

## 8-4 S-band 50W급 GaN 전력소자 기술

GaN 전력소자는 3.4eV의 넓은 에너지 갭을 갖는 반도체로서 고온에서 안정된 화합물일 뿐 아니라 5MV/cm<sup>2</sup> 이상의 breakdown 전압과 함께  $2.5 \times 10^7$  cm/V sec의 높은 포화전자속도와  $\sim 1,000$  cm<sup>2</sup>/V S의 전자이동도 등의 특성을 바탕으로 1990년대 이후 전자 및 광소자의 응용 가능성이 보이면서 선진 각국에서 중점적으로 연구를 수행하고 있으며 이동통신 기지국용 전력증폭기, 자동차용 전력증폭기, 해상용 레이더 등 여러 분야에 응용이 가능함

RF융합부품연구실 담당자 임종원

# 목차

1 기술 개요

2 개발기술의 주요내용

3 기술적용 분야 및 기술의 시장성

4 기대효과

## ● 기술개발의 필요성

### ▶ 고객 및 시장의 니즈

#### ■ GaN 전력소자

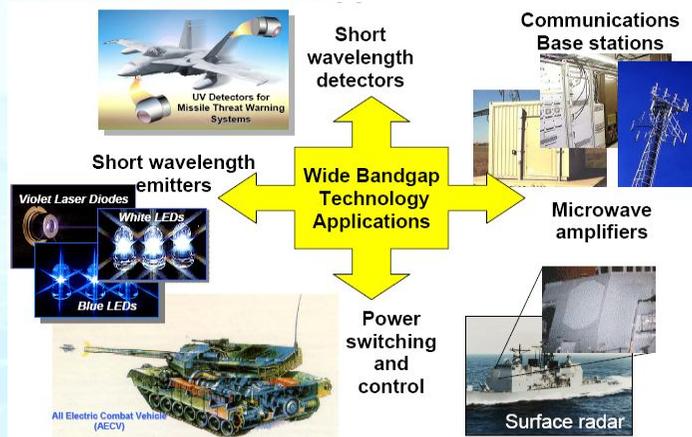
- 미국의 경우 2004년도 기준 약 5천만불 수준의 GaN 기반 개발전략 지원이 이루어졌으며, 이 중 DARPA(3천만불 이상)와 ONR(약8백만불)이 주도적으로 RF/Microwave power devices, deep UV 전자 재료 및 소자의 연구/개발 지원을 하고 있으며 NIST, AFRL, NRL, Army Research Laboratory, ARO, DOE 그리고 MDA 등 여러 정부단체에서 전략적으로 지원이 이루어지고 있음
- 일본의 경우 아시아에서 가장 활발한 연구/개발 활동을 수행하는 나라로, 역시 정부 주도의 국책사업을 활발히 하고 있으며 전자소자의 경우 NEDO를 중심으로 Oki, Fujitsu, Panasonic 등 상용화를 위한 연구가 활발히 전개되고 있음
- GaN 전력소자 기술은 레이더, 미사일 등 군수용으로 활용도가 높은 전략적 품목으로 선진국에서의 기술 도입이 매우 어려워 자체적으로 기술 확보가 필수적인 품목임에도 불구하고 현재 국내의 GaN 전력소자에 대한 연구는 몇몇 대학 및 연구소에서 기판 및 에피 성장에 대한 연구를 중심으로 이루어지고 있으며, 소자 및 이를 이용한 시스템에 대한 연구는 전혀 이루어지고 있지 않아 이에 대한 개발이 시급한 실정임

