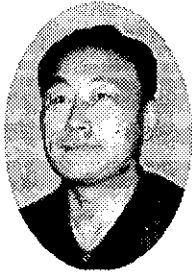


GaAs 화합물 반도체의 응용과 연구방향



이 응 호



김 순 구



이 진 구

(동국대학교 밀리미터파 신기술연구센터)

1. 서 론

인류 문명 사회의 발전에 따라 정보는 여러 가지 형태로 꾸준히 진보되어 왔다. 농경 사회에서는 의사 소통 및 정보 교환의 수단으로 직접적인 언어 및 언어를 이용한 문서 정보가 주류를 이루었으며, 19세기 산업 혁명 이후 산업 사회에서는 전신 및 전화 발명에 힘입어 정보도 유선 및 전화를 통한 음성 및 전신 문서의 형태가 주를 이루게 되었다. 20세기 중반 이후에는 컴퓨터 및 반도체의 발명으로 산업 사회는 급속하게 변화하여 과학 기술이 중시되는 사회를 이룩하였으며, 정보는 음성 및 문서 이외에도 다양한 형태를 갖추게 되고 정보의 가치는 더욱 커지게 되었다. 현대 사회에서는 다양한 형태의 정보가 폭증하고 있으며, 이로 인하여 현대 시대를 정보화 시대라고 말하고 있다. 그림 1은 정보형태 및 매체 발전에 따른 인류 사회의 발전을 단계별로 도식하여 나타내었다.

현대 사회는 그림 2와 같이 유동 정보의 다양화 및 대량화 추세가 가속되고 있으며 각종 통신 기술은 이의 근간을 이루고 있다. 정보 통신은 벨의 전화 발명으로 유선 통신이 시작된 이후 1921년 미국 디트로이트 경찰국의 경찰차에 무선 송·수신기를 부착한 것을 시초로 점차 무선 통신의 비중이 증가하고 있다. 무선 통신 기술의 발전은 유선 통신의 단점인 시간과 공간의 한계를 뛰어 넘어 세계를 하나의 통화권으

로 묶는 위성 통신 시대의 도래를 이끌었다. 각종 유·무선 통신 기술의 발달과 더불어 유·무선 통신 기기의 급속한 발달은 이러한 대량 정보 유통 사회를 앞당겨 맞이하게 하였으며, 지속적인 기술의 발전에 의하여 보다 많은 사람들에 의한 보다 많은 정보가 유·무선의 통신을 통하여 교환될 것이다. 또한, 무선 이동 통신은 “언제나, 어디에서나, 누구에게나 원하는 정보를 전달할 수 있다”는 특징으로 인하여 그 수요가 기하급수적으로 증가하고 있다. 그러나 무선 이동 통신 기기는 그 특성상 소형화, 경량화 및 저전력 소비가 필수적이므로 현재까지 개발된 기술로는 요구 조건을 충분히 만족하기 어렵다. 따라서 대량의 정보를 무선 이동 통신 기기를 이용하여 신뢰성 있게 송·수신하기 위해서는 고주파 대역에서 우수한 동작 특성을 갖는 정보처리 소자 및 광정보통신 소자의 개발이 필수적이다. 이를 위해서는 고주파 대역에서 초고속, 고효율, 저전력 소비, 소형화, 경량화된 부품 및 고

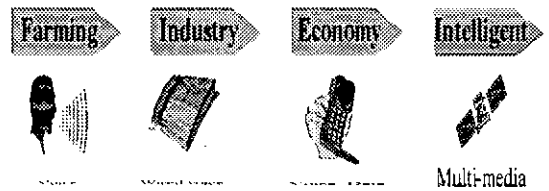


그림 1. 정보형태 및 매체의 변화

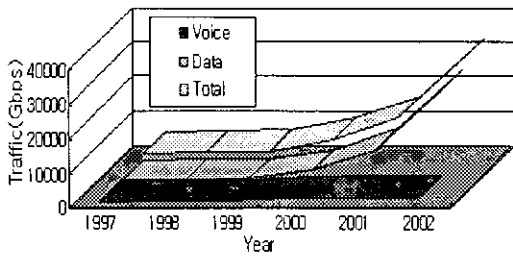


그림 2. 유통 정보량의 증가 추세

신뢰도를 갖는 MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit : 단일칩 집적회로) 기술이 핵심기술로 대두되고 있다. 또한 III-V족 화합물 반도체의 특성을 이용한 low power electronics, wireless communications, non volatile solid state memories, ultra fast computer 등과 같은 새로운 분야의 기술 개발도 기대되고 있다.

2. III-V 화합물 반도체의 특징

GaAs 화합물 반도체는 주기율 표상에서 III족(Ga) 원소와 V족(As) 원소간의 공유결합으로 이루어져있다. Si 반도체에 비하여 전자의 유효질량이 작으므로, 큰 전자 이동도를 갖게 되어 동작주파수가 높고, 소비전력이 낮은 단일 전원의 고효율 전자 소자를 제작하는데 유리하다.⁽¹⁾ 또한, 매우 높은 진성 비저항으로 기판의 누설전류 차단 특성이 우수하여 동작 특성이 우수한 능동전자 소자와 수동소자를 단일 기판 상에 하나의 회로로 일괄 집적하는 MMIC기술의 적용이 가능하

표 1. 화합물 반도체의 물리적 특성 및 장점

특 성	적용 분야	적용 소자
High electron mobility	High speed & power devices	HEMT, PHEMT, HBT 등
Direct band gap structure	Optical devices	LED, LD
Semi-insulating substrate	MMIC's, MIMIC's	Power - amplifier, Low noise - amplifier, Oscillator, Mixer 등

다. 그리고 능동소자의 특성 개선을 통하여 회로의 특성 개선이 가능하고, 회로의 설계 기술 개선을 통하여 칩의 크기를 줄일 수 있기 때문에 소형화, 경량화, 고효율화, 저전력화 및 부품의 다양화가 가능하다. 이러한 특성을 갖는 전자 소자와 MMIC에 대한 연구와 기술 개발이 대학 및 연구소에서 활발하게 추진되고 있으며, 우수한 연구 결과들이 보고되고 있다. 그리고 이로부터 얻어진 연구결과는 정보 통신 분야 전자소자 및 회로 분야와 고속의 신호처리 분야 등에서의 적용되고 있다. 현재 무선 정보 통신 분야에서 적용되고 있는 부품들은 무선 송신단의 전력증폭부와 수신단의 저잡음 증폭부 그리고 엷다운 컨버터 등에 응용되고 있다.

