

## 초전도 마이크로파 소자의 응용 및 향후 무선 시스템의 동향

석 중 현

삼성종합기술원 전자재료팀

### I. 서 론

고온초전도체 응용중 박막을 이용한 소자개발은 초전도체가 기존의 소자들보다도 저 전력 소모, high detection sensitivity, fast switching time, low signal distortion 등의 장점이 있기 때문에 전 세계적으로 활발히 연구되고 있으며 이중에서 고온초전도 박막을 이용한 마이크로파 수동소자 연구는 초전도체의 저 손실과 low distortion의 특

성을 이용한 것으로 고온초전도 응용 분야 중에서 가장 먼저 실용화될 것으로 기대되고 있다. 1993년 미국에서는 고온초전도 마이크로파 소자들을 개별적으로 개발하여 우주에서 위성통신용 소자로 사용하고자 실질적으로 HTSSE-I(High Temperature Superconductivity Space Experiment)을 수행하였고 1997년 HTSSE-II를 수행하여 실제 통신시스템에서 상용화 가능성이 점검되었다.<sup>[1]</sup> 이와 관련된 고온초전도 수동소자 및 마이크로파 서브시스템을 제공한 연구기관들을 표 1

〈표 1〉 HTSSE-I(a), II(b) 과제와 관련된 고온초전도 마이크로웨이브 소자  
(a)

연구기관	Microwave devices
AT&T bell lab.	YBCO ring resonator at 4.74 GHz
Dupont	Thallium based ring resonator at 4.9 GHz
Ford Aerospace	Dielectric resonator with YBCO thin film
General Atomi	Coated cavity at 10 GHz
General Electronics	Coplanar YBCO resonator at 4.8 GHz
High Tc Super	Bulk YBCO cavity at 10 GHz, power limiter
Honeywell	1X12 linear array YBCO IR bolometer
Huges Research Lab.	Six-pole YBCO filter at 9.6 GHz
HYPRES, Inc	2 nanosec. YBCO delay line, 4 GHz wide
ICI Composites	Thick film coated YBCO cavity at 5 GHz
Locked Space & Missiles	Thallium based thermal isolator
MIT Lincoln Lab.	Six-pole 300 MHz bandwidth filter at 4.7 GHz
David Sarnoff Reseach	4-pole YBCO 50 MHz B.W. filter at 9.3 GHz
Superconducting Tech.	Thallium based ring resonator at 4.9 GHz
TRW	YBCO end-coupled resonator at 10.4 GHz
Westinghouse	4-pole YBCO edge-coupled filter at 9.4 GHz
Naval Research Lab.	5-pole edge-coupled YBCO filter at 9.1 GHz
JPL	YBCO low pass filter at 9.7 GHz
Univ. of Wuppertal	YBCO patch antenna resonator at 5 GHz

(b)

연구기관	수동소자	소자spec 및 특성
ComDev	Microwave Frequency Channelizers	- Microstrip Channelized 1. Four Channel: 120 MHz wide 2. Four pole design 3. Thin film coupler
Westinghouse	Delay lines	- Delay line Characteristics 1. 2-6 GHz bandwidth 2. 40 nsec delay line 3. 1-3 dB insertion loss 4. small size
NRL	Channelized Receiver	- Hybrid 9 GHz channelized receiver with MMIC mixer
JPL/Lewis RC	Low noise receiver	- Low-noise HTS/GaAs Downconverter 7→1 GHz
TRW	Digital Multiplexer	- Logic using HTS SQUID
MIT/Lincoln lab	Wideband Cueing Receiver	- Receiver incorporates 1. Tapped delay line 2. HTS chirp filters

에서 보여주고 있다. 근래의 상용화 관점 및 앞으로의 연구개발에서 중요시되고 있는 요소를 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 특성이 우수한 소자를 보다 소형 및 경량으로 제작이 가능하다. 비록 초전도소자는 냉각기 결합이 필요하지만 초전도소자 뿐만 아니라 전체시스템의 성능향상에 필수적으로 이 결합이 이루어져 소형, 고성능의 통신시스템을 개발할 수 있다. 이동 통신은 물론 고정 통신 기지국에서도 소형화가 주요 경쟁력으로 대두되고 소자의 성능 향상으로 고정 통신 기지국 수의 감소에 따른 비용절감이 가능할 것으로 생각되고 있다. 1996년 미국의 SCT, Conductus 등의 venture 기업들은 PCS(Personal Communication Service) 용의 수신기 전단에 대한 현장에서의 성능시험까지 실시한 바 있고 최근 1997년에 일본의 마쓰시다, 스미토모와 교세라는 공동으로 장래의 이동시스템 통신기지국의 고성능, 소형화 및 에너지 절약화를 실현하는 통신기지국용 초전도 필터 시스템을 개발하였다. 현재 상용화 단계에 와있는 고온초전도 PCS 통신용 필터뿐만 아니라 주요 수동소자(delay line, 변위기, 안테나, 공진기, 필터,