# 1. 기술 개요(2)

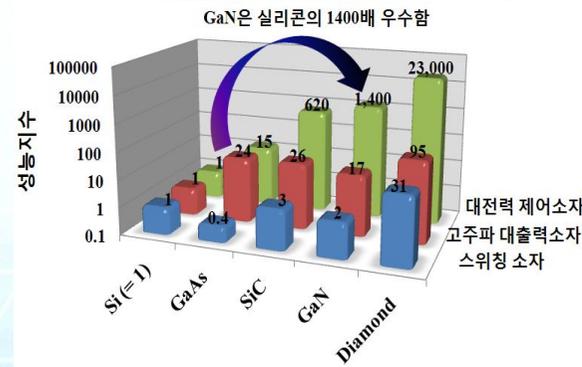
## 기술개념 및 기술사양

### 기술개념

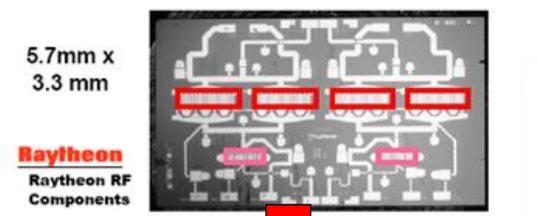
- GaN, AlN, InN 등의 III-V족 질화물 반도체와 SiC를 비롯한 탄화물에 대한 연구는 1960년대부터 이들의 성장과 특성에 중점을 두고 수행되어 오고 있으며, 그 중 GaN은 3.4eV의 넓은 에너지갭을 갖는 반도체로서 고온(>700°C)에서 안정된 화합물일 뿐 아니라 5MV/cm<sup>2</sup> 이상의 breakdown 전압과 함께 2.5x10<sup>7</sup>cm/V·sec의 높은 포화전자속도와 ~1,000cm<sup>2</sup>/V·S의 전자이동도 등의 특성을 바탕으로 1990년대 이후 전자 및 광소자의 응용 가능성이 보이면서 선진 각국에서 중점적으로 연구를 수행하고 있으며 그 활용 분야가 광범위함



GaN 전력소자의 활용 분야



10 W X-band GaAs PHEMT amp



10 W X-band GaN HEMT Device



# 1. 기술 개요(3)

## 기술개념 및 기술사양

### 기술구성도

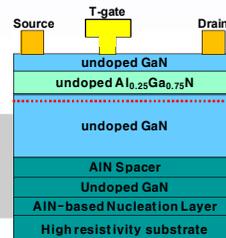
GaN HEMT  
Technologies

Epi 구조설계 기술

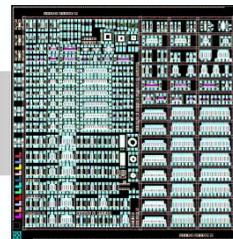
소자 설계 기술

소자 공정 기술

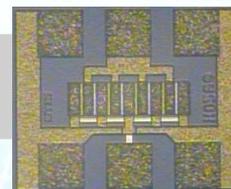
소자 측정 기술



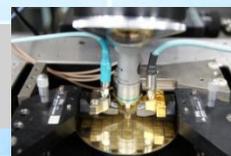
• 고전압/고출력용 Epi 구조 설계



• Field plate 구조를 갖는 고전압 소자 설계



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



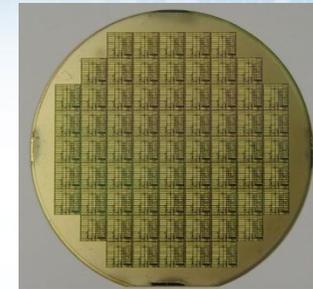
• 고전력/고출력 소자 DC/RF 측정  
• 고출력소자 Source/Load-Pull 측정

## 2. 개발기술의 주요내용(1)

### ● 기술의 특징

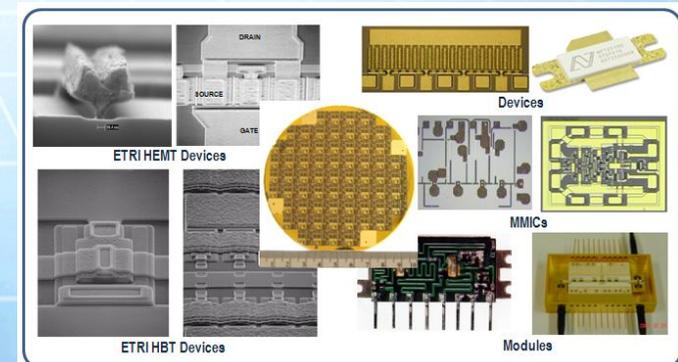
#### ➔ 고객/시장의 니즈를 충족시키는 독특한 점

- 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
- 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



