

8-2. S-band 25W급 GaN 전력소자 기술

본 기술은 레이더, 미사일 등 군수용으로 활용도가 높은 25W급 GaN 전력소자 기술임.

RF융합부품연구팀 담당자 문재경



한국전자통신연구원
Electronics and Telecommunications
Research Institute

목차

1

기술개요

2

개발기술의 주요내용

3

기술적용 분야 및 기술의 시장성

4

기대효과

● 기술개발의 필요성

➡ GaN 전력소자

- 미국의 경우, 정부주도로 WBGs-RF 프로그램에 의해 2003년 5월부터 2010년 4월까지 만 7년 장기 대형 프로젝트로 동안 GaN 반도체 전력소자 개발을 수행하였으며, WBGs-RF 후속인 NEXT 프로그램에서는 2009년 9월부터 2014년 8월까지 만 5년 동안 고 항복전압의 아날로그-혼성 신호와 차세대 디지털 GaN 회로용 고성능 신소자를 개발하고 있음
- 유럽의 경우, 유럽연방 7개국 29개 그룹을 중심으로 KORRIGAN 프로그램에 의해 2005년 1월부터 2009년 12월까지 만 5년 동안 GaN 반도체 전력소자를 연구하였으며, KORRIGAN 프로그램 후속의 MANGA 프로그램에는 2010년 5월부터 2014년 12월까지 영국, 프랑스, 이탈리아, 스웨덴, 독일 등 5개국 14기관이 참여하며 4인치 AlGaIn/GaN-on-SiC 양산기술을 개발하고 있음

● 기술개발의 필요성

➡ GaN 전력소자

- GaN 반도체 소자는 고온에서 안정적으로 동작하고 고출력 특성을 가지고 있는 등 상대적으로 짧은 역사에도 불구하고 기존 소재(Silicon, GaAs)가 가진 많은 단점들을 한 번에 극복하는 우수한 특성으로 급속히 시장요구가 증가하고 있는 실정임
- GaN 반도체 소자 기술은 이동통신 기지국, 선박 및 군수용 레이더 등 여러 분야에 응용이 가능한 기술로, 화합물반도체 선진국에서 확보하고 있으며 기술유출을 극도로 제한하고 있음
- GaN 반도체 기술을 자체 확보하여 민수 및 군수-IT 핵심부품 자립화를 실현할 필요가 있음

기술개념 및 기술사양

➔ GaN 전력소자

- 질화갈륨 (GaN) 트랜지스터는 3.4 eV의 넓은 에너지 갭으로 인하여 고전압에서 동작이 가능하고, 분극전하를 이용한 캐리어농도가 갈륨비소 (GaAs)의 10배 이상이므로 높은 전류밀도와 높은 전력밀도를 얻을 수 있어 고출력 전력증폭기 소자로 적합함
- 뿐만 아니라 높은 전자피크속도로 인하여 고주파 영역에서 동작이 가능하며 고온에서 안정화하는 특성으로 인하여 질화갈륨 트랜지스터는 이동통신 기지국용 전력증폭기, 자동차용 전력증폭기, 레이더용 전력증폭기 등에 응용이 활발히 이루어지고 있음

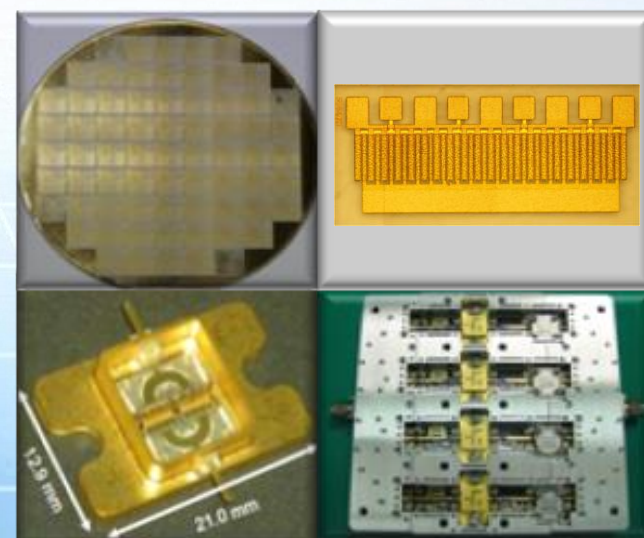
Attribute	Si	GaAs	SiC	GaN
Energy Gap (eV)	1.11	1.43	3.2	3.4
Critical Electric Field (MV/cm)	0.6	0.65	3.5	3.5
Power Density (W/mm)	~0.8	~.0	2-4	>2
2DEG Density (/cm ²)		~10 ¹²		~10 ¹³
Saturation Velocity (cm/s)	1X10 ⁷	2X10 ⁷	2X10 ⁷	2.5X10 ⁷
FET Technology	LDMOS	HFET	MESFET	HFET