interconnection line 등)의 개발로 마이크로파 통신시스템의 구성도 앞당겨지게 될 것이다. 둘째, 유전체, 자성체 박막 등과 고온초전도 박막과의 다층막으로 신개념, 신기능의 차별화 된 통신소자개발이 가능하다. 예를 들면 고온초전도/강유전체의 다층막 구조를 갖는 가변(tunable) 마이크로파 소자개발은 1998년 미국의 DARPA project의 일환으로 활발하게 연구되고 있다.<sup>[2]</sup> 유전체 박막에 전기장을 걸어주어 주파수 및 위상을 가변시키는 고주파 소자개발은 차별화된 성능뿐만 아니라 소형 및 경제적 측면에서 경쟁력이 있는 연구분야이다. 현재 반도체 varactor 다이오드가 가변소자로서 널리 쓰이고 있으나 빠른 switching time(수 ns)과 저전력 control, 저손실의 tunable microwave device(tunable filter, tunable phase shifter 등) 개발은 매력적이라 할 수 있다. 또한 기존의 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuits)반도체기술을 이용한 능동소자로서 현재 2.4 GHz와 19 GHz 대 향후 최대 155 Mbps급의 디지털 신호를 전송하기 위한 60 GHz 대의 무선 LAN 시스템의 수신기 모듈에 사용되는 p-HEMT

based LNA(Low Noise Amplifier)와 송신기 모듈에 사용되는 HBT based PA(Power Amplifier) 등과 hybrid-MIC 기술로 시스템개발에 응용을 기대해 볼 수 있다. 장래의 고주파 응용 시장에서 widgap 반도체를 이용한 power device의 기술동향 또한 초전도 기술과의 접목이란 관점에서 중요성을 가진다. 주파수가 30 GHz 이상(파장 1 cm 이하)의 밀리미터파 응용기술은 아직 일반 상용화의 단계에는 이르지 못하였지만 고속 무선 LAN, 자동차 충돌방지 레이더 시스템 및 핵심군사용 기술로서 이미 사용 중이고 초전도체를 이용한 밀리미터파 소자의 제작은 이러한 소자제작에 필요한 기술의 첨단성과 기존 사용 주파수대역에서의 정보처리량이 포화상태에 이르게 될 미래 사회에서의 필요성 등으로 인해 선진각국의 전략적인 연구분야로 지정되어 있는 분야이다.

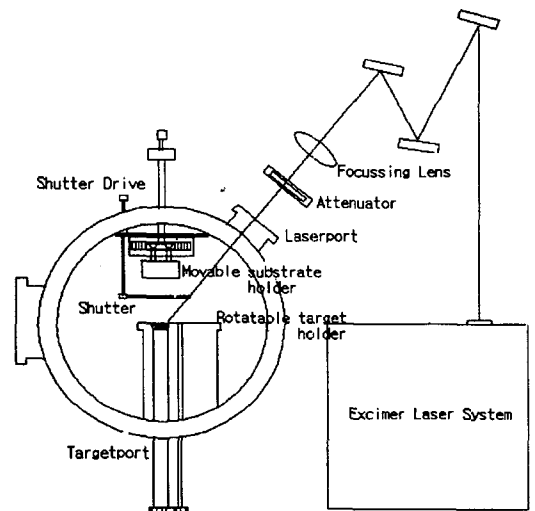
## II. 통신기지국용 고온초전도 필터 시스템 개발

미세선 고온초전도 필터의 경우 PCS, IMT-2000 및 위성통신 주파수 대역에서 기존의 유전체 필터나 SAW 필터에 비해 매우 작은 삽입손실(insertion loss)을 보이고 통과대역이 작고 동시에 우수한 out-band 특성을 지닌 소형의 고온초전도 필터 제작이 가능하다. 현재 위성통신에서 요구되는 high-Q( $\sim 10^4$ ), 3% 미만의 bandwidth를 만족하는 dielectric-loaded cavity 필터가 사용되고 있는데 소자의 크기가 고온초전도 필터에 비해 약 100배정도 커 필터뱅크 시스템의 크기와 질량에 있어서 고온초전도 필터를 사용한 필터뱅크 시스템 개발로 대체가 가능하다. 이에 대한 요소기술을 살펴보면 다음과 같다.<sup>[3]</sup>