또한, 에너지 대역 간극(Energy band gap)이 넓고 직접 천이가 가능한 형태를 갖고 있어 레이저 다이오드나 발광 다

표 2. Radiation 허용치 비교

Candidate	Total dose (rads)	Dose rate (γ) (rads/s)	Neutron fluence (n/cm ²)	Hardness Factor (P/cm ² /upset/bit) 40 MeV Protons
Si ECL	4×10 ⁶ ~10 ⁷	5×10 ⁸ ~10 ⁹	3×10 ¹⁴ ~3×10 ¹⁵	-
Si linear	6×10 ³ ~10 ⁷	10 ⁷ ~10 ¹⁰	5×10 ¹² ~6×10 ¹⁴	-
Si NMOS	10 ³ ~5×10 ⁴	10 ⁷ ~6×10 ⁸	5×10 ¹⁴ ~4×10 ¹⁵	5×10 ¹¹ (4K)
Si CMOS	10 ⁴ ~10 ⁷	4×10 ⁷ ~10 ⁹	5×10 ¹⁴ ~4×10 ¹⁵	1~2×10 ¹⁴ (4K)
Si CMOS/SOS	4×10 ³ ~5×10 ⁵	6×10 ⁹ ~7×10 ¹¹	5×10 ¹⁴ ~4×10 ¹⁵	no upset observed
GaAs DCFL	10 ⁷ ~10 ⁸	10 ⁸ ~10 ¹⁰	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵	-
GaAs SDFL	10 ⁷ ~10 ⁸	10 ⁸ ~10 ¹⁰	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵	10 ⁹ ~4×10 ¹⁰ (256bit)
GaAs BFL	10 ⁷ ~10 ⁸	10 ⁸ ~10 ¹⁰	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵	-
GaAs EJFET	10 ⁷ ~10 ⁸	10 ⁸ ~10 ¹⁰	10 ¹⁴ ~10 ¹⁵	10 ¹¹ (256bit)
InP MISFET (E-mode)	10 ³	fails at 10 ³	-	-
InP JFET (D-mode)	10 ⁷ ~10 ⁸	10 ⁸ ~10 ¹⁰	-	-

이오드 등의 소자로 폭넓은 응용이 가능하다.^[2] Si 반도체보다 유리한 화합물 반도체의 일반적인 특성을 표 1에 요약하였다. III-V족 화합물 반도체에는 GaAs가 대표적이고 초고속 동작이 가능한 InP 및 청색광 광소자 및 극한 환경에서 동작 가능한 GaN 등으로 구분되어 연구와 기술개발이 진행중이다.

또한 표 2는 GaAs 와 Si 및 InP 등 반도체의 radiation 특성을 보이고 있다. GaAs는 Si 및 InP에 비하여 radiation에 대해서도 매우 강한 특성을 가지고있기 때문에 군사 및 항공 우주 개발용 소자를 제작하는데 사용하고 있다.^[3]

3. 연구개발 및 산업화 발자취

화합물 반도체는 Si에 비하여 우수한 초고주파 및 낮은 소비 전력 특성을 갖고 있으며 1960년대 연구가 시작된 이래로 초기에는 군사무기 체계 분야와 항공우주 분야의 레이더 시스템에서 제한적으로 연구개발 되어 사용되었다. 이후 군과 민간에서 공동으로 사용할 수 있는(dual use) 부문에 관심이 증대되어 왔으며, 현재, 상업적으로는 발광소자가 우세를 보이고 있으며, 고속소자 역시 무선 통신의 대중화에 따라 다양한 제품이 폭발적으로 개발, 출시되어 응용되고 있다. 또한 첨단 정보화 사회에서 요구되고 있는 특성을 만족시키는 소자에 대한 연구 개발이 활발하게 진행되고 있다.

3.1 화합물 반도체의 연구 개발 과정

III-V족 화합물 반도체를 이용하여 보다 높은 동작 주파수, 높은 출력 전력, 낮은 잡음 지수, 낮은 소비 전력 및 소형화, 경량화 등과 같은 목표를 달성하기 위한 통신 시스템 분야 연구개발 뿐만 아니라 일반적인 화합물 반도체의 연구개발은 그림 3과 같이 태동기, 성장기, 성숙기의 단계로 구분되어 진행되어 왔다. 태동기에서는 “기존의 반도체를 대체하고 새로운 특성을 얻을 수 있는가?”에 대한 물성 연구와 소자로의 구현성을 타진하기 위한 단위 전자소자와 관련 공정 개발 및 단위 능동소자와 수동소자를 집적하는 MMIC에 대한 연구 개발이 활발하게 추진된다. 성장기에서는 “그 특성이 응용되어 사업화에 적합한가?”에 대하여, 태동기에서 얻어진 연구결과물의 성능과 특성을 개선하고 연구개발 영역을 확대시켜 다양한 응용 분야를 개척하며, 사업화를 위하여 경량화와 소형화를 추진하고 제품의 재현성을 확보하기 위한 연구가 중점적으로 수행된다. 성숙기에서는 “사업화를 위한 경제성이 있는가?”에 대한 의구심을 해소하기 위하여 시장성을 고려한 다양한 제품군의 대량생산과 함께 저가격화와 고품질화를 추진하는 연구가 활발하게 추진된다. 이러한 단계별 개발과정은 현재에도 계속 진행되고 있으며, 시간이 흐름에 따라 서로의 구분이 모호해지면서 발전되고 있다. 현재의 이와 같은 연구 개발의 추진 과정은 III-V족 화합물 반도체

