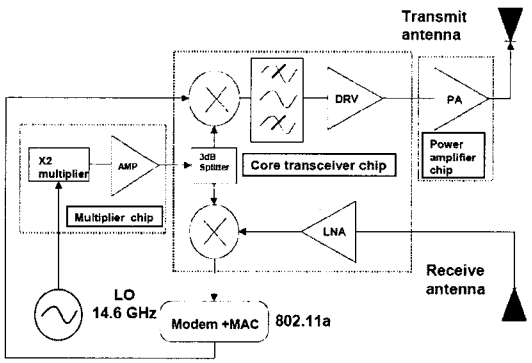


(b) 수신 칩 구조

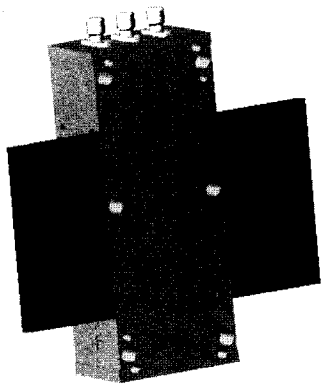


(c) 플립 칩 패키징

[그림 4] 에릭슨 단일 칩 송수기/수신기



(a) 송수신기 구조 블록도



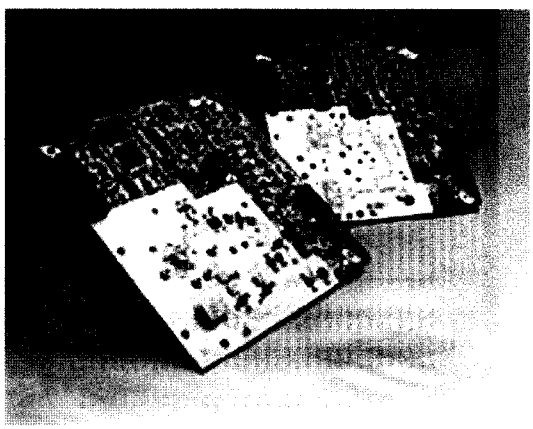
(b) 60 GHz 송수신 모듈 형상도

[그림 5] ITS용 60 GHz 송수신기

앞에서 살펴본 60 GHz 송수신기뿐만 아니라 많은 밀리미터파 송수신기에서 알 수 있는 한 가지 공통점은 LO의 경우에는 높은 안정도를 위한 PLL의 사용을 위하여 동작 주파수 대역보다 낮은 대역의 발진기를 사용하고 체배하는 방식을 사용하고 있다는 것이다.

최근 밀리미터파 송수신기에서도 ASK나 FSK와 같은 아날로그 방식의 변조에서 다양한 서비스의 지원 및 높은 전송 속도를 지원하기 위해 QPSK나 16 QAM 등의 고차 모드 변조 방식을 지원할 수 있고, 성능뿐만 아니라 저가격 패키기 기술이 적용된 제품들이 개발이 되고 있으며, RF 성능 보완을 위한 디지털 기술의 접목도 이루어지고 있다. [그림 6]은 밀리미터파 송수신기 모듈 제작으로 잘 알려진 Endwave사의 디지털 마이크로 컨트롤러가 내장된 smart T/R 모듈이라고 이름지어진 새로운 밀리미터파 송수신기 모듈로, 이 모듈에는 바이어스 및 주요 소자의 특성 모니터링을 통하여 RF 소자의 변동을 보상하는 기술을 포함하고 있다[11].

밀리미터파 point-to-point 시스템 개발 업체인 Gigabeam에서는 수십 Gsps의 속도를 가지는 ADC의 개발을 위해 Vitesse Semiconductor사와 InP 공정을 독



[그림 6] Endwave의 Smart T/R 모듈 사진

점 계약을 하는 등 옥외용 고정 통신 시스템에도 디지털 통신을 적용하기 위한 노력은 계속되고 있다[12].

그러나 현재 대용량 장거리 point to point 무선 전송 제품은 60 GHz에 비해 대기 감쇠가 적고 주파수 사용 허가 조건이 간소하며, 미국 FCC와 유럽 ETSI에서 동일하게 분배된 고정 통신용 전용 주파수 대역인 70/80/90 GHz 대역으로 점차로 이동하고 있는 추세이다[13].

<표 1>은 현재 상용 제품으로 나와 있는 밀리미터파 point to point 고정 통신용 제품들의 성능을 정리한 것이다.

Ⅲ. 60 GHz WPAN용 송수신기의 기술 동향

60 GHz 대역 WPAN용 송수신기의 경우 소형 및 저가격이 시장에서 널리 사용되기 위한 필수 요건이다. 그런데 지금까지 발표된 자료를 살펴보면 GaAs 계열을 이용한 고집적화 및 저가격화를 위한 연구 활동이 거의 없는 것처럼 보여지며, SiGe BiCMOS와 CMOS 관련 연구 기관들이 적극적 연구 개발 활동을 펼치고 있다. 본 고에서는 지금까지 발표되거나 시연되었던 연구 개발 동향에 대하여 기술하고자 한다.