### 1. 고온초전도 $YBa_2Cu_3O_y$ 박막 제작

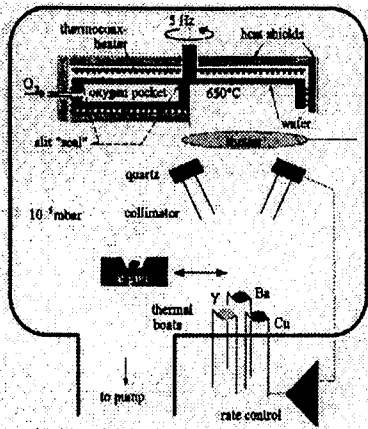
고온초전도체를 전자소자로 응용하기 위해서는 박막제작이 필수적인데 최근들어 Excimer Laser를 에너지원으로 하여 양질의 초전도 박막을 제작하는 것이 가장 보편화되어 있다. Pulsed Laser

Deposition(PLD)법은 강한 에너지의 레이저를 사용하기 때문에 증착속도가 빠를 뿐만 아니라 박막의 조성을 용이하게 제어할 수 있다. 더욱이 거의 모든 물질을 박막화할 수 있기 때문에 고온초전도체 뿐만 아니라 금속산화물(유전체, 자성체 등), 반도체 등의 여러 가지 물질을 다층박막으로 제작하는 것이 가능하여 초전도 전자소자 제작이 매우 유리하다. 그러나 PLD법의 가장 큰 약점인 박막 표면 morphology와 대면적화에 있어서는 아직도 완벽하지는 않다. PLD용 chamber와 전체시스템 구조는 그림 1에서 보여준다. Lambda Physik사의 KrF excimer laser(LPX305iF)의 규격은 파장이 248 nm, 펄스 에너지가 1,200 mJ max. 최대출력은 50 W이고 고순도의 Krypton, 3%  $F_2/He$  balance, Neon 개스를 사용한다. PLD법을 이용하여 YBCO 박막을 제작하는 경우 주요 변수들의 변화에 따른 박막 특성변화를 관찰함으로써 최적공정변수를 도출한다. L-band의 필터를 제작 및 향후 hybrid-MIC를 하기 위해서는 적어도 직경 3



(그림 1) Pulsed Laser Deposition 시스템의 개략도

inch 이상의 양면 박막이 필요한데 이를 위해서 기판이 놓이는 히터의 구조 및 플룸(plume)과의 상대적 위치가 매우 중요하다. 1997년 독일의 문헨 그룹에서 직경 8 inch 사파이어기판 양면에 고품질의 YBCO 박막을 성장시킬 수 있는 thermal



(그림 2) Thermal Reactive Coevaporation 시스템의 개략도

reactive coevaporation 시스템을 개발하여 시판하기 시작했다. 이 시스템은 그림 2에서 보는 바와 같이 고진공하에서 적당하게 oxidization해 줄 수 있는 oxygen pocket을 갖고 700°C 까지 열적 안정을 갖는 rotating disk substrate heater가 가장 중요한 핵심이라 하겠다. 상기 각각의 방법으로 독일(Coevap.)과 일본(Off-axis PLD)에서  $\text{LaAlO}_3$  기판에 제작한 양면 YBCO 박막의 특성은 inch당 2% 이내의 두께 균일성을 보이며 임계 온도 86 K 이상, 77K에서 임계전류밀도  $2.5 \times 10^6$  A/cm<sup>2</sup> 이상의 균일한 값을 양면에서 보인다.