ETRI 4-inch GaN wafer

### ETRI의 20년 화합물반도체 기술을 통한 원천기술 확보



## 2. 개발기술의 주요내용(2)

### ● 기술의 특징

#### ➔ 기술의 상세 사양

항 목	사 양	비 고
주파수 대역	S-band	
Output power	50 watt	
항복전압(동작전압)	> 100 V	
Power gain	> 8 dB	
PAE	> 30%	
$f_T$	> 10 GHz	
$f_{max}$	> 30 GHz	

## 2. 개발기술의 주요내용(3)

### ● 경쟁기술대비 우수성

#### ▶ 경쟁기술/대체기술 현황

- 일반적으로 레이더시스템은 원거리 탐지를 위하여 KW급의 큰 출력을 요구하고 있으며 이러한 큰 출력을 나타내기 위하여 클라이스트론(Klystron), 마그네트론(Magnetron), 진행파관(TWT, Travelling Wave Tube) 등 각종 진공관이 사용되고 있음
- 진공관 형태의 증폭기는 요구조건에 맞는 큰 출력을 낼 수 있으나 크기가 크고, 효율성과 신뢰성이 낮음
- 최근에는 고출력 마그네트론의 Dual Use 항목지정에 따라 기존의 진공관형 레이더를 반도체 소자를 이용한 SSPA 형 디지털레이더로 개발하는 추세임
- 3/4G 이동통신 기지국 및 중계기용 RF송신 모듈에 쓰이는 전력증폭기 소자는 대부분 Si 기반의 LDMOS가 사용됨

#### ▶ 경쟁기술/대체기술 대비 우수성

경쟁기술	본 기술의 우수성
마그네트론 등 진공관 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 평균 무고장시간(MTBF: Mean Time Between Failure)이 약 50,000시간으로 3,000시간의 마그네트론 보다 우수함</li> <li>- 주파수 가변성이 우수하고 주파수 광대역화의 경우 진공관은 10~20%인 반면 반도체소자의 경우 50% 정도로 상향 시킬 수 있는 점이 우수함</li> <li>- 신호처리 과정에서 도플러(Doppler) 특성을 향상 시킬 수 있으며 DSP 및 FPGA 소자의 적용으로 디지털화가 가능함</li> <li>- 크기가 작고 선형특성이 우수하여 상호변조(Intermodulation) 및 고조파(Harmonic) 왜곡 효과가 적으므로 전력을 효율적으로 사용 할 수 있음</li> </ul>
GaAs, Si 소자 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GaN 소자는 물리적으로 에너지대 간격이 넓고(3.4eV) 전자이동도가 높으며, 매우 높은 포화속도를 가지는 등의 우수한 물질특성을 지니고 있어 고속, 고출력, 고효율 동작이 가능함</li> </ul>

## 2. 개발기술의 주요내용(4)

### ● 기술의 완성도

#### ▶ 기술개발 완료시기

- 2013. 12

#### ▶ 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 50W급 GaN HEMT 소자 시제품 및 판매 실시 권리

## 2. 개발기술의 주요내용(5)

### ● 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	반도체 소자 및 이의 제조방법	한국	2010- 0127661	2010
출원	계단형 게이트 전극을 포함하는 반도체 소자 및 그 제조 방법	한국	2011- 0133715	2011
출원	트랜지스터 및 그 제조 방법	한국	2012- 0143702	2012

### 3. 기술적용 분야 및 기술의 시장성(1)

#### ● 기술이 적용되는 제품 및 서비스

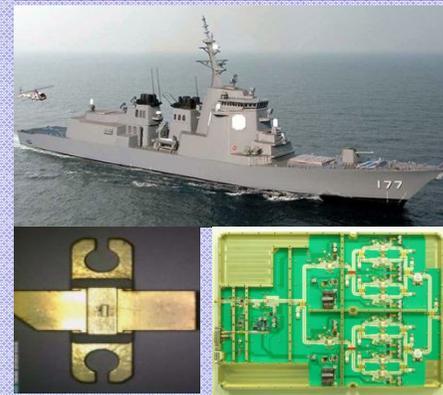
##### ▶ 기술이 적용되는 제품/서비스

#### 무선이동통신용 전력증폭기



- 3/4G 이동통신 기지국 및 중계기용 RF송신 모듈에 쓰이는 전력증폭기 소자는 대부분 Si 기반의 LDMOS가 사용되고 있음
- 현재 90% 이상 수입에 의존하는 LDMOS 전력 증폭기는 향후 특성이 우수한 GaN 전력증폭기로 대체 될 전망