3-1 SiGe BiCMOS를 이용한 송수신기 개발 현황

SiGe BiCMOS 기술은 f_T, f_{max}가 200에서 300 GHz 정도 까지 나오기 때문에 60 GHz 대역에서의 적용에 적합하다는 장점이 있다. 송수신기를 구현하는 데 있어서 필수 구성 부품인 PA, LNA, VCO, prescaler 등의 설계에 있어서 CMOS에 비해 구현이 용이한 장점이 있다. 실제 Bipolar PA의 경우, BV_{CBO}(대략 4~6 V)에서 동작시키면 P_{sat}가 16~20 dBm(without Power combining)정도까지 나오는 것으로 보고되고 있다[14],[15]. LNA의 경우에도 NF가 4~6 dB가 보고되고 있으며, VCO의 경우에도 $1/f$ 잡음이 적은 broadband noise 등의 특성을 보이며, 특히 prescaler의 경우에는 충분한

<표 1> 밀리미터파 Gbps급 Point to Point 고정 통신용 상용 제품

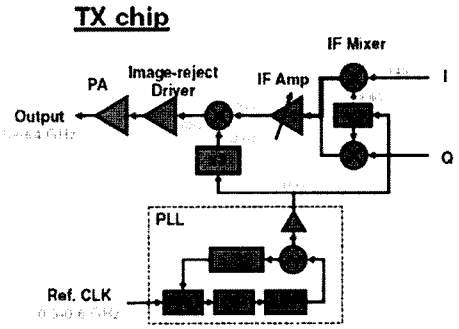
제조사	제품명	이용 주파수	전송 속도	변조 방식	출력 전력	안테나
Rayawave	AireBeam 60	57~64 GHz	1.25 Gbps	ASK	10 dBm	Cassegrain
	AireBeam 70	71~76 GHz	1.25 Gbps	ASK	17 dBm	Cassegrain
Bridgewave	AR60X	58.1/62.9 GHz	1 Gbps	BFSK	-	Cassegrain
	AR80X	72.5/82.5 GHz	1 Gbps	BFSK	-	Cassegrain
Comotech	ME1000C	57~64 GHz	1.25 Gbps	ASK	10 dBm	Cassegrain
	TE1000C	71~76 GHz	1.25 Gbps	ASK	17 dBm	Cassegrain
Proxim	6651E	57~64 GHz	1.25 Gbps	-	9 dBm	Cassegrain
	7451E	71~76 GHz	1.25 Gbps	-	10 dBm	Cassegrain
Gigabeam	G-series	71~76 GHz/81~86 GHz	1.25 Gbps	BPSK	20 dBm	Cassegrain
ELVA-1	PPC-1000	71~76 GHz/81~86 GHz	1.25 Gbps	DQPSK	13 dBm	Cassegrain
Loea	Loea2500	71~76 GHz/81~86 GHz	1.5 Gbps	OOK	10 dBm	Cassegrain

구현 가능성을 보였다[16],[17].

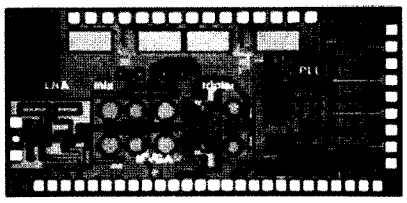
IBM은 8HP 0.13 um SiGe BiCMOS 공정을 이용하여 9 GHz의 IF 블록이 포함된 송수신기 칩을 2006년 ISSCC(International Solid-State Circuits Conference)에 발표하였다. 송수신기 모두 9 GHz의 IF를 이용하는 Super-heterodyne 방식을 이용하였다. [그림 7]과 [그림 8]에서 보이는 것처럼 송신기는 34~37 dB의 이득, 10~12 dBm의 P1 dBm, 그리고 20~25 dB의 image rejection 특성을 보였으며, 수신기는 38~40 dB의 이득, 5~6.7 dB의 잡음 지수, 그리고 -36 dBm의 P1 dBm(in) 특성을 보였으며, PLL의 위상 잡음은 -85 dBc/Hz 1MHz의 특성을 보였다.

또한, [그림 9]에서 보는 바와 같이 집적된 안테나를 사용하여 칩과 연결하고, 저주파 RF 모듈에 사용되는 저가격 molding 재질로 encapsulation하는 packaging 기법을 제안하였다[18]~[20].

IHP는 IHP SG25H1, 0.25 um SiGe BiCMOS 기술을 이용하여 Super-heterodyne 방식의 구조로 [그림 10]과 [그림 11]에서 제시된 RF 칩과 IF 칩으로 구성된 송수신기를 2006년 WWRF(Wireless World Radio Forum)에 발표하였다. RF 송신 칩은 PLL, Up-converter, Buffer Amp를 단일 칩에 집적화 하였으며, RF 수신 칩은 PLL, LNA, Down-mixer를 단일 칩에 집적화하

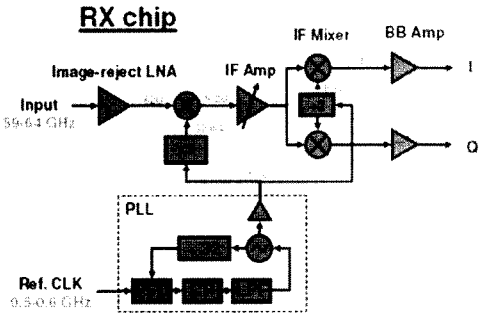


(a) 칩 구성도

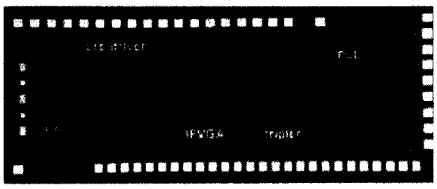


(b) 칩 사진

[그림 7] IBM의 60 GHz TX 칩 구성도 및 사진



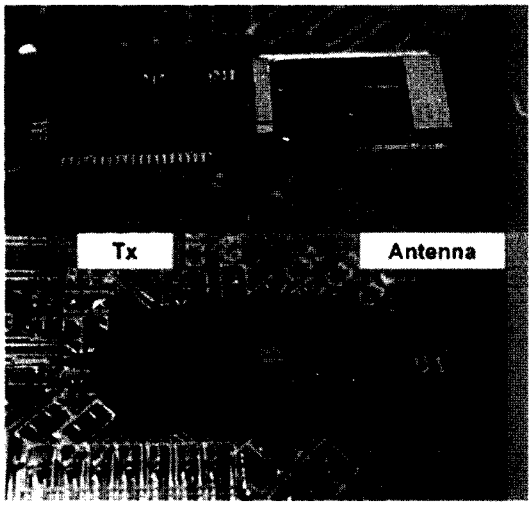
(a) 칩구성도



RX chip (3.4x1.7 mm^2)