## 2. 마이크로파 필터 설계

고온초전도 필터개발은 여러 종류의 형태가 있지만 가장 많이 연구되고 있는 것은 사용된 주파수의  $\lambda/4$  정도의 길이와 50Ω 임피던스의 특성을 갖고있는 공진기가 평행으로 구성된 평행 결합선 방식의 대역통과 필터이다. 대역통과 필터를 설계하기 위해 먼저 저역통과 필터의 프로토타입 값을 이용하거나 실제 구현할 수 있는 공진기의 L, C 값과 결합 커패시턴스를 이용하여 얻을 수 있고 Supercompact, EEsof과 같은 회로 simulation 소프트웨어를 이용하여 근사적으로 고온초전도 마이크로스트립 구조를 설계할 수 있다. 그리고 HFSS, Momentum 소프트웨어를 이용한 2~3차원 전자장 해석을 통해 패키징을 포함한 소자설계도 별

크형태의 소자(예, 유전체 필터 듀플렉서)에 더욱 중요한 부분이라 할 수 있다. 고온초전도재료는 임계 전류밀도 이상의 전류를 흘리면 마이크로파 신호에 저항이 커지기 때문에 손실의 증가, 주파수 변동 및 신호의 비떨어짐이 생긴다. 고온초전도 필터를 송신시스템용 필터로 사용할 경우 고온초전도 필터는 큰 power를 지닌 고주파 신호에 대한 처리능력을 지녀야 한다. 이러한 목적을 위하여 고온초전도 박막의 특성을 극대화시킬 수 있는 disc 형태의 설계를 이용한 필터 제작기술이 연구되고 있는데 이는 disc 형태를 사용할 경우 단순한 미세선 형태의 설계를 이용할 경우 관측되는 미세선 가장자리에서의 전류밀도의 급격한 증가가 나타나지 않기 때문이다. 현재 이러한 disc 형태를 이용하여 3.4 GHz~4.2 GHz 대역에서 60 Watt의 처리가 가능한 4-pole 필터를 제작할 수 있는 것으로 알려져 있고 이러한 정도의 특성은 PCS 주파수 대역에서 송신용 필터로 처리해야 하는 power의 최대치인 약 100 Watt 정도 크기를 구현할 수 있는 값이다.<sup>[4]</sup> 결국 같은 특성을 갖으며 소형이며 큰 power를 전송할 수 있는 소자설계가 계속 이루어질 것이다.

## 3. 냉각기술

송신신호의 큰 power를 도모하면 전기저항의 증대에 의해 Joule열이 발생하기 때문에 냉동기에 의해 냉각해야 함으로 냉동기의 크기 때문에 필터뱅크의 소형화에 걸림돌이 되었다. 고온초전도 박막을 효율적으로 초전도 임계온도 이하로 냉각하기 위해 열전도성 재료와 열전도 구조의 최적화를 이루어야 한다. 이를 통해 소형냉동기를 사용해 Joule열을 효율적으로 냉각하고 필터 시스템을 소형화하며 초전도박막의 온도상승을 저지한다. 초전도 필터에 사용되는 고주파(~2.3 GHz), 대전력신호(~25 W)용 모듈에서 고효율 냉각설계를 하기 위해서 발열분포 해석을 하는데 그 내용을 보면 진공에서 온도분포측정, 극저온에서 발열분포 해석, 외부 열유입에 의한 온도분포 해석, 그리고 고주파, 대전력에서 온도분포 측정 등이다. 일본 통신성 연구 프로젝트로 개발한 통신기지국용

초전도 필터 시스템은 소형의 고성능 냉각기와 냉각열 설계 기술을 통해 그 크기가 53x60x25(cm<sup>3</sup>)로 소형화하였다. 이 필터 시스템을 기지국에 이용할 경우 필터에 입력되는 송신신호 전력손실이 적어 같은 값의 전력신호를 송신하기 위한 증폭기가 상당히 작고 냉동기의 소비전력을 포함해도 기지국 시스템이 저소비전력으로 동작할 수 있다. 예컨대 기지국 신호 총출력이 500W이고 통신지역이 2 km 경우, 종래 방식으로는 송신신호 필터 손실에 의한 전력손실이 40%, 증폭기 효율이 20%이기 때문에 송신부소비전력은 약 4.2 kW가 된다. 초전도 필터를 사용하면 필터에 의한 전력손실이 1% 이하, 증폭기 효율이 40% 이상으로 송신부 소비전력은 약 1.3 kW 이하가 된다. 기지국이 10,000개 있다면 연간 에너지 절약효과는 2억5천만 kWh/yr 로 원유 60,000톤에 해당되는 양이다. 참고로 77 K에서 사용할 경우 냉동기의 소비전력은 약 200 W 정도 되지만 종래 방식의 필터에서의 전력손실이나 또는 여러 증폭기에서 발생한 열을 냉각시키기 위한 공냉 fan 작동 정도의 전력을 소비하는 것으로 견적된다. 통신기지국에서 송신부의 고성능 저손실화에 의해 시스템의 소형화, 에너지 절약화가 가능해져 이동통신 기기의 경량화, 신뢰성의 향상이 가능하게 되었고 최근 통신사업자의 협력을 얻어 신뢰성 검토나 통신시스템에서의 필드 테스트 등을 실시하면서 실용화검토 단계에 와 있다.