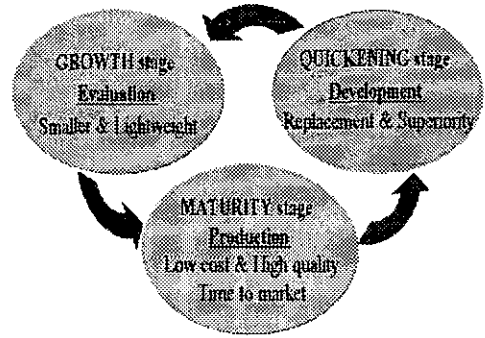


그림 3. 연구 개발 단계

체의 근간이 되는 GaAs계 소자의 특성을 개선하기 위한 연구와 다른 III-V족 화합물 반도체 소자에 대한 연구가 병행되어 꾸준히 진행되고 있다.

3.2 화합물 반도체 소자 개발

기본적으로 III-V족 화합물 반도체를 이용한 시스템 구성에 대한 연구는 그림 4에서 나타낸 것처럼 능동 소자 및 수동 소자 등과 같은 단일 전자 소자의 연구 개발이 선행된다. 선행된 연구 개발 결과를 이용하여 MMIC의 설계 및 제작이 이루어진 후, 제작된 MMIC의 패키지(package) 및 모듈(module) 설계 과정을 거쳐 모듈과 시스템이 구성되는 단계로 이루어지며, 습득된 설계와 공정의 최적화된 기술적 노하우는 사업화와 신규 연구개발에 기반이 되고 있다.

GaAs 단일 능동 소자는 기관 위에 성장된 활성 영역층의 구조에 따라 MESFET (Metal Semiconductor Field Effect Transistor), HEMT (High Electron Mobility Transistor), PHEMT (Pseudomorphic HEMT) 및 HBT (Heterojunction Bipolar Transistor) 등으로 구분되며, 전자 소자 연구 개발과정에서 확립된 일반적인 단위 공정을 그림 5에 나타내었다.^[4-6]

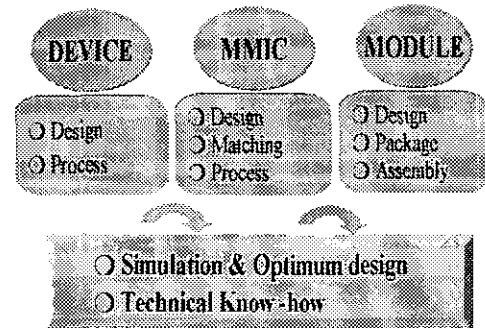


그림 4. 시스템 개발 과정

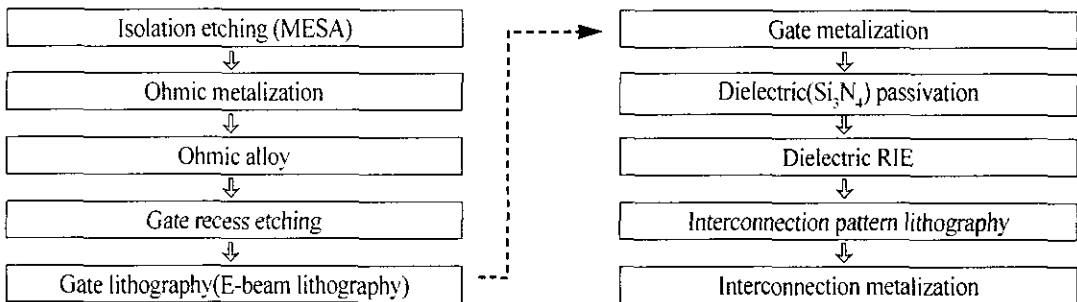
Si 반도체를 이용한 CMOS 기술은 10 GHz 이하의 동작 주파수를 가지고 있어 10 GHz 이상의 초고주파수 대역에서의 활용은 의문시되고 있다. 따라서 이러한 Si 반도체의 주파수 한계를 극복하기 위하여 GaAs MESFET이 개발되어 수 GHz 이상의 고주파 및 초고주파 대역의 주파수 자원 활용을 가능하게 하였다. GaAs MESFET은 단일 소자로써는 20 GHz까지 안정적인 동작이 가능하지만 그 이상의 주파수 대역에서는 출력 전력이나 잡음 부분에서 특성이 감소하는 단점을 가지고 있다. 이러한 이유로 인해 20 GHz 이상의 주파수에서 안정적인 동작이 가능하고 MMIC 적용시 소자의 특성 및 MMIC의 특성이 유지되도록 소자의 주파수 특성을 향상시키기 위한 방법으로, 격자 상수가 비슷하고 에너지 대역 간극이 다른 GaAs와 AlGaAs와의 이종 접합으로 발생하는 전자 우물(Electron well)에서 전자의 이동도가 증가하여 주파수 특성을 향상시키는 새로운 구조에 대한 연구가 이루어졌다.