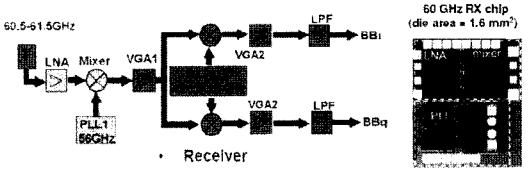
(b) 칩사진

[그림 8] IBM의 60 GHz RX 칩 구성도 및 사진



[그림 9] Low cost mold encaptulation된 TX chip과 안테나 사진

였다. 송신 칩 buffer Amp는 20 dB의 이득과 5 dBm의 P1 dB 특성을 보였으며, 수신기 LNA는 18 dB의



[그림 10] IHP의 수신기 구조 및 RF 수신 칩 사진

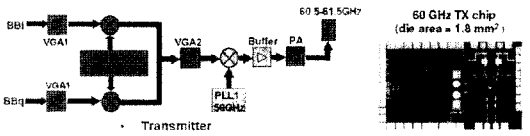
이득과 6.8 dB의 잡음 지수를 보였고, PLL은 -90 dBc/Hz@1 MHz 특성을 보였다[21]~[23].

[그림 12]는 실제 구현된 RF 송수신 보드의 사진이다. [그림 12]에서 보는 바와 같이 RX 보즈는 RF 칩과 비발디 안테나로 구성되어 있고, TX 보드는 송신 RF 칩과 GaAs PA와 vivaldi antenna로 구성되어 있다.

[그림 13]은 시스템 시연용 구성도이다. 시스템은 5 GHz의 IF 주파수를 이용하는 IF 송신 모듈/ 수신 모듈을 60 GHz대 RF 송/수신 보드를 이용하여 구현하였으며, 1 m 거리에서 250 Mbit/s QPSK 신호로 비트 에러가 없는 수신 성능을 보였다.

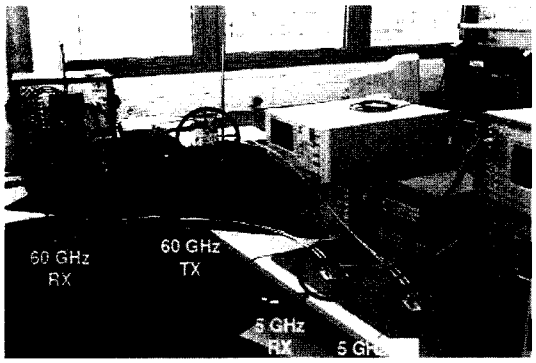
3-2 Si CMOS를 이용한 송수신기 개발 현황

최근에 CMOS 공정 기술이 발전함에 따라 f_T가 90 nm는 140 GHz, 65 nm는 210 GHz까지 증대되었다[17].



[그림 11] IHP의 송신기 구조 및 RF 송신 칩 사진

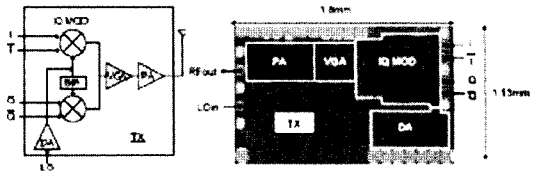
[그림 12] TX/RX 보드 사진



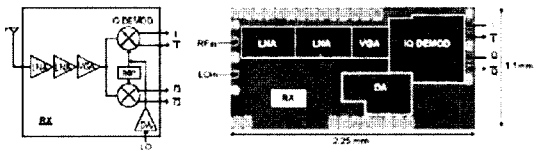
[그림 13] IHP 60 GHz transceiver 시스템

이에 CMOS 기술이 60 GHz 대역에서 이용 가능하게 되어 CMOS를 이용한 60 GHz 대역의 소자 및 송수신기에 대해서 활발한 연구가 이루어지고 있다[24]~[27]. CMOS 공정에서 gate length가 감소하면 breakdown 전압이 감소되고 이는 동작 전압의 감소를 유발한다. 이는 PA의 설계 시 충분한 동작 전압 swing을 제한하기 때문에 높은 출력을 내는 PA의 설계시 큰 제약이 된다. 그러나 최근 NEC에서는 P1 dB가 10 dBm 이상인 PA를 발표하였으며, SiBeam사는 beam forming을 이용한 전력 합성 기법이 적용된 송수신 칩을 발표하는 등, CMOS의 낮은 출력 전력을 극복하기 위한 노력들이 지속되고 있다[27],[28].

