

GaN RF / 전력반도체 기술

2019. 10. 10.

강 동 민

RF/전력부품연구실

ICT창의연구소

ETRI

한국 전자통신연구원



목 차

1. ETRI 화합물반도체 기술
2. GaN 반도체 기술 특징
3. GaN RF 소자 및 집적회로 기술
4. GaN 전력반도체 기술
5. Summary

1. ETRI 화합물 반도체 기술

ETRI 화합물반도체 기술 현황

❖ ETRI MMIC 설계 및 공정 기술

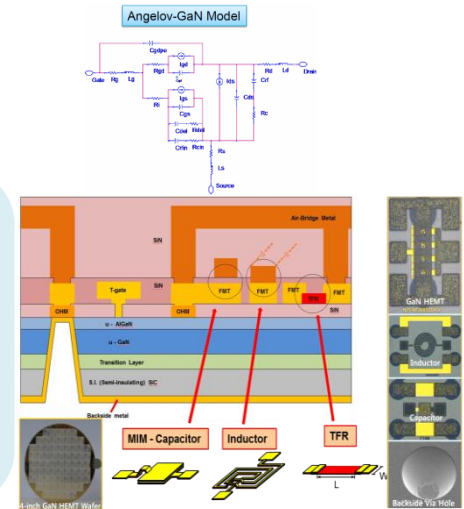
- 0.5um GaAs pHEMT MMIC 기술
- 0.12um/0.25um GaAs pHEMT MMIC 기술
- 0.1um GaAs mHEMT MMIC 기술
- 1.0um InGaP/InP HBT MMIC 기술
- 0.5um/0.25um GaN HEMT 고전력 소자 기술
- 0.25um GaN HEMT MMIC 기술
- 0.15um GaN HEMT MMIC 기술

❖ ETRI 화합물반도체 실험실

- Clean room (200평 규모, class 10 ~ 1,000)
- 공정장비 (i-line stepper/EBDW 등 55종)
- 4 inch wafer (2 inch compatible) 일괄공정

0.15um GaN HEMT MMIC Library

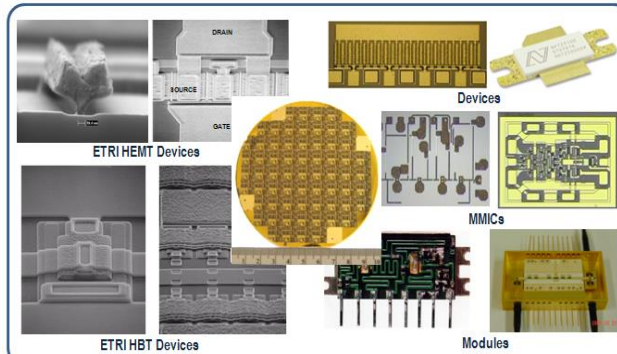
- Non-linear GaN HEMT models for MMICs
- Angelov-GaN model for ADS
- 0.15um gate length HEMT operated at drain bias 15 to 30 V
- $f_T > 55 \text{ GHz}$ / $V_{br} > 100 \text{ V}$
- High power density : 4 W/mm
- High temperature operation (up to 225 °C)
- Resistor : NiCr TFR (26 $\Omega/\square$), Mesa (440 $\Omega/\square$)
- Inductor : Rectangular, Circular
- Capacitor : MiM capacitors > 100 V



❖ ETRI 공용 측정실

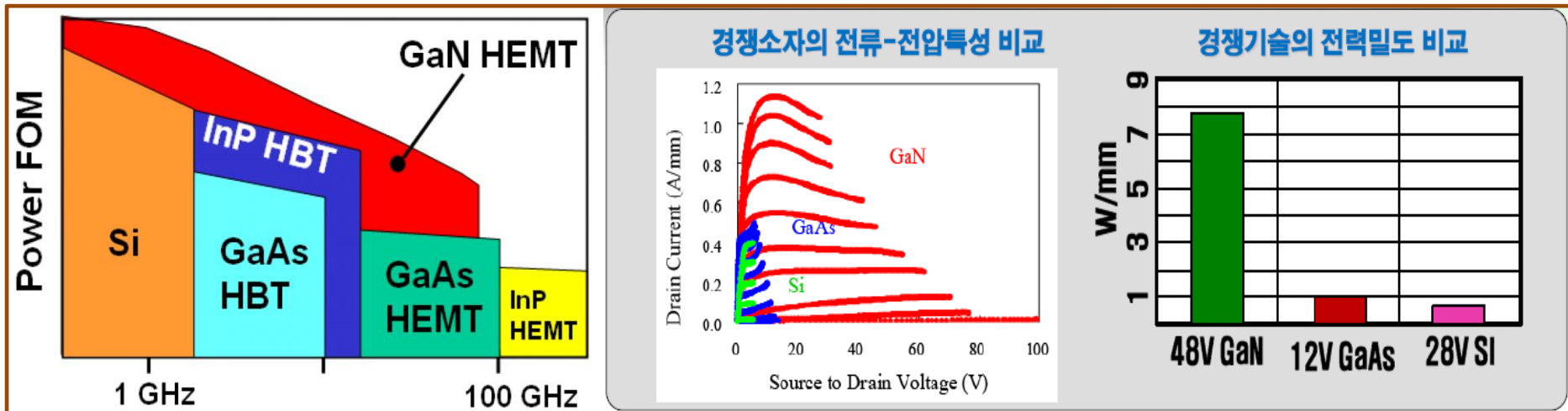
- DC/RF 측정 장비 (network analyzer/probe station/load-pull tuner 등 30종)
- 전력소자 신뢰성 시험 (고온동작시험/고온저장시험/온도변화시험)