High Voltage

High Power Density

High Current

High Frequency



1. 기술 개요(4)

기술개념 및 기술사양

기술구성도

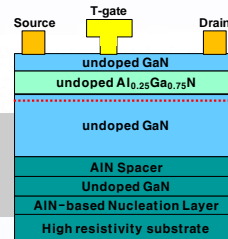
GaN HEMT
Technologies

Epi 구조설계 기술

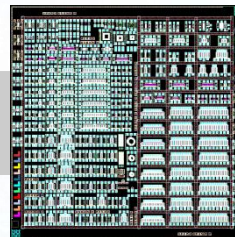
소자 설계 기술

소자 공정 기술

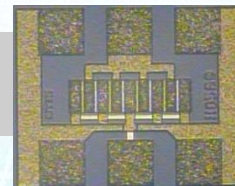
소자 측정 기술



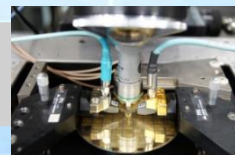
• 고전압/고출력용 Epi 구조 설계



• Field plate 구조를 갖는 고전압 소자 설계



• 0.5um T-gate AlGaIn/GaN HEMT
• 저저항성 오믹접촉 형성



• 고전력/고출력 소자 DC/RF 측정
• 고출력소자 Source/Load-Pull 측정

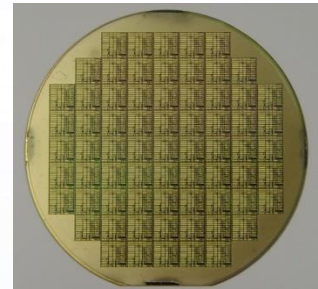
2. 개발기술의 주요내용(1)

● 기술의 특징

➤ 고객/시장의 니즈를 충족시키는 독특한 점

■ ETRI 4-inch Compound Semiconductor Fab

- 수행 Process : 4-inch 화합물 반도체 일괄공정
- 시설 및 장비 현황
 - Area : 200평 (Class 10 ~ 1,000)
 - Equipment : 55 process equipments
 - including i-line stepper and e-beam lithography



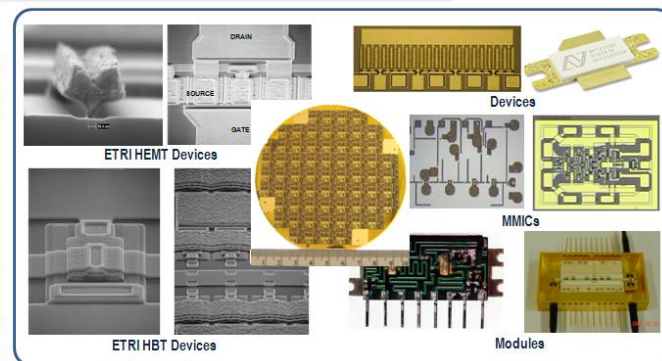
ETRI 4-inch GaN wafer

- 한국전자통신연구원(ETRI)에서는 화합물반도체 분야에서 20년 이상의 경험을 바탕으로 전략 품목인 GaN 전력소자의 국산화 개발을 추진중임
- ETRI의 화합물반도체 실험실은 안정된 4인치 일괄공정 기술을 보유하고 있어 이를 적용하여 시장에서 요구되어지는 GaN 전력소자를 조기에 개발 공급할 것임

2. 개발기술의 주요내용(2)

● 기술의 특징

ETRI의 20년 화합물반도체 기술을 통한 원천기술 확보



기술훈련의 상세 사양

항 목	사 양	비 고
주파수 대역	S-band	
Output power	25 watt	단일 소자
항복전압(동작전압)	> 100 V	
Gain	> 10 dB	
PAE	> 30%	
f_T	> 10 GHz	
f_{max}	> 30 GHz	

2. 개발기술의 주요내용(3)