### III. 밀리파대 무선통신 시스템의 연구동향 및 Widegap 반도체의 고주파 power 응용

21세기를 앞두고 사회, 경제가 급격히 변화되고 복잡 다양화되는 상황 속에서 정보의 중요성은 날로 높아지고 있고 정보화 사회로의 흐름은 필연적으로 이루어지고 있다. 정보의 전달 수단이 되는 정보통신 분야는 지금의 이동통신 분야의 급격한 진전, 정보통신 infrastructure의 정비 및 고도화에 의한 멀티미디어 사회의 창출로 앞으로 더욱

발전할 것으로 기대된다. 일본에서 시도하는 최대 data 전송속도가 25 Mbps인 고속무선 access(이동통신)와 최대 156 Mbps인 초고속무선 LAN(고정통신)시스템으로 이루어지는 멀티미디어 이동 access(MMAC : Multimedia Mobile Access Communication Systems)<sup>[6]</sup>의 실현은 “언제, 어디서, 누구나” 고품질, 대용량, 초고속으로 멀티미디어 정보를 통신하는 고도의 정보통신 사회진입에 중요한 의미를 갖는다.

#### 1. 고속무선 Access

고속무선 access는 공공공간(실내외)외에도 사업소 내에서의 이용을 상정하고 있다. 기간 망에는 통신사업자나 광fiber망을 이용한다. 기간 망에만 채용하거나 또는 기간 망으로부터 무선구간까지의 전송기술에는 ATM(비동기 전송 mode)를 채용한다. 무선 주파수대는 25GHz, 40GHz, 60GHz 등 세가지가 후보에 올라 있다. 이들은 상당히 높은 주파수이기 때문에 고속전송은 실현하기 쉬우나 전파는 주파수가 높을수록 직진성이 강해 도달거리가 짧아지기 때문에 방해물이 많지 않는 장소에서의 단거리 통신으로 한정된다. 시스템 대역폭은 100~500 MHz 이며 최대 전송속도는 25 Mbps, 한 user의 평균속도는 6~10 Mbps 정도이다. 통신거리는 수십에서 100m 이내가 될 전망이다. 보행속도 정도의 저속이동이라면 통신품질이 너무 떨어지지 않도록 하고 무선기지국이 바뀌더라도 통신을 계속할 수 있는 hand over 기능도 갖추고 있다. 최근 NTT의 시스템은 “AWA(ATM Wireless Access) system” 이라고 하는 명칭으로 25 GHz대를 쓰는 사양을 갖고 있는데 무선기지국의 송신전력은 수십 mW, 셀반경은 100m 정도이고 무선구간의 다원접속방식으로 TDMA(시분할 다원접속)를 쓰는 것으로 알려졌다. 최대 data 전송속도는 25 Mbps이므로 예를들어 4채널 다중으로 하면 한명의 user당 약 6 Mbps로 전송할 수 있다. 고속무선 access 시스템은 자영망 뿐만 아니라 이동통신 서비스에도 사용할 수 있는 기능으로 되어 있다. 예를 들면 일본의 아스텔동경은 infrastructure 투자를 낮게 유지하면서 고속, 고

품질의 서비스를 제공할 수 있게끔 PHS (Personal Handy-phone System) 서비스망 속에 국지적으로 MMAC 무선기지국을 설치하고 이동 기로부터 무선기지국까지 상향측에는 PHS를 쓰고 하향측에는 MMAC를 쓰는 비대칭 data통신 서비스(AWS : Asymmetric Wireless access System)를 제공할 수 있으므로 PHS 서비스를 강화할 수 있는 중요한 수단이라고 생각하고 있다.<sup>[6]</sup> MMAC의 data전송속도는 2000년도에 실용화할 예정인 차세대 휴대전화 IMT-2000의 2 Mbps와 비교해보아도 상당히 빠르다. 이 때문에 IMT-2000과 MMAC의 복합서비스의 상용화도 실현될 가능성이 있다.