#### 군수 및 선박 레이더용 SSPA



- S-대역 레이더용 고출력 소자분야에 TWT 등을 대체하는 SSPA 기술로 적용
- 이지스함용 SPY-1D radar의 경우, L/S-band 송수신 모듈(TRM) 4,350개 사용
- 국방 레이더 시스템의 트랜시버 모듈은 레이더 시스템 가격의 40% 정도를 차지함

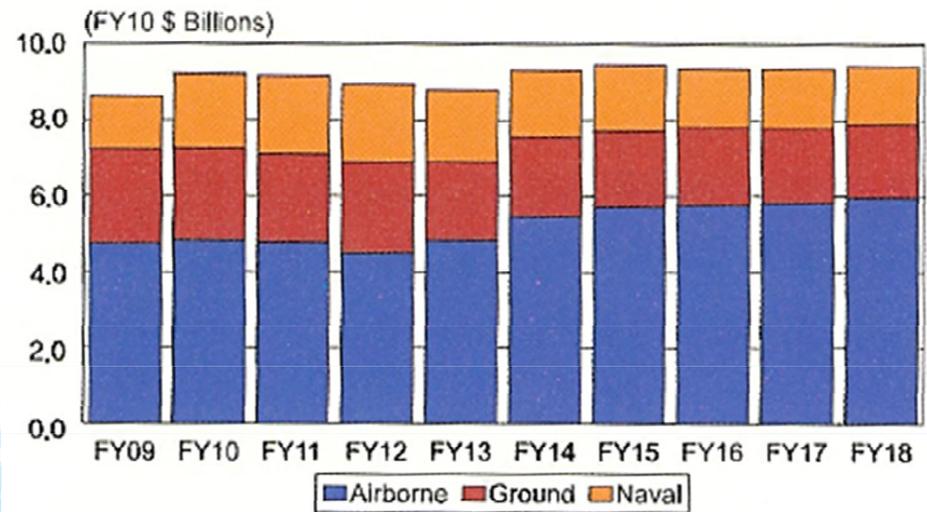
### 3. 기술적용 분야 및 기술의 시장성(2)

#### ● 해당 제품/서비스 시장 규모 및 국내외 동향

##### ▶ 해당 제품/서비스 시장 규모

- 레이더 시스템 시장규모는 2018년 까지 약 830억불로 전망됨
- 연평균성장률(CAGR)은 2014년 까지 1.6% 수준이며 2018년까지 1%로 전망됨
  - 주 : 레이더 시스템 가격의 40% 정도가 트랜시버 모듈의 가격이며, 이 중 약 70% 정도가 전력증폭기의 가격임

전세계 레이더 시장 규모 예상



[자료] : "Military Electronics Market Overview", Tealgroup.(2010.4)

### 3. 기술적용 분야 및 기술의 시장성(3)

#### ● 해당 제품/서비스 시장 규모 및 국내외 동향

##### ➤ 해당 제품/서비스 시장 규모

- 시장 : 세계시장 6.6억불, 국내시장 790억원 규모 (2013년 기준)
- 현재 90% 이상 수입에 의존하는 LDMOS 전력증폭기는 향후 특성이 우수한 GaN 전력증폭기로 대체될 전망

이동통신용 기지국용 전력증폭기 시장 (단위:억원/억불)

구분	2010	2011	2012	2013	2014	CAGR
국내	783.7	777.6	790.8	789.7	807.1	0.74%
세계	6.5	6.5	6.6	6.6	6.7	0.74%

[출처] : IDC 2008, MARKET ANALYSIS:Worldwide Cellular Basestation Semiconductor 2008-2013 Forecast and Analysis