● 경쟁기술대비 우수성

➡ 경쟁기술/대체기술 현황

- 기지국/중계기용 전력 증폭기용 RF 전력 소자는 대부분 LDMOS를 사용하고 있음
- 일반적으로 레이더시스템은 원거리 탐지를 위하여 KW급의 큰 출력을 요구하고 있으며 효율성과 신뢰성이 낮고 크기가 큰 클라이스트론(Klystron), 마그네트론(Magnetron), 진행파관(TWT, Travelling Wave Tube) 등 각종 진공관이 사용되고 있음
- 최근에는 고출력·고효율의 GaN 전력소자를 이용한 이동통신용 전력증폭기, 자동차용 전력증폭기 등이 많이 연구되고 있으며, 고출력 마그네트론의 Dual Use 항목지정에 따라 기존의 진공관형 레이더를 반도체 소자를 이용하여 고출력·고효율 및 소형의 SSPA형 디지털레이더를 개발하는 추세임

2. 개발기술의 주요내용(4)

● 경쟁기술대비 우수성

➤ 경쟁기술/대체기술 대비 우수성

■ 진공관 대비 우수성

- 평균 무고장시간(MTBF: Mean Time Between Failure)이 약 50,000시간으로 3,000시간의 마그네트론 보다 우수함
- 주파수 가변성이 우수하고 주파수 광대역화의 경우 진공관은 10~20%인 반면 반도체소자의 경우 50% 정도로 상향 시킬수 있는 점이 우수함
- 신호처리 과정에서 도플러(Doppler) 특성을 향상 시킬 수 있으며 DSP 및 FPGA 소자의 적용으로 디지털화가 가능함
- 크기가 작고 선형특성이 우수하여 상호변조(Intermodulation) 및 고조파(Harmonic) 왜곡효과가 적으므로 전력을 효율적으로 사용 할 수 있음

■ GaAs, Si 소자 대비 우수성

- 질화갈륨 (GaN) 트랜지스터는 3.4 eV의 넓은 에너지 갭으로 인하여 고전압에서 동작이 가능하고, 분극전하를 이용한 캐리어 농도가 갈륨비소(GaAs)의 10배 이상이므로 높은 전류밀도와 높은 전력밀도를 얻을 수 있어 고출력 전력증폭기 소자로 적합함
- 뿐만 아니라 높은 전자피크속도로 인하여 고주파 영역에서 동작이 가능하며 고온에서 안정함

2. 개발기술의 주요내용(5)

● 기술의 완성도

➤ 기술개발 완료시기

- 2012. 7.

➤ 기술이전 범위

- S-band 고출력·고효율 GaN 전력소자용 에피 구조 기술
- S-band 고출력·고효율 GaN 전력소자 설계 기술
- S-band 고출력·고효율 GaN 전력소자 공정 기술
- S-band 고출력·고효율 GaN 전력소자 측정 기술
- S-band 25W급 GaN HEMT 소자 시제품 및 판매 실시 권리

2. 개발기술의 주요내용(6)