NEC는 2007년 ISSCC에 [그림 14]와 [그림 15]에서 제시된 60 GHz WPAN용 TX 칩, RX 칩을 발표하였다. 직접 변환 방식을 이용하여 송신 칩을 구현하였으며, LO drive Amp, I/Q Modulator, VGA, 그리고 PA로 구성되어 있다. 송신 PA는 14.3 dB의 이득과 10.5 dBm의 P1 dB 특성을 보여 현재 CMOS로 구현된 PA 중 최대 P1 dB의 성능을 보였다. 수신 칩 또한 직접 변환 방식으로 구현되었으며, LO drive amp, I/Q Demodulator, VGA, 그리고 LNA로 구성되어 있다. 그러나 송수신 칩 모두 내부에 VCO 및 PLL은 내장되어 있지 않아 실용화를 위한 연구가 추가되어야 할 것이다. NEC는 이 두 개의 송수신 칩을 이용하여 송신



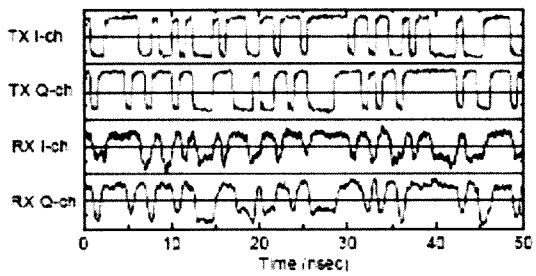
[그림 14] 송신기 칩 구조 및 사진



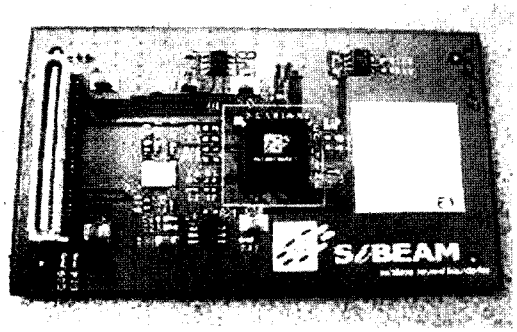
[그림 15] 수신기 칩 구조 및 사진

에서 2.6 Gb/s QPSK 방식의 평균 전력 6.0 dBm의 신호를 생성하여 송수신 특성 시험을 수행하였다. [그림 16]은 실행된 송수신 성능 시험 결과를 나타내며, 그때 수신 전력이 -47 dBm이었다[27].

SiBeam은 2008년 CES(Consumer Electronics Show) 2008에서 [그림 17]과 같이 60 GHz WPAN용 송수신 모듈을 발표하였다. 송수신 모듈은 크게 RF 송수신 칩과 baseband 신호 처리를 위한 DSP 칩으로 구성되어 baseband와 RF부의 2 chip으로 구성된 모듈을 시장에 선보인 상태이다. RF 송수신 칩의 구성 및 사진은 [그림 18]과 같이 super-heterodyne 방식을 이용하였으며, LTCC를 이용하여 전면에 패치 안테나를

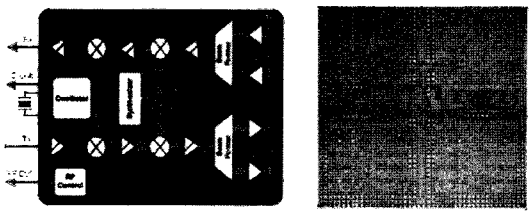


[그림 16] 2.6 Gb/s 변조 신호의 송수신 I/Q 신호 파형 측정 결과

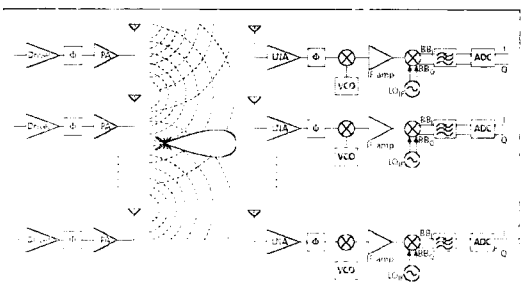


[그림 17] Sibeam이 CES2008에 발표한 60 GHz WPAN용 Transceiver

배치하고 후면에 칩을 실장하는 방식을 이용하였다. 또한, Beam steering 기법을 이용하여 송수신의 가시 경로뿐만 아니라 송수신기 사이에 방해물이 있을 때 이를 우회하여 전송하는 방식을 제안하였다. [그림 19]는 SiBeam에서 이용된 beam steering 기법의 개념도를 표현한 것이다[28],[29].



[그림 18] Sibeam의 RF 칩 구성도 및 사진



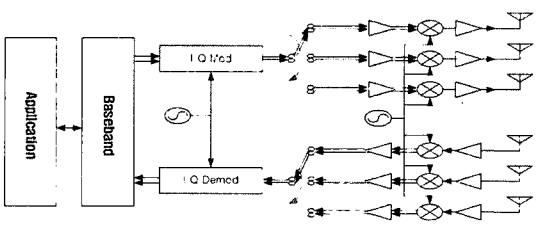
[그림 19] Beam steering 개념도

Ⅳ. 60 GHz WPAN용 송수신 모듈 개발

ETRI는 2006년부터 가격이 저렴하고 소형화가 가능한 WPAN용 Gbps급 전송을 위한 60 GHz 송수신기를 연구하였으며, 2007년 제작된 CMOS 칩을 실장하고 안테나 등의 수동 소자를 집적한 LTCC 모듈을 제작 및 시연하였다[30].

60 GHz 대역은 자유 경로 손실이 크기 때문에 이를 보상하기 위하여 안테나 이득이 높아야 하지만, 이렇게 되면 안테나의 빔 폭이 좁아지고, 송수신기가 확보할 수 있는 통신 영역(coverage)이 좁아진다. 하지만 위상 배열 안테나 또는 switched beam forming 안테나를 사용함으로써 안테나의 이득을 크게 하면서 통신 영역을 넓게 할 수 있다. 향후 두 가지의 기술 중 어떤 방법이 업계의 인정받을 수 있는가를 예측하는 것은 쉽지 않다. 왜냐하면 성능 측면에서는 위상 배열 안테나가 switched beam forming 안테나에 비하여 더 우수하지만, 칩의 면적이 매우 크고, 위상 천이기의 손실이 크기 때문에 매우 비효율적이기 때문이다. ETRI는 WPAN 소자의 가격이 낮으면서 위상 배열 안테나의 성능을 얻을 수 있는 방법을 연구하였다.