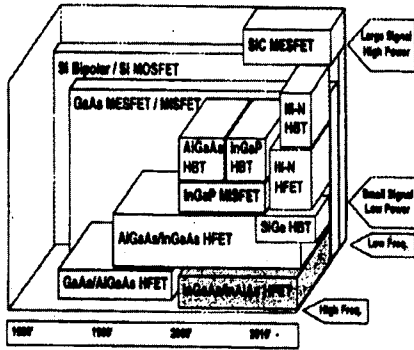
## 2. 초고속무선 LAN

실내, 구내의 LAN에 access하는 무선 LAN은 더욱 고속으로 컴퓨터 통신을 할 수 있는 시스템으로서 이미 이용되고 있다. 실용화되어 있는 것은 2.4 GHz 대역을 사용하는 최고속도 1~2 Mbps 방식과 19 GHz 대역을 사용하는 최고속도 15 Mbps 방식이 있다. 각각 장단점을 갖고 있는데 전자는 복수의 컴퓨터를 이용하면 충분한 속도를 얻지 못하고 후자는 notebook 컴퓨터에는 적합하지 않으며 cost가 비싸다는 점이다. 한편 멀티미디어 서비스를 지원하는 network으로서 광 fiber에 의한 ATM backbone 구축이 고려되고 있는데 사업소내(실내, 구내)에서 이용하는 것을 전제로 광 fiber망을 기간망으로 이용한다. 또한 고속무선 access와 같이 ATM기술을 쓰고 무선 주파수대는 60 GHz에서 최대 156 Mbps의 data전송속도를 실현할 계획이다. 이것은 user당 10 Mbps를 지원함과 동시에 cost의 대폭 삭감을 목표로 하는 시스템이다. 정지상태에서의 이용을 상정하고 있지만 hand over기능은 있다. 하지만 전파의 도달거리가 10m~수십m 정도로 짧은 데다가 거의 회절하지 않기 때문에 장애물이 많은 장소에는 적합하지 않다. 일본의 우정성에서는 2010년을 목표로 고속이동 중에도 전송속도가 최대 156 Mbps를 가능케 하는 고도의 멀티미디어 이동 access를 실현하기 위한 새로운 연구개발을 실시하고 있다. 구체적으

로는 1998년부터 지금까지의 소자 연구개발과 함께 이동중인 대용량 멀티미디어 통신을 실현하는 통신방식의 연구인 “이동 access 기술의 연구개발”에 착수하고 있다. 또한 1999년부터 고속이동 중에 통신영역의 전환제어를 실현하기 위한 연구인 “고속 zone 전환제어 기술의 연구개발” 등 필요한 연구개발에 순차적으로 착수해 갈 예정으로 알려졌다. 소자의 연구개발로는 18 GHz 이상 밀리파대 소자로 MMIC 및 수동소자에 관한 연구, 고주파 소자의 설치기술에 관한 연구, 고안정, 저잡음 고주파 발진기에 관한 연구, 고속 변복조 회로에 관한 연구 등을 들 수 있고 전파 전반 특성에 관한 연구로는 18~30 GHz대 전파의 이동통신 환경에서 multi-pass 해석 등을 하기 위해서 전파의 도래 방향별 지연 특성을 해명하기 위한 기초 연구 등이 이루어 지고 있다.