### 3. 기술적용 분야 및 기술의 시장성(4)

#### ● 해당 제품/서비스 시장 규모 및 국내외 동향

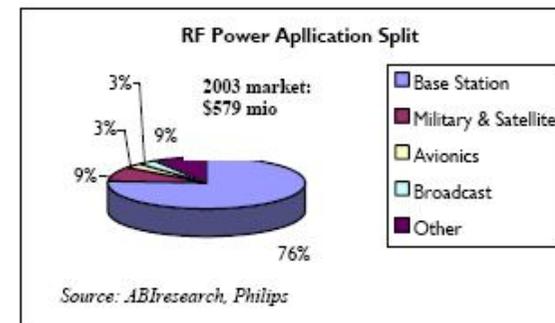
##### ➔ 해당 제품/서비스 시장 국내외 동향

미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>2004년도 기준 약 5천만불 수준의 GaN 기반 개발전략 지원이 이루어졌으며, DARPA 등 정부단체에서 전략적 주도로 2005년 TriQuint, Cree등에서 GaN 전자소자 최초 상용화 등 기존의 Si, GaAs 기술을 GaN으로 대체함</li> <li>특히 국방전투기 레이더의 GaN 기술 대체로 소형/경량화를 통한 에너지 절감 실현</li> </ul>	상용제품 공급사 <ul style="list-style-type: none"> <li>Cree</li> <li>TriQuint</li> <li>Nitronex</li> </ul>
유럽	<ul style="list-style-type: none"> <li>유럽에서는 2005년 유럽연방(EDA) 주도로 7개국에서 29개 기관이 참가하여 GaN HEMT 기술을 개발하는 Korrigan project 출범하여 다국적 컨소시움을 형성, Alcatel-Thales III-V Lab을 중심으로 UMS, SELEX 공정을 이용 독자적으로 GaN 전력소자 기술이 개발되고 있음</li> <li>GaN 전력증폭기(MMIC) 기술은 SAAB/BAE의 경우 3GHz에서 전력 100 ~ 140Watt의 결과를 발표하였음</li> </ul>	상용제품 공급사 <ul style="list-style-type: none"> <li>UMS</li> </ul>
일본	<ul style="list-style-type: none"> <li>NEDO 주도로 2005년 Eudyna등에서 전자소자 상용화</li> <li>Toyota는 HEV용 전력반도체 연구 활발히 연구 중임</li> <li>Toshiba에서는 현재 X-band 50W급 내부정합형 GaN HEMT 패키지를 세계에서 유일하게 상용 제품으로 공급하고 있음</li> </ul>	상용제품 공급사 <ul style="list-style-type: none"> <li>Toshiba</li> <li>Eudyna (Sumitomo)</li> </ul>
한국	<ul style="list-style-type: none"> <li>서울대는 2GHz에서 15.6W의 출력을 갖는 GaN HEMT 소자를 발표</li> <li>ETRI에서 2012년 2월 AlGaIn/GaN/SiC HEMT를 기반으로 30W급 S-band용 GaN HEMT 소자와 10W급 X-band용 GaN HEMT의 RF 전력소자 결과를 발표</li> <li>RFHIC, RFCore, 기가레인, 엘아이시티, 성산전자통신, 제노코, 유텔, 삼성탈레스, LIG넥스원, STX엔진 등 국내업체는 대부분 외국의 상용 GaN 개별소자칩을 전량 수입하여 무선통신용 기지국 및 레이더 시스템용 반도체 송신 PA 모듈을 개발중</li> </ul>	상용제품 공급사 <ul style="list-style-type: none"> <li>없음</li> </ul>

# 4. 기대효과

## ● 기술도입효과

### ➡ 고객이 본 기술을 통해 얻을 수 있는 경제적 효과



RF power 응용 분야 분할

- GaN를 이용한 고출력 증폭기 기술은 군수용 시스템에 제한되는 것이 아니라, 이동통신 기지국용 전력증폭기, 자동차용 전력증폭기, 해상용 레이더 등 여러 분야에 응용이 가능하며, 특히 군수용 원천 기술 확보를 통하여 초고가의 무기체계 국산화 및 정밀 군수용품에 대한 수요를 충족할 수 있고 미래 초고주파 레이더 기술 확보 및 관련 부품 산업의 경쟁력을 제고할 수 있음
- 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 Devise" (Feb 2004), CS mantech 2005, S. Mcgrath et al)
- 급격히 증가하게 될 초고주파 레이더용 고출력 전력소자 및 전력증폭 모듈의 수입 및 해외 의존도에서 벗어나 부품소재 산업의 경쟁력과 지속적인 경제 성장을 위한 잠재력 확보