[그림 20]은 ETRI에서 제안한 switched beam forming 안테나를 이용한 60 GHz WPAN 송수신기의 개념도를 보여준다. 송신기와 수신기는 안테나를 포함해 총 3개의 경로로 구성된 RF부를 가지며, 단일 IF



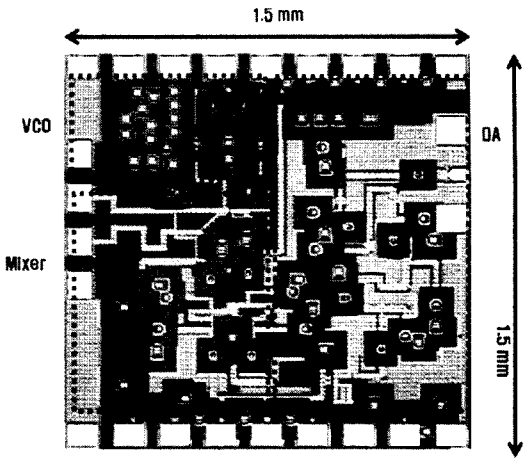
[그림 20] ETRI에서 개발한 60 GHz WPAN 송수신기 개념도

에 스위치를 통해 연결된다. 그리고, 각 안테나는 주 빔의 방향이 서로 다른 3개의 안테나로 구성되며, 가장 신호가 큰 경로를 IF에서 스위치로 선택한다. RF 경로가 3개이지만 CMOS로 집적하는데 있어서 기술적 문제가 전혀 없으며, 안테나의 빔 형성은 LTCC 기판을 이용하여 용이하게 구현할 수 있다.

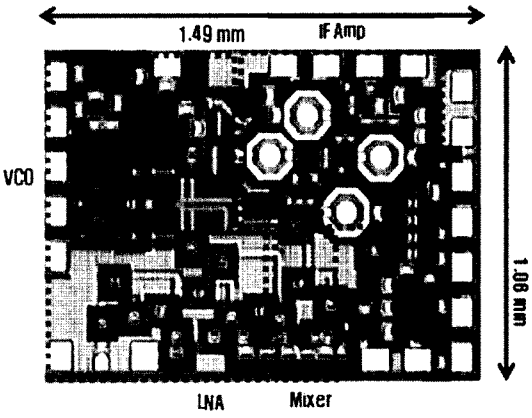
[그림 20]의 송수신기 개념으로부터 ETRI에서 개발한 송신 및 수신 모듈은 한 개의 RF 경로에 해당되며 2가지 종류로 나뉘어진다. 첫째, CMOS RF 송신 및 수신 부를 구성하는 각 구성 소자(VCO, driver amp, up mixer, LNA, down mixer)를 LTCC에 탑재하여 안테나와 집적시킨 송신 및 수신 모듈이며, 둘째, CMOS의 집적도를 개선시켜서 VCO, up mixer, driver amp를 집적시킨 송신 칩 및 VCO, LNA, down mixer를 집적시킨 수신 칩이다. 이용한 공정은 STMicro CMOS 90 nm 공정이며, 송신 칩과 수신 칩을 주 빔의 방향을 바꾸는 안테나와 집적하기 위하여 Ferro A6S LTCC 기판을 사용하였다.

STMicro에서 제공되는 90 nm 공정 라이브러리가 60 GHz 대역에서의 성능을 보장하지 않기 때문에 트랜지스터, 커패시터, 저항, 전송 선로 등 필요한 모든 소자들을 제작하여 60 GHz 이상까지의 측정을 통해 그 성능을 추출하여 라이브러리로 확보하였다. 이 측정값을 바탕으로 60 GHz 송신기와 수신기가 설계 및 제작되었으며 [그림 21]과 [그림 22]는 90 nm CMOS 공정을 이용해 제작된 송신 칩과 수신 칩의 사진을 보여준다.

[그림 20]에 보이는 바와 같이 송신기와 수신기 둘 다 single-to-differential mixer를 사용하기 때문에 RF는 단일 신호이며, IF는 차동 신호이다. 그리고 송신기의 경우, driver amp, up-mixer, 50 GHz VCO가 연결된 형태의 단일 칩으로 출력 P1 dB가 4.1 dB이며 수신기의 경우, LNA, down-mixer, IF Amp, 50 GHz VCO가 연결된 형태의 단일 칩으로 잡음지수가 8 dB로 측정되었다. <표 2>에 제작된 60 GHz CMOS



[그림 21] ETRI에서 개발한 60 GHz CMOS 송신기 단일 칩



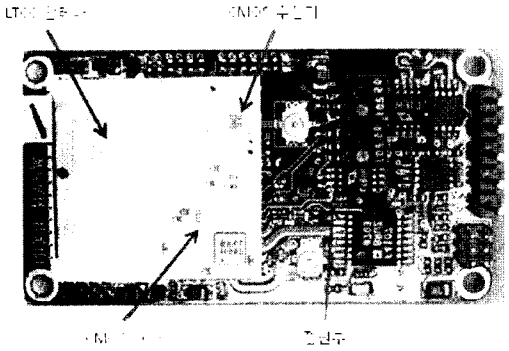
[그림 22] ETRI에서 개발한 60 GHz CMOS 수신기 단일 칩

송신 칩과 수신 칩의 측정 결과를 정리하였다.