그 결과 HEMT 및 HBT가 개발되었으며, GaAs와 AlGaAs의 이종 접합을 이용한 AlGaAs/GaAs HEMT 및 HBT는 30 GHz 이상의 밀리미터파 대역의 주파수 자원의

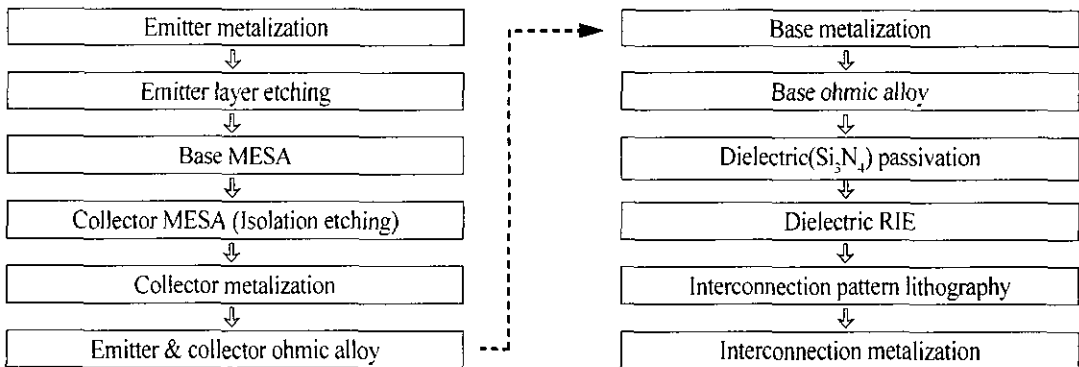
활용을 가능하게 하였으며, 낮은 전력 소비 특성을 지니는 소자의 개발을 이루었다. 그러나 100 GHz 이상의 MMIC 적용을 위하여는 AlGaAs/GaAs HEMT 및 HBT는 구조의 특성과 공정기술 측면에서 추가적인 기술 개발이 요구되고 있다. 뿐만아니라 AlGaAs/GaAs HEMT 및 HBT 보다 더 높은 주파수 특성을 가질 수 있는 구조에 대한 연구로서 InP 기판 위에 InAlAs /InGaAs의 이종 접합을 이용한 HEMT 및 HBT가 개발되었다.^[7]

그림 6은 개발된 소자의 동작 주파수와 개발 시기를 나타낸 것이다.

지금도 소자의 특성을 향상시키기 위한 연구로서 새로운 물질 연구 이외에 공정 개발에 대한 연구도 병행되어 진행되고 있다. MESFET 및 HEMT의 경우 게이트(gate)의 길이가 짧을수록 소자의 주파수 특성이 향상되며, 따라서 소자의 게이트 길이를 줄이기 위해 전자선 묘화 장비(Electron beam lithography system) 등을 이용한 공정 개발 연구가 진행되어 왔다. 그 결과 현재에는 0.1 μ m(micron : 1 μ m = 10⁻⁶ m = 0.000001 m) 이하의 패턴 형성이 가능하게 되어 300 GHz 이상의 동작 주파수를 갖는 단일 능동 소자 제작



(a) MESFET 및 HEMT 제작 공정 순서



(b) HBT 제작 공정 순서

그림 5. 단일 능동 소자 제작

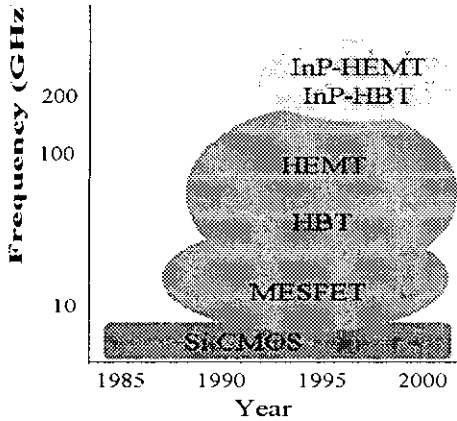


그림 6. 소자 개발 과정

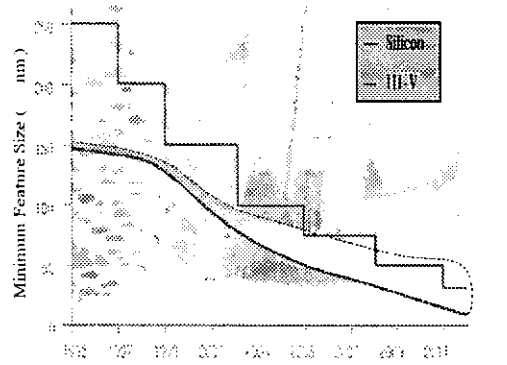


그림 8. Minimum feature size 변화

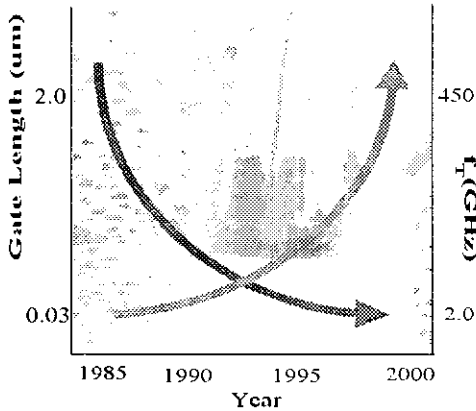


그림 7. 게이트 길이와 동작 주파수

이 이루어지게 되었다. 소자의 게이트 길이와 주파수 특성과의 관계를 그림 7에 나타내었다. 소자의 특성에 영향을 주는 요소 중에서 Si 반도체 MOS 및 CMOS 와 화합물 반도체의 MESFET 및 HEMT의 경우는 게이트의 길이가 중요하고, Si 반도체의 BJT와 화합물 반도체의 HBT 등의 경우에는 베이스(Base) 층의 두께가 소자의 특성에 영향을 크게 미친다. 소자 특성을 향상시키기 위해서는 게이트 길이 및 베이스 층 두께와 관련된 minimum feature size도 매우 중요하며 이러한 경향을 그림 8에 비교하여 도식하였다. 새로운 단위 공정 개발에 대한 연구의 진행에 따라 Si 반도체 및 화합물 반도체의 minimum feature size는 지수함수적으로 감소함을 알 수 있다.