ETRI의 25년 화합물반도체 인프라



2. GaN 반도체 기술 특징

Advantages of GaN materials



- 질화갈륨(GaN) 소재는 갈륨비소(GaAs) 소재에 비해 10배 이상 높은 캐리어 농도로 인한 높은 전력밀도를 얻을 수 있어 밀리미터파 대역까지의 고출력 전력증폭기 소자로 적합하고, RF 송수신기의 소형화 및 고효율화를 실현
- 질화갈륨(GaN) 소재는 실리콘(Si) 소재에 비해 3배 이상 높은 에너지 밴드갭으로 인한 높은 항복전압을 얻을 수 있어 고전압 전력반도체로 적합하고, 낮은 온-저항(on-resistance)과 고속 스위칭이 가능하여 인버터/컨버터의 소형화 및 고효율화를 실현

3. GaN RF 기술 응용 분야

GaN RF Market Applications



AESA 레이다



군용 통신



Sea-based 레이다 (X ~ Ku)



미사일 seeker (Ka~W)



LTE 이동통신

S



위성 통신

C



선박용 레이다

X



5세대 이동통신

Ku



차량용 레이다

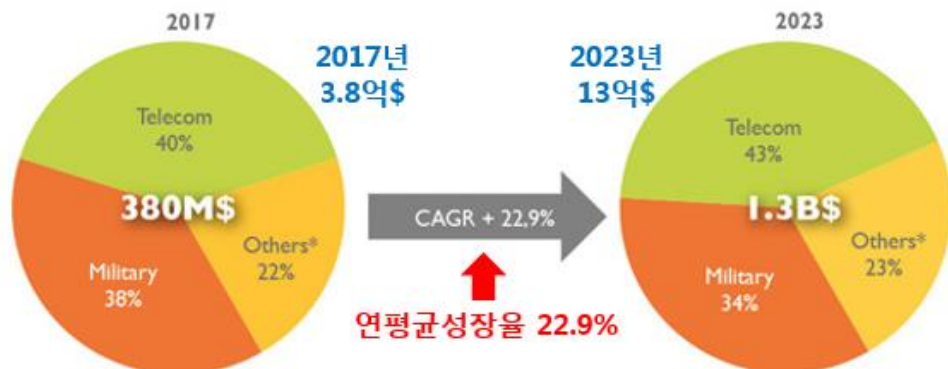
Ka

W

Frequency band

3. GaN RF 소자 시장 동향

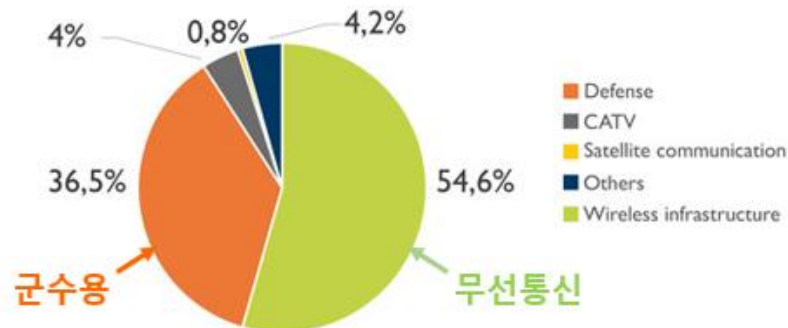
<GaN RF device 시장>



(출처: Yole Development, 2018.1)

전 세계의 GaN RF소자 시장의 규모는 2017년 3.8억불 규모에서 2023년 13억불 규모로 커질 것으로 전망하고 있으며, 연평균 성장률 (CAGR, Compound Annual Growth Rate) 20% 이상의 높은 성장세를 보일 것으로 전망