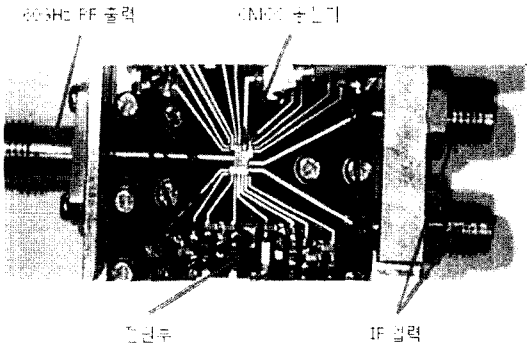
[그림 23]은 LTCC 기판 위에 2×4 마이크로스트립 패치 배열 안테나와 CMOS VCO와 LNA, down mixer 등 여러 개의 칩을 집적한 60 GHz WPAN 수신 모듈의 제작 사진을 보여준다. LTCC상에 CMOS 칩 실장을 위한 캐비티를 만들고 LTCC 기판을 FR4 기판 위에 탑재한 것이며, 전체 2×4 cm의 크기이다.

〈표 2〉 60 GHz CMOS 송신기/수신기 칩 측정 결과

	항목	측정값	비고
송신기	RF/IF 주파수	57~64 GHz/3~12 GHz	
	출력 P1 dB	4.1 dBm	GaAs PA를 사용
	위상 잡음	-90~95 dBc/Hz	@1 MHz
	LO rejection	-30 dBm	
	전력 소모	131 mW	
수기	RF/IF 주파수	57~64 GHz/3~12 GHz	
	수신기 이득	> 30 dB	
	잡음 지수	< 8 dB	
	위상 잡음	-90~95 dBc/Hz	@1 MHz
	전력 소모	127 mW	



[그림 23] LTCC 안테나와 집적된 60 GHz WPAN 수신 모듈



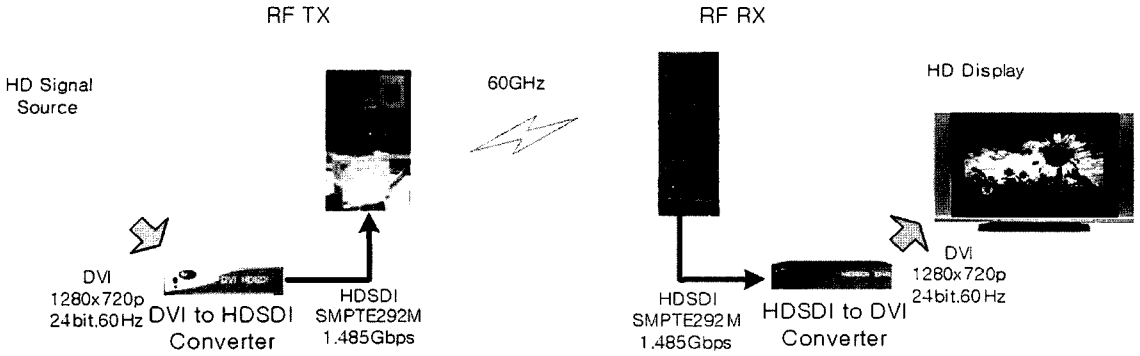
[그림 24] CMOS 송신 칩을 이용한 60 GHz WPAN 송신기 모듈

[그림 24]의 송신기 모듈은 CMOS 송신기 단일 칩을 이용해 제작된 모듈로 CMOS 송신기 칩에 구동 증폭기, 상향믹서, VCO가 구현되어 있으며, 안테나는 외부에서 V-type 커넥터를 이용해 연결되는 구조이다.

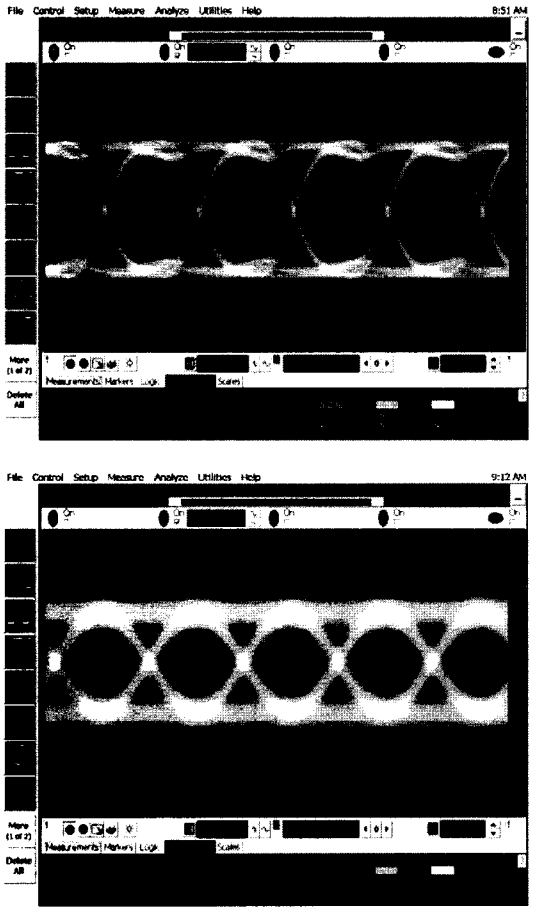
[그림 25]는 위의 60 GHz 송신기와 수신기를 이용하여 구축된 Test-bed 구조를 보인다. 우선 임의 파형 발생기를 사용해 2 Gbps의 I/Q 신호를 발생해 이를 제작 모듈로 입력하고 채널을 통과 후 최종 성능을 오실로스코프와 BER(Bit Error Rate) 측정기를 이용해 성능을 측정하였다.