그림 8에서 나타내었듯이 Si의 경우에는 게이트의 길이가 1995년에 250 nm, 1999년에는 150 nm까지 감소하였고, 2011년에는 30 nm까지 감소하리라 예상된다. 화합물 반도체의 경우에는 1995년에 150 nm에서 2011년에는 10 nm

까지 감소하리라 예상되며, 현재에는 100 nm의 게이트 공정에 관한 양산 기술이 과제가 되고 있다.^[8]

3.3 해외 기술 동향

미국, 일본을 비롯한 해외 선진국에서는 군사용 등의 특수 용도 이외에 민간용으로도 응용에 있어서도 화합물 반도체의 중요성에 대한 인식이 일찍부터 이루어져 화합물 반도체와 그 응용에 대한 연구가 저변에 확대되어 꾸준히 수행되었다. 다수의 대학 및 연구소에서 우수한 특성을 가지는 단일 소자 및 MMIC에 대한 연구 결과가 지속적으로 발표되었고 이러한 연구 결과들을 이미 제품으로 상용화한 사례들도 속속 발표되고 있다.^[9]

해외 유명 대학에서는 화합물 반도체에 대한 연구가 국내에 비해 역사가 길고 연구 환경 또한 국내 대학에 비해 우수한 조건을 갖추고 있어 국내의 연구 결과보다 앞선 기술 및 특성 연구 결과를 보이고 있다. 이들 대학에서는 화합물 반도체 물질 성장에 관한 것뿐만 아니라 GaAs MESFET, HEMT 및 HBT 제작에 대한 각종 우수한 연구 결과가 보고되고 있으며, InP-HEMT 및 HBT에 대한 연구 결과도 보고되고 있다.

해외 기업에서의 화합물 반도체에 대한 연구는 냉전 시대에 축적된 기술력을 바탕으로 주파수 특성이 우수한 단일 소자 및 MMIC의 양산에 성공하였으며, 세계 각국의 무선 통신 및 위성 통신의 시스템과 단말기에 사용되고 있다.

해외의 대학 및 연구소의 연구 결과는 MESFET의 경우 전류이득 차단주파수 및 최대 공진주파수가 각각 120 GHz와 160 GHz이고, HBT의 경우 180 GHz와 257 GHz 및 HEMT의 경우 350GHz와 600 GHz의 주파수 특성을 갖는 수준에 이르고 있으며, MMIC의 경우 95 GHz에서의 427 mW의 출력 전력을 갖는 전력증폭기가, 215 GHz에서 15 dB의 이득을 갖는 저잡음 증폭기가 발표되고 있다.^[10] 또한 이와 같은 결과들을 밀리미터파 대역 시스템에 대해 적용한

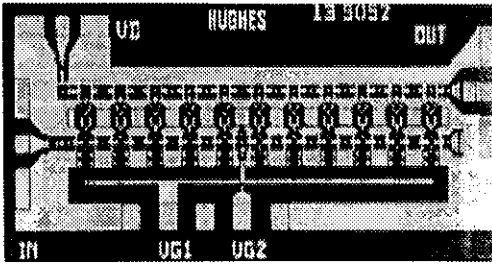


그림 9. 광대역 증폭기

결과가 많이 보고되고 있다. 그림 9는 미국의 Hughes사에서 제작한 180 GHz의 대역폭을 갖는 광대역 증폭기의 표면 사진이다.

3.4 국내 기술 동향

국내의 반도체 산업은 메모리용 Si 반도체가 주류를 이루기 때문에 III-V족 GaAs 화합물 반도체의 연구 개발은 극히 일부의 대학, 정부산하연구소 및 기업 연구소 등에서 소수이지만 꾸준히 진행되고 있으며, 그 결과 일부 기업체에서는 화합물 반도체의 연구 결과를 사업화하고 있다. 국내의 기술 개발 연구는 화합물 반도체의 중요성 인식이 미국 및 일본 등 기술 선진국에 비하여 다소 늦어, 1980년대 중반 이후부터 대학을 중심으로 단일 소자를 개발하기 위한 연구가 시작되었지만, 현재에는 초고주파 및 밀리미터파 대역에서 동작 가능한 단일 소자 및 MMIC의 연구결과들이 발표되고 있어 세계수준에 근접하고 있다.

III-V족 GaAs 화합물 반도체에 대한 연구를 하고 있는 대학으로는 동국대학교를 비롯하여 서울대학교, KAIST, 한양대학교 및 포항공과대학 등 여러 대학을 들 수 있다. 이들 대학에서는 반도체 재료의 성장과 단일 소자 및 MMIC 개발에 대한 연구가 진행되고 있으며, 세계적인 수준의 연구 결과들을 발표하고 있다. 정부 산하의 연구소로는 한국전자통신연구원(ETRI) 및 국방 과학 연구소(ADD) 등을 들 수 있으며, 기반기술 및 상업화 연구 그리고 군사적인 목적의 소자 재료 성장과 단일 소자 및 MMIC를 포함하는 모듈 및 시스템에 대한 연구가 진행되고 있다.

기업 산하 연구소에서 화합물 반도체에 대한 연구를 수행하는 곳은 LG 종합기술원, 삼성종합기술원 등 여러 연구소가 있으며, 이들도 소자 재료와 단일 소자 및 MMIC에 대한 연구가 진행되고 있다. 또한, 이들 연구소는 개발한 연구 기술 결과를 라이브러리화(Library)하여 대학 및 타 연구소에 제공함으로써 대학 및 타 연구소에 foundry 서비스의 기능도 수행하고 있다. 우진 반도체, 대우 전자 및 CTI 등의 일부 기업은 연구, 개발된 화합물 반도체 소자를 제품화하여 생산·판매하고 있다.