## 3. Widgap 반도체의 고주파 power 응용

이제부터 21세기에 걸쳐서 광통신이나 마이크로파, 밀리미터파 통신을 이용한 멀티미디어 시대가 도래할 것이다. 초소형 단말을 실현하는 초저 전압 동작 소자에서부터 초고주파 통신을 가능케 하는 초고속 소자, 광/전기신호 변환을 하는 OE 집적회로 등이 점차 필요해질 것이다. 아울러 이들 시스템을 뒷받침할 고성능 infrastructure계 device의 수요도 급증할 것이다. 이러한 요구에 부응할 수 있는 소자의 seed 가능성을 현행 기술을 토대로 살펴보면 고주파, 수신용 증폭기(소출력)측에서는 GaAs계 화합물 반도체가, 저주파수, 송신용 전단 증폭기에서는 Si계 반도체가 장래에도 여전히 유력하지만 widgap 반도체의 전자소자 응용이 순조롭게 진행된다면 고효율, 초고주파 측에서 큰 점유율을 기대할 수 있다. 종래의 통신형태인 큰 기지국(방송국)과 수많은 수신단말에서 최근에는 중규모의 기지국과 수많은 송수신 단말로 변하고 “아날로그에서 디지털로”, “저주파에서 고주파로”, “공공에서 개인으로”, “고정에서 이동으로”의 경향, 중출력 수준의 기지국과 송수신 증폭기를 갖는 단말의 수요증대를 볼때 고주파, 고효율 소자로서 widgap 반도체의 응용 가능성은 높다 하겠다. 그



(그림 3) 2010년까지 high power, 고주파 소자의 전망

림 3 은 향후 2010년까지 high power, 고주파 소자의 전망을 보여주고 있다.<sup>[7]</sup>

이동통신 단말에서는 가장 중요한 경쟁력은 경량화, 소형화, 저가격화이다. cellular 단말의 송신 증폭기로서 사용하고 있는 power HIC 모듈의 크기와 동작전압의 감소경향을 보면 이 분야에서 기술이 급진전되고 있음을 알 수 있다. 이것을 power device 기술의 관점에서 보면 배터리의 수명을 연장하여 통화시간을 길게 하기 위한 저소비 전력화, 저동작 전압화, 복잡한 modulation 방식을 도입한다. 그리고 대용량 디지털 신호를 취급할 수 있도록 저변형화, 저잡음화, 더욱 높은 주파수 대역을 사용해서 통신 주파수를 유효하게 이용하기 위한 고출력화, 고주파화를 들 수 있다. 이 들 기술적인 과제와 GaAs계 소자의 특징이 잘 일치하고 있어 향후에도 단말의 송신 증폭기는 GaAs 계 소자가 주력이 될 것이다. 즉 소형화 및 대량생산을 통한 저 cost화가 가능한 MMIC가 많은 방식의 휴대 단말에 쓰일 것으로 보인다. 단말용 송신 증폭기는 출력의 절대 level이 작기 때문에 widegap 반도체를 사용하는 장점은 그다지 기대하기 어렵다고 볼 수 있어 widegap 반도체의 보급이 가장 뒤쳐진 분야라고 볼 수 있다. 그러나 SiC는 휴대가 가능한 10 V 이하의 전압에서 오히려 Si, GaAs 보다도 충분히 큰 전계강도를 얻을 수 있어 실용상의 문제는 없다. 다만 SiC가 Si나 GaAs와 같이 저 cost화가 가능한가에 달려있다.

이동통신 기지국의 출력수준은 수백 mW에서

수십 W이기 때문에 고체소자를 사용하고 있다. 초기의 아날로그 통신에서는 Si bipolar나 SiMOSFET가 주력이었지만 디지털화로 인하여 여기서도 역시 저변형 GaAs power FET가 급속하게 진출했다. 출력 수십W인 cellular 기지국에서는 high-power FET를 몇 단이나 power합성한 포화 출력 수백 W정도의 RF power unit이 사용되고 있다. 기지국 그 자체는 이와 같은 송신증폭기를 각 섹터마다 배치하고 있어 그것을 뒷받침하는 냉각장치, 전원계통, 제어계통을 포함하면 특히 cellular용으로는 대규모가 된다. 또한 일반 방송국과는 달리 수많은 중소출력 기지국을 설치해야 하기 때문에 특히 수요가 많은 인구 밀집지역, 시가지에서 부지확보가 어려우므로 기지국도 단말과 같이 소형화가 매우 필요한 상황이다. SiC는 GaAs의 약 10배의 열전도도를 갖기 때문에 같은 전력이라도 표면온도는 76 °C로 낮고 100W의 소비전력에서는 223 °C가 되지만 widegap 반도체의 특징인 고온동작이 가능해 충분히 실용 가능한 범위라고 생각한다. 이 때에 heat sink 저면은 모두가 같은 60 °C 정도이므로 냉각계통도 거의 동일하게 구성할 수 있다. 이처럼 widegap 반도체를 사용함으로써 이상적으로는 최종단 한 개의 칩구성으로 RF power unit이 실현되어 기지국 size의 대폭축소가 가능해 진다. 방송용 기지국으로서 UHF, VHF대에 이르는 TV 방송은 kW급 이상의 상당히 큰 고주파 power system으로 구성되어 있지만 80년대 후반부터 고체소자화가 시작되었다. 미국에서 오래 전부터 SiC로 고주파 power system을 제작하여 미국의 유력 TV 방송국에 납품한 것을 보더라도 이 응용은 이미 실용화되고 있다. 전파 공백지를 위한 초소형, 고성능 증계국 및 위성방송 통신은 계속 수요가 증가될 것이고 이처럼 방송용 기지국은 widegap 반도체에 있어서 이동통신 기지국과 함께 매우 유력한 응용분야이다.