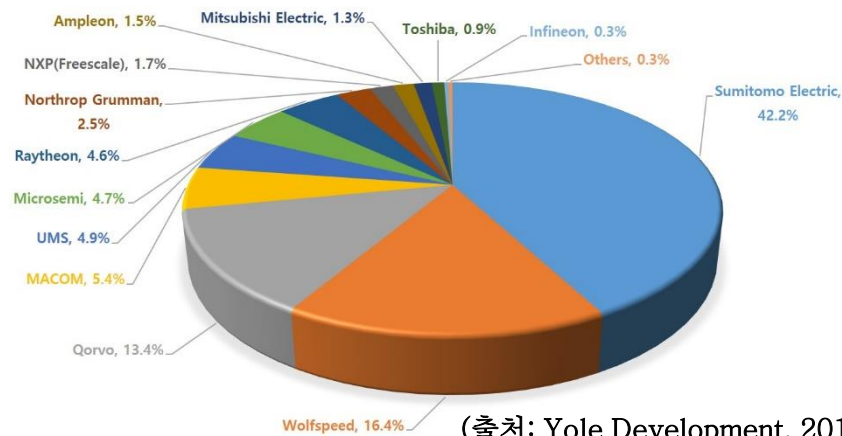
<응용분야별 GaN RF 소자 시장 점유율>



(출처: Yole Development, 2016.3)

<GaN RF 전력증폭기 관련 업체 시장 점유율>

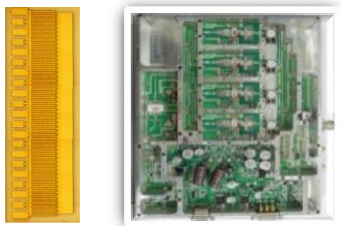
GaN RF 전력증폭기 관련 업체 시장 점유율



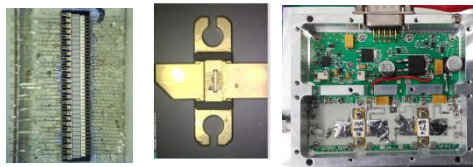
(출처: Yole Development, 2016)

3. GaN RF 소자 및 집적회로 기술

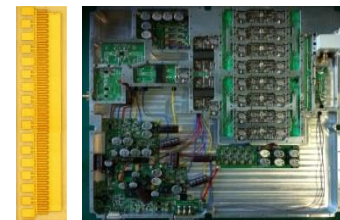
S-대역 선박레이더용
100W 전력증폭 소자 및 200W SSPA



S-대역 180W 전력증폭 소자 및
180W 전력증폭 모듈



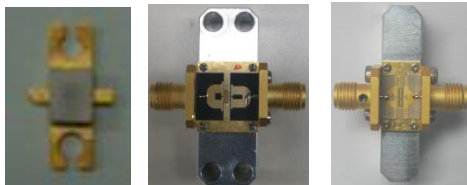
X-대역 선박레이더용
30W 전력증폭 소자 및 100W SSPA



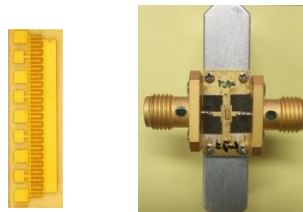
L ~ Ka 대역 GaN 전력증폭 소자
국산화 개발



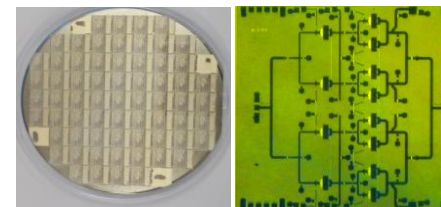
X-대역 50W 전력증폭 소자 및
IMFET 증폭기



Ku - 대역 25W 전력증폭 소자



Ka - 대역 12W GaN MMIC PA



3. GaN RF 소자 및 집적회로 기술

0.5 μm GaN HEMTs

Applications

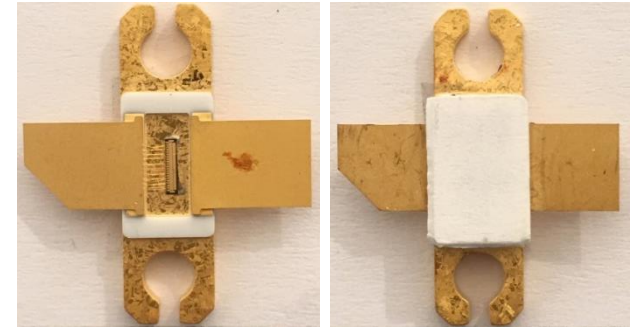
- 2-Way Private Radio
- Broadband Amplifiers
- Cellular Infrastructure
- Test Instrumentation

Features