국내의 대학 및 연구소의 연구결과를 살펴보면 대학에서는 소자의 동작 주파수를 결정하는 전류이득 차단주파수(Current gain cut-off frequency : f_T) 및 최대 공진주파수(Maximum oscillation frequency : f_{max})가 90 GHz와 220 GHz인 AlGaAs/InGaAs/GaAs PHEMT의 다수의 연구 결과들을 얻고 있으며, 연구소에서는 전류이득 차단 주파수가 82 GHz이고 최대 공진주파수 207 GHz를 갖는 AlGaAs/InGaAs/GaAs PHEMT를 비롯한 다양한 연구 결과를 발표하였다. 또한, 기업 산하의 연구소 및 기업체에서는 115 GHz와 275 GHz의 전류이득 차단주파수 및 최대 공진주파수를 갖는 소자를 발표하였다. 그림 10은 동국대학교에서 개발된 단일 소자 및 MMIC의 표면 사진이다.

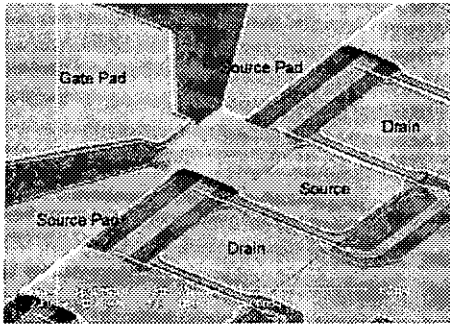
3.5 화합물 반도체의 응용

III-V족 GaAs 화합물 반도체의 개발은 단일 소자에서 MMIC로, MMIC에서 각종의 모듈 및 시스템으로 확장되어 진행된다. 표 3은 MMIC의 용도에 따른 MMIC의 분류를 나타낸 것이고 그림 11은 화합물 반도체의 개발 및 적용 예를 나타낸 것으로 개발된 시스템은 밀리미터파용 시스템, 의학용 시스템, 무선 통신용 RF 시스템 및 군사용 시스템 등에 적용되고 있으며, 점차 영역이 넓어지고 있는 실정이다

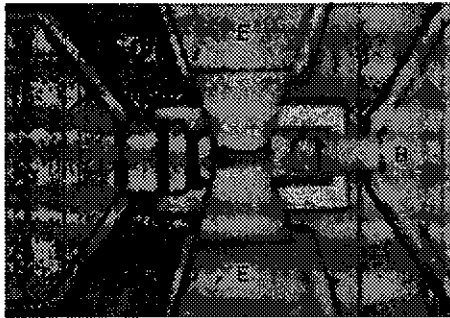
현재 개발된 III-V족 GaAs 화합물 반도체 소자, IC 및 모듈은 무선 통신 및 위성 통신용 시스템에 주로 응용된다. 그림 12는 주파수 대역별 통신 서비스를 나타낸 것으로, 800 MHz 대역의 셀룰라(Cellular) 및 1.8 GHz 대역의

표 3. MMIC 회로

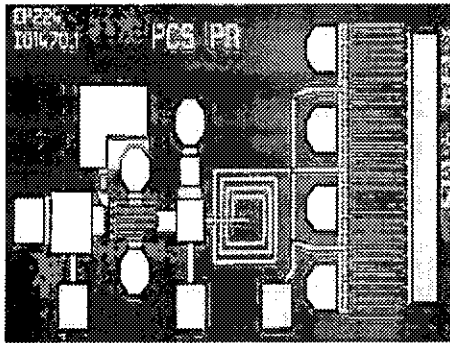
Component circuits
Amplifiers : Low-noise, Broadband, Power, etc
Mixers : GaAs MESFET, Schottky diode
VCO's
Phase shifters
T/R switches
Functional blocks
Integrated Receiver Front End
PLL
MSK modulator/demodulator
Millimeter receiver
Communications receiver
Multifunctional subsystem
T/R module for phased array radar
Digital radio transmitter/receiver
Integrated receiver/signal processor
Adaptive array module