표준화 및 특허

▶ 관련 기술의 표준화 동향

- 해당 사항 없음

▶ 보유 특허

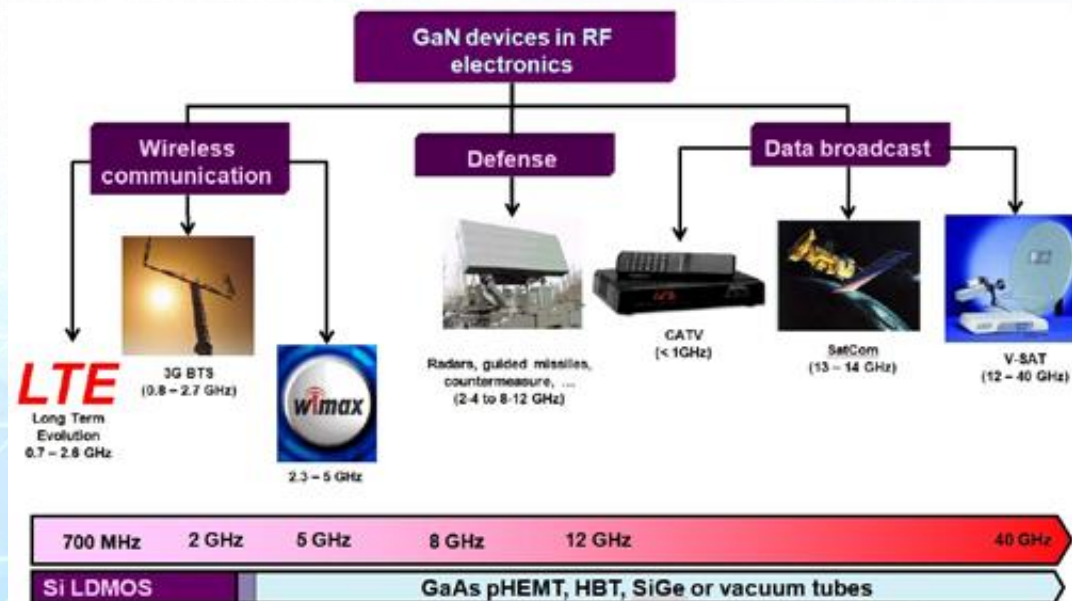
출원/ 등록 구분	특허명	출원국 (등록)	출원(등록)번호	출원(등록) 년도
출원	질화물계 전계효과 트랜지스터 제조방법	한국	2010-0127661	2010
출원	멀티플 필드플레이트를 포함하는 전계효과 트랜지스터	한국	2010-0130291	2010
출원	GaN 전자소자의 집적화 및 제조방법	한국	2011-0071343	2011
출원	전계효과트랜지스터의 제조방법	한국	2011-0095260	2011

3. 기술적용 분야 및 기술의 시장성(1)

기술이 적용되는 제품 및 서비스

기술이 적용되는 제품/서비스

- 군수용 및 선박용 레이더 트랜시버 모듈
 - S-대역 레이더용 고출력 소자 분야에 TWT등을 대체하는 SSPA 기술로 적용 가능
- 이동통신 기지국용 전력 증폭기
 - 현재 90% 이상 수입에 의존하는 LDMOS 전력증폭기는 향후 특성이 우수한 GaN 전력증폭기로 대체될 전망



3. 기술적용 분야 및 기술의 시장성(2)

● 해당 제품/서비스 시장 규모 및 국내외 동향

➡ 해당 제품 시장 규모

■ 군수용 레이더 트랜시버 모듈 시장 현황

- 레이더 시스템 시장: 세계시장 40억불, 국내시장 0.57억불 (2009년)
세계시장 52억불, 국내시장 0.89억불 (2014년)

※주: 레이더 시스템 가격의 40% 정도가 트랜시버 모듈의 가격이며 이 중 약 70 % 정도가 전력증폭기의 가격임

- 현재 수동형 레이더에 사용하는 TWTA, Klystron 증폭기는 향후 능동형 위상배열 레이더 개발과 함께 GaN 증폭기로 대체될 전망

표. 레이더 시스템 시장 전망

(단위: 억불)

구 분	2009	2010	2011	2012	2013	2014	CAGR
북미	19.2	20.1	21.1	22.2	23.2	24.4	4.9%
일본	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	4.4%
유럽	13.0	13.6	14.3	15.0	15.8	16.6	5.1%
아시아	3.3	3.6	3.9	4.2	4.7	5.1	9.2%
기타	2.5	2.6	2.8	3.1	3.3	3.6	7.7%
세계 합계(A)	39.9	42.1	44.3	46.8	49.4	52.2	5.5%
한국 시장(B)	0.57	0.62	0.68	0.74	0.81	0.89	9.2%
한국 비중(B/A)	1.43%	1.48%	1.52%	1.58%	1.64%	1.71%	

3. 기술적용 분야 및 기술의 시장성(3)

● 해당 제품/서비스 시장 규모 및 국내외 동향

➡ 해당 제품 국내외 동향

■ 국내 기술 동향

- 동국대, 서강대, 서울대, 한양대, 포항공대, 전북대, 광주과학기술원등에서 제한된 인력과 지원하에 HFET 등 다양한 종류의 소자에 대한 연구결과를 발표하였음
- 경북대에서는 GaN-on-Si 기술에 기반한 1.65V의 문턱전압과 1.6mS/mm의 상호전달이득을 가지는 MOSFET을 제조하여 발표하였으며, 서울대는 2GHz의 동작주파수에서 15.6W를 출력하는 GaN HEMT을 제조하여 발표하였음
- 한국전자통신연구원은 2012년 2월 AlGaN/GaN 이종접합구조를 기반으로 S-band용 20W급 GaN HEMT 소자를 개발하여 발표하였으며, 2012년 6월 현재 S-band용은 40W급 GaN HEMT 소자를 개발 중에 있음