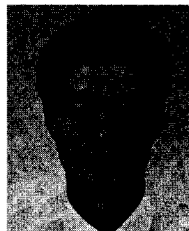
#### IV. 맺음말

widegap 반도체(GaN 같은 III-Nitride, SiC 등)를 이용한 고주파 power device 실현을 위한 기술은 단결정 성장 및 doping으로 정밀한 carrier profile control이 요구되는 결정성장기술, 미세가공, contact 저항형성 기술 및 고온 열처리에서의 저damage 확립 등의 제반 공정기술, 소자설계, 발열해석, 고온 작동특성, 부품가공, package 기술 등을 들 수 있는데<sup>[8]</sup> 그 동안 이 분야에 많은 진보를 이루었고 또한 해결해야 할 문제 또한 많이 남아 있다. 성숙된 widegap 반도체 산업과 고온초전도 기술과의 접목은 새로운 통신 산업의 창출과 같은 맥락을 갖고 사회의 infrastructure를 크게 바꿀 가능성이 있다. 초전도 기술의 발전과 실용화를 위해서는 꾸준히 기초기술을 확립하면서 초전도 자체만의 분야(MRI, high-field magnet, wire 등)에서 실적을 쌓고 신뢰성이나 경제성을 확립하는 것이 중요하다. 이와 병행하여 목적을 같이하는 주요 technology와의 결합으로 대형기구나 시스템 개발을 추진해야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 삼성종합기술원, 고온초전도 마이크로웨이브 브소자 개발, 최종보고서, p2-4, April, 1997
- [2] deffrey Pond and Charles Jackson, Technologies for Tunable Microwave Systems, 1998 IEEE MTT-S International Microwave Symposium & Exhibition, June, 1998.
- [3] N. Newman and W. G. Lyons, High Temperature Superconducting Microwave Devices: Fundamental Issues in Materials, Physics, and Engineering, Journal of Superconductivity, Vol.6, No.3, p119-160, 1993.
- [4] 이상영, 고온초전도 마이크로파소자 제작 및 응용, 요업기술, Vol.12, No.5, p340-349, 1997
- [5] 杉山太一, 2002년 초고속 이동통신 실현, Nikkei Communications, p80-81, April 6, 1998
- [6] 鮫島秀一, 무선시스템의 연구동향, Journal of Technology Transfer, Vol.21, p2-9, Feb. 1998
- [7] Yorito OTA, High Frequency Power Applications Using Wide Bandgap Semiconductors, 전자정보통신학회 논문지, J81, C-II, p17-23, Jan. 1998.
- [8] L. M. Porter and R. F. Davis, A critical review of ohmic and rectifying contacts for Silicon Carbide, Material Science and Engineering, B34, p83-105, 1995.

#### 저 자 소 개



#### 石 重 敏

1960년 11월 25일생, 1984년 2월 서울대 물리교육과 졸업(이학사), 1986년 2월 서울대 대학원 물리학과 졸업(이학석사), 1995년 5월 미국 아이오와 주립대 물리학과 졸업(ph.D), 1995년 8월~현재 삼성종합기술원 전자재료랩 전문연구원, 1995년 5월~1996년 2월 미국 Ames연구소 및 일본 ISTECC fellow(연구원), <주관심 분야: 초전도 접합 및 금속산화물 박막을 이용한 전자소자>