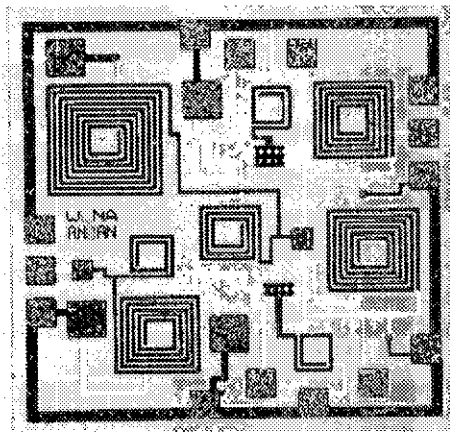
(a) HEMT



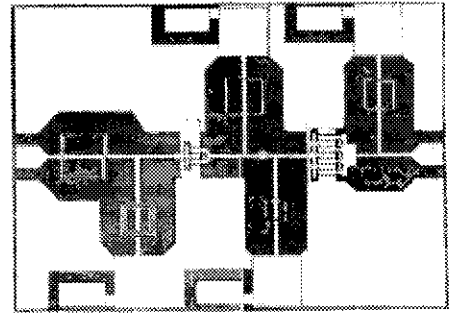
(b) HBT



(c) PCS용 Power Amplifier



(d) Wide Band Low Noise Amplifier



(e) Ka-band Power Amplifier

그림 10. 개발된 화합물 반도체 소자 및 모듈

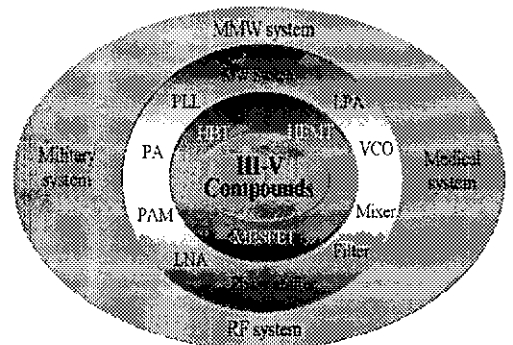


그림 11. 화합물 반도체의 응용

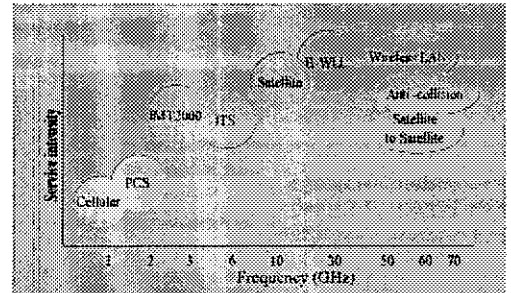


그림 12. 무선 통신 시스템

PCS (Personal Communication Service)는 현재 서비스가 제공되고 있으며, 2 GHz 대역의 IMT2000에 대한 서비스와 2.5GHz 대역의 무선가입자망은 조만간 서비스될 계획이다. 그 외에도 5.8 GHz 대역의 지능형 교통 시스템 (ITS : Intelligent Traffic System), 26 GHz 대역의 B-WLL (Broad band Wireless Local Loop) 및 60 GHz 대역의 Wireless LAN과 차량 충돌방지 시스템(Anti-collision System) 등을 들 수 있으며, 10 GHz 대역의 위

성방송 시스템 및 70 GHz 대역의 위성간 통신시스템에 화합물 반도체 소자, IC, 모듈 등이 적용되고 있거나 적용이 예상되고 있다.

3.6 화합물 반도체 시장

Ⅲ-V족 GaAs 화합물 반도체 시장은 Si 반도체에 시장에 비하여 규모가 작지만 최근에 들어 규모가 큰 폭으로 성장하고 있는 추세이다. 그림 13은 1990년대부터의 화합물 반도체의 세계 시장과 국내 시장 규모를 나타낸 것으로, 1990년에 25억불에 불과하던 세계 화합물 반도체 시장은 LED, LD 등 광소자와 무선 통신의 대중화가 시작된 1996년에 71억불로 급격히 증가하였으며, 2005년에는 200억불에 달할 것으로 전망된다. 국내 시장은 1990년 2천만불이던 시장 규모가 1996년 8천만불로 급격히 증가하였고 2005년에는 3억불의 시장으로 증가될 것으로 사료된다.^[11]

그림 14에서 볼 수 있듯이 1999년 화합물 반도체의 시장은 LED, LD 등의 광전자 소자가 80%의 점유율로 시장 전반을 이루고 있으며, GaAs IC의 점유율은 10% 정도이다. 국내에서 생산·판매되고 있는 Ⅲ-V족 GaAs계 화합물 반도체 소자는 대부분이 광전자 소자이며, LG, OPTEL 등의 여러 기업에서 LED 및 LD 등의 광전자 소자를 제작·판매하고 있다. 그러나 무선 통신 및 위성 통신의 수요가 급격히 증가함으로써 GaAs IC의 시장 점유 증가율은 크게 성장할

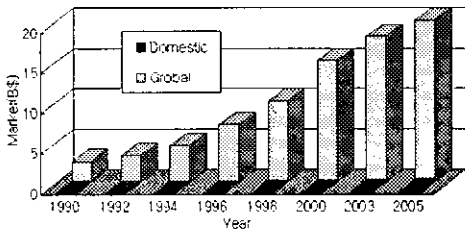


그림 13. 화합물 반도체 시장

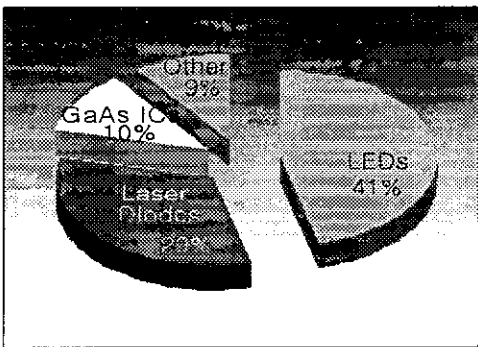


그림 14. 소자별 시장 점유율

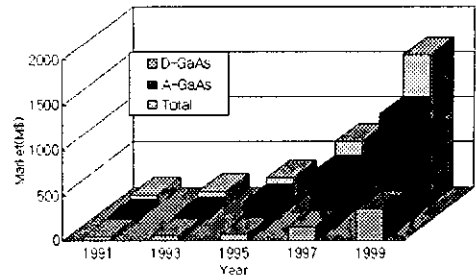


그림 15. GaAs IC의 시장 규모 변화

것이고, 장래의 전자 소자 시장 전체의 성장을 화합물 반도체 소자가 주도 할 것으로 예상된다. 따라서 화합물 반도체 시장의 전체적인 규모는 현재에 비해 크게 증가될 전망이다. 또한, GaAs IC는 소자의 용도에 따라 DCFL 기술을 이용한 digital IC와 Normally-on 형태의 소자를 이용한 analog IC로 구분된다. 개발 초기에는 회로의 스위칭용으로 사용되는 digital IC의 개발이 주류를 이루었으나, 무선 통신 및 위성 통신의 수요가 증가하면서 analog IC에 연구가 크게 증가하였다. 그림 15는 1990년대의 GaAs IC의 시장 규모를 나타낸 것으로 무선 통신 수요가 급증한 1995년과 1997년 사이에서 analog GaAs IC의 시장 규모가 크게 증가한 것을 볼 수 있다.^[11]

4. 향후의 발전방향

Ⅲ-V족 GaAs 화합물 반도체 소자는 Si 반도체 소자의 주파수 한계를 극복하기 위해 개발된 여러 분야에서 적용되는 수요가 크게 증가함에 따라 시장 규모가 연간 116% 정도가 증가하는 추세를 보이고 있으며, 향후에는 더 큰 폭의 증가가 예상된다. 또한, 화합물 반도체 소자의 성능 개선 및 특성 향상을 통하여 그 응용의 주도권이 광전자 소자에서 무선 및 위성 통신용 부품으로 확대되면서 다양한 대량 정보들의 고속·고품질의 전송이 가능해질 것으로 예상된다.