3. 기술적용 분야 및 기술의 시장성(4)

● 해당 제품/서비스 시장 규모 및 국내외 동향

➡ 해당 제품 국내외 동향

■ 세계 기술 동향

- 현재 상업적으로 사용할 수 있는 GaN 고주파 전력 소자 반도체 제작 기술은 미국의 Cree, Nitronex, 일본은 도시바, 유디나 사 등 극히 일부임
- Nitronex는 실리콘 기판위에 GaN 에피를 길러 GaN 전력 소자를 제작하므로 가격 경쟁력은 있으나 다른 회사들이 사용하는 SiC 기반 기술에 비하여 성능과 신뢰성이 열등한 것으로 평가 받고 있음
- 일본 회사들이 수출에 소극적인 것을 고려하면 지금은 Cree사의 실질적인 독점 상황임. 현재 단일 패키지로 4W, 10W, 25W, 45W, 90W, 180W 급이 출시되고 있음
- GaN 전력증폭기 및 소자용 파운드리에는 미국 TriQuint, Cree, RFMD, Nitronex와 유럽의 UMS등에서만 가능한 실정이며 현재 X-대역의 MMIC 설계 및 제작이 가능함

4. 기대효과(1)

기술도입효과

▶ 고객이 본 기술을 통해 얻을 수 있는 경제적 효과

- 기지국용 전력증폭기 소자는 전체 RF 전력 소자 중에서 상당한 부분을 차지하고 있으며, 2003년에 RF 전력 소자는 전체 1,946 백만 달러의 시장 규모를 보여 주었는데, 이중 4W 이하가 거의 60%를 차지하고, 20W 이상의 wide band gap 관련 시장은 30%인 579 백만 달러임(ABI research "RF Power Devies" (Feb 2004), CS mantech 2005, S. Mcgrath et al)

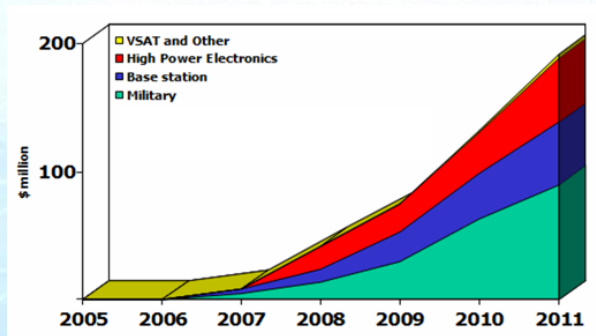


그림. GaN power device 시장 전망 (출처: Strategy Analytics)

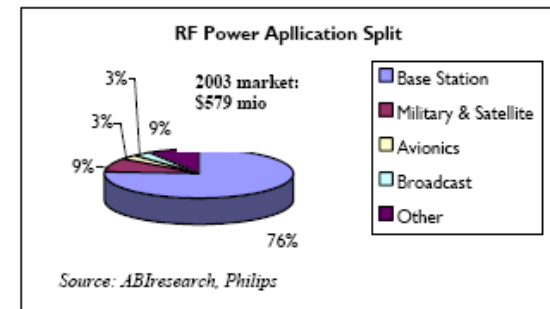


그림. RF power 응용 분야 분할

● 기술도입효과

➤ 고객이 본 기술을 통해 얻을 수 있는 경제적 효과

- GaN 전력소자는 이동통신 기지국용 전력증폭기, 자동차용 등 고출력 전력반도체 소자, 민군/수용 레이더 증폭기 모듈 등이 주 시장을 이룰 것으로 예측되며 각각의 시장 전망은 상기 그림과 같음
- 전력 소자는 전력 증폭기의 핵심 부품이며, 전력 증폭기내에서 원가 비중이 제일 높은 부품이어서 성공 시에는 전력증폭기의 가격 경쟁력 및 전체 시스템의 가격 경쟁력에 중대한 영향을 미침
- 급격히 증가하게 될 초고주파 레이더용 고출력 전력소자 및 전력증폭 모듈의 수입 및 해외 의존도에서 벗어나 부품소재 산업의 경쟁력과 지속적인 경제 성장을 위한 잠재력 확보