성능 목표인 10^{-6}의 BER을 만족하는 최대 전송률은 2 Gbps로 측정되었으며, 그때의 오실로스코프 상에 나타난 eye-pattern은 [그림 26]과 같다.

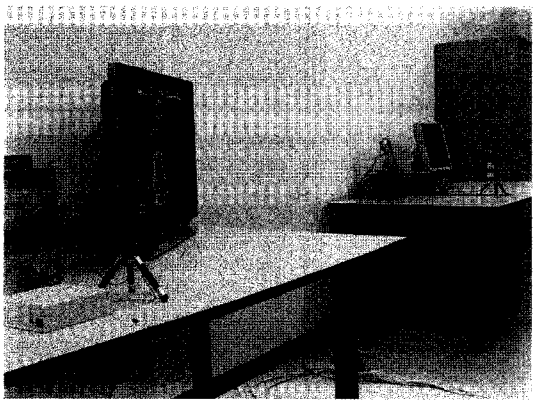
HD급 영상 전송 시연을 위해 구성된 시연 사진이 [그림 27]에 제시하였다. 고화질의 영상 소스를 직렬화시켜 주는 장비를 통해 1280 × 720 p(1.485 Gbps급)의 데이터로 변환 후 이를 제작 모듈에 입력하고 송신기와 5 m 떨어진 곳에 위치한 수신기에서 TV로 수신한 결과 왜곡 없이 깨끗한 화면을 얻을 수 있었다.



[그림 25] 60 GHz WPAN을 이용한 시연 구조



[그림 26] 2 Gbps급 전송 eye-pattern 시연 결과(위쪽(송신), 아래쪽(수신))



[그림 27] 60 GHz WPAN을 HDTV 전송 시연 사진

V. 결 론

60 GHz 대역에서 동작하는 점 대 점 통신과 WPAN 응용을 위한 송수신기의 저가격화와 소형화를 위한 기술 개발 동향을 살펴보았다. 그리고 ETRI에서 자체 개발한 WPAN용 CMOS 송수신 칩과 LTCC를 이용한 송수신 패키지 기술에 대하여 살펴보았고, test-bed 구현 결과도 소개하였다.

하지만 국제 표준으로 추진되고 있는 10 m 이내의 거리에서 수 Gbps급 데이터 통신을 위한 60 GHz WPAN의 경우 5 GHz 대역 송수신기 대비 경쟁력을 높이려면 비가시 경로 통신의 해결을 위한 송수신

구조 확보가 매우 중요하며, 해외 업체 및 연구소에서 개발한 수준을 뛰어 넘을 수 있는 저가격, 고성능 송수신 설계 기술 개발이 필수적이다.

또한, 국내에서는 60 GHz 대역이 용도 미지정으로 분배 고시되었기 때문에 60 GHz 대역의 사용을 활성화할 수 있는 점 대 점 통신을 위한 응용 서비스 시나리오 개발이 필요하며, 그와 병행하여 송수신기의 고성능, 저가격화 및 소형화를 위한 더욱 더 많은 노력이 필요하다.

이와 같은 시스템의 상용화를 위한 MMIC 설계 기술, CMOS 공정 기술, LTCC 등 패키지 제작 및 수동소자 설계 기술 등의 기반 기술을 국내의 업체, 학교 및 연구기관에서 충분히 확보하고 있음에도 불구하고 여전히 핵심 기술은 해외에 많이 의존하고 있기 때문에, 국내에서의 응용 서비스의 활성화와 국제 기술 경쟁력을 확보하기 위하여 기관간 많은 협력이 이뤄져야 한다.

기반 기술 확보 및 60 GHz 대역에서의 응용 서비스가 활성화 되면 다른 밀리미터파 대역에서도 다양한 응용 분야가 창출되어 이용이 활성화될 수 있을 것이며, 경제적 파급 효과도 매우 증가할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

[1] Su Khiong Yong, Chia-Chin Chong, "An overview of multigigabit wireless through millimeterwave technology: potentials and technical chaLlenGes", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, vol. 2007, Article ID 78907, 2007.

[2] IEEE Std. P802.15.3c/DF1, "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs): amendment 2: millimeter-wave based alternative physical layer extension", *IEEE*, 2008.

[3] F. Xu, K. Wu, "Guided-wave and leakage characteristics of substrate integrated waveguide", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 53, issue 1, pp. 66-73, Jan. 2005.

[4] C. H. Lee, A. Sutono, S. Han, K. Lim, S. Pinel, J. Laskar, and E. M. Tentzeris, "A compact LTCC-base Ku-band transmitter module", *IEEE Trans. Adv. Packaging*, vol. 25, no. 3, pp. 374-384, Aug. 2002.

[5] Y. Lee, W. Chang, and C. Park, "Monolithic LTCC SiP transmitter for 60 GHz wireless communication terminals", in *IEEE MTT-S Microwave Symposium Digest*, Jun. 2005.

[6] W. Byun, B-S Kim, K.-S Kim, K.-C Eun, M.-S Song, R. Kulke, O. Kersten, G. Mollenbeck, and M. Rittweger, "Design of vertical transition for 40 GHz transceiver module using LTCC technology," *37th Eur. Microw. Conf.*, pp. 1353-1356, Oct. 2007.

[7] K. Fujii, M. Adamski et al., "A 60 GHz MMIC chipset for 1-Gbit/s wireless links", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 1725-1728, Jun. 2002.

[8] Keiichi Ohata, Kenichi Maruhashi, Masaharu Ito, and Toshio Nishiumi, "Millimeter-wave broadband transceivers", *NEC Journal of Advanced Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 211-216, 2005.