현재 사용중인 주파수 대역은 수요의 증가로 인해 양질의 정보 전송이 불가능한 실정이지만 자원이 풍부한 밀리미터파 대역의 주파수를 사용하면 고속 및 고품질의 정보 전송이 가능하다. 따라서 밀리미터파 대역의 주파수 자원을 활용함으로써 Wireless LAN, 전자 신문 및 화상 원격 진료(Telemedicine) 등의 Multi-media data 통신이 가능해지며, 차량 충돌 방지 시스템 등으로 인간의 삶의 질이 향상된 지능형 사회를 이룰 수 있을 것이다.

이러한 전망에 따라 세계 각 국에서는 밀리미터파 대역의 주파수 자원을 활용하기 위해 국가 주도적 개발 사업을 시행하고 있으며, 대학 및 각종 연구소에서도 이를 위한 화합물

반도체 소자 개발에 앞다투고 있다. 국내에서의 화합물 반도체에 대한 연구 개발은 1998년 IMF로 인하여 잠시 주춤했지만 최근에 들어 밀리미터파 대역 주파수 자원 활용의 중요성을 인식하면서 화합물 반도체에 대한 연구 개발이 크게 활성화됨에 따라 세계적인 수준의 연구 개발 결과들이 발표되고 있어 조만간, 상업화된 제품들의 출시가 크게 증가할 것으로 전망된다.

5. 결 론

Ⅲ-V족 화합물 반도체기술은 우리의 꿈을 현실로 바꾸어 주는데 있어서 큰 역할을 담당할 것이다. "Ⅲ-V compounds may turn your dreams into reality!" Ⅲ-V족 화합물 반도체 분야는 전자소자, 광통신소자 뿐만 아니라 특히, 밀리미터 파 신기술의 새로운 장을 기대 할 수 있는 흥미로운 반도체 기술분야이며, 시장 규모에서도 향후 무한하게 성장할 수 있는 제일의 사업 분야이다. 또한 화합물 반도체 기술은 예외 제조 기술과 소자 설계기술 그리고 공정기술 및 생산기술 등에 이르는 다양한 분야의 종합적인 기술 개발과 공동연구가 필요한 분야이기 하다. 더욱이 자원이 부족한 우리나라의 입장에서 보면 반도체 산업은 무에서 유를 창조하는 국가적 차원의 핵심 전략산업이라고 할 수 있는 중요한 산업으로 자리 매김 하였기에 더욱 더 중요성을 가진다고 하겠다. 자금의 세계 정세는 자국의 경제적 이해에 따라 움직이고 있기 때문에 무한 경쟁의 세계 시장에서 기술적인 우위를 점할 수 있는 독창적인 신기술과 제품의 개발만이 우리의 살길이라고 할 수 있겠다. 현재 국내의 GaAs 화합물 반도체 분야의 기술은 세계 최고의 기술과 어깨를 나란히 하는 수준으로 발전하고 있다. 또한 이에 힘입어 다른 화합물 반도체의 발전에 필요한 국내 기술 기반도 이미 확립되어 있다고 할 수 있는 실정이다. 앞으로 GaAs 화합물 반도체분야는 우리나라의 중요한 핵심사업으로서 Si 반도체 및 다른 화합물 반도체 분야 연구 및 기술을 선도하는 분야로 발전할 것이며, 우리나라를 기술선진국으로 성장 발전시키는 역할을 담당할 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] 이진구, "초고속 논리회로 I", 광컴퓨터 현황과 미래 전망에 관한 연구 보고서, 과학기술처 (N-199-2429-9), pp. 747-787, 1986
- [2] Ben G. Streetman, "Solid State Electronics", Prentice-Hall, pp. 56-57, 1990
- [3] W. Helbig, "RISC vs. CISC, GaAs vs. Silicon and Hardware vs. Software", invited lecture, Joint Chapter Meeting of the IEEE MTT/ED Societies, Princeton, New Jersey, 1986
- [4] 이진구 외 4명, "전력용 GaAs MESFET와 MIS-FET의 제작에 관한 연구", 대한전자공학회추계 종합학술대회 논문집, 제15권, 제2호, pp. 344-347, 1992
- [5] 이진구, "차기세대 MMIC 소자 개발 연구", 2차년도 보고서, 국방과학연구소, 1996
- [6] 이진구, "HBT 소자 및 회로에 관한 연구", 1차년도 보고서, 한국과학재단, 1996
- [7] A. G. Milnes, "Semiconductor Heterojunction Topic : Introduction and Overview". Solid-state Electronics, vol. 29, no. 2, pp. 99-121, 1986
- [8] "The impact of Nanoelectronics", <http://www.elec.gla.ac.uk/groups/nano/news1.html>, 1999
- [9] "The dawn of HEMT", <http://www.fujitsu.co.jp/hypertext/fqd/Hemt/index-e.htm>, 1999
- [10] "Microelectronic Devices and Circuits" Compound semiconductor, vol. 5, no. 9, pp. 78-82, 1999
- [11] Marie Meyer, "The Compound Semiconductor Industry in th 1990's", Compound Semiconductor, vol. 5, no. 9, pp. 78-82, 1999