[9] Sten E. Gunnarsson, Camilla Kärnfelt, Herbert Zirath, Rumen Kozhuharov, Dan Kuylenstierna, Christian Fager, Mattias Ferndahl, Bertil Hansson, Arne Alping, and Paul Hallbjörner, "60 GHz single-chip front-end MMICs and systems for multi-Gb/s wireless communication", *IEEE Journal of Solid-state Circuits*, vol. 42, no. 5, pp. 1143-1157, May 2007.

[10] D. J. Gunton, B. P. Pirollo, A. C. Brown, B. Kumar, J. Powell, D. C. Bannister, A. Barnes, D. Pansegrouw, P. Gardner, C. Constantinou, E. Lee, A. Lee,

T. Y. Lee, R. C. Hunt, A. G. Stacey, and C. J. Moss, "MILTRANS - Millimetric transceivers for transport applications", *The 2nd IEE Conference on Automotive Electronics*, pp. 251-254, Mar. 2006.

[11] http://www.endwave.com

[12] "GigaBeam turns to Ⅲ-Vs for ultra-fast broadband radio", *Compoundsemiconductor Magazine*, vol. 11, no. 11, pp. 16-18, Dec. 2005.

[13] Jonathan Wells, "Multigigabit wireless technology at 70 GHz, 80 GHz and 90 GHz", *RFdesign Magazine*, pp. 50-58, May 2005.

[14] C. Wang et al., "A 60 GHz transmitter with integrated antenna in 0.18 SiGe BiCMOS technology", *IEEE ISSCC*, pp. 186-187, 2006.

[15] U. R. Pfeiffer et al., "A 20 dBm fully-integrated 60 GHz SiGe power amplifier with ALC", *ISSCC*, pp. 356-359, 2006.

[16] M. Gordon et al., "An Inductor-Based 52 GHz 0.18 um SiGe HBT cascode LNA with 22 dB gain", *ESSCIRC*, pp. 287-290, Sep. 2004.

[17] Alvin J. Joseph et al., "Status and direction of communication technologies - SiGe BiCMOS and RFCMOS", *Proceeding of IEEE*, Sep. 2005.

[18] B. Floyd et al., "A silicon 60 GHz receiver and transmitter chipset for broadband communications", *ISSCC2006*, pp 184-185, Feb. 2006.

[19] U. Pfeiffer et al., "A 60 GHz radio chipset fully-integrated in a low cost packaging technology", *56th ECTC*, Jun. 2006.

[20] U. Pfeiffer et al., "A chip-scale packaging technology for 60 GHz wireless chipsets", *IEEE TMTT*, vol. 54, no. 8, pp. 3387-3397, Aug. 2006.

[21] Y. Sun et al., "An integrated 60 GHz transceiver front-end in SiGe: BiCMOS", *SiRF 2006*, pp. 269-272, 2006.

[22] E. Grass et al., "60 GHz SiGe-BiCMOS radio for OFDM transmission", *ISCAS2007*, pp. 1979-1982, May 2007.

[23] Y. Sun et al., "An integrated 60 GHz transceiver Front-end for OFDM in SiGe: BiCMOS", *WWRF 2006*, Apr. 2006.

[24] T. SuZuKi et al., "60 and 77 GHz power amplifier in standard 90 nm CMOS", *ISSCC2008*, pp. 562-563, 2008.

[25] T. Yao et al., "60-GHz PA and LNA in 90-nm RF-CMOS", *RFIC Symposium*, Jun. 2006.

[26] S. Pinel et al., "A 90nm CMOS 60 GHz Radio", *ISSCC2008*, pp. 130-131, 2008.

[27] M. Tanomura et al., "TX and RX front-end for 60 GHz band in 90 nm standard bulk CMOS", *ISSCC2008*, pp. 558-559, 2008.

[28] www.sibeam.com/products/whtpapers/60_GHz_for_WirelessHD_3_06.pd

[29] www.hotchips.org/archives/hc19/3_Tues/HC19.06?HC19.06.01.pdf.

[30] 한국전자통신연구원, 전파자원 이용기반 기술개발(07MR1200-01-0230P), 정보통신부, 2007.

≡ 필자소개 ≡

송 명 선

1984년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1986년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
1986년 2월~현재: 한국전자통신연구원 방송통신융합연구부문 인지무선연구팀장
[주 관심분야] 초고주파 및 밀리미터파 회로 설계, 응용시스템 개발

변 우 진

1992년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1995년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 (공학석사)
2000년 2월: KAIST 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1999년 11월~2004년 8월: 삼성전기㈜ 책임연구원
2004년 9월~현재: 한국전자통신연구원 방송통신융합연구부문 선임연구원
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 시스템 설계, 밀리미터파 CMOS 및 MMIC 설계, 안테나 설계, 전자파 수치해석

강 민 수

1996년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
1998년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
1998년 2월~2000년 3월: ㈜현대전자 통신사업본부 통신연구소
2000년 4월~현재: 한국전자통신연구원 방송통신융합연구부문 선임연구원
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 회로 설계, 이동 통신 시스템

김 광 선

1998년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
2000년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
2000년 4월~현재: 한국전자통신연구원 방송통신융합연구부문 선임연구원
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 발진기, PLL 설계, 밀리미터파 RF/IF 시스템 분석

김 봉 수

1999년 2월: 충남대학교 정보통신공학과 (공학사)
2001년 2월: 충남대학교 정보통신공학과 (공학석사)
2000년 12월~현재: 한국전자통신연구원 방송통신융합연구부문 선임연구원
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 수동회로 해석 및 설계, 밀리미터파 RF/IF 시스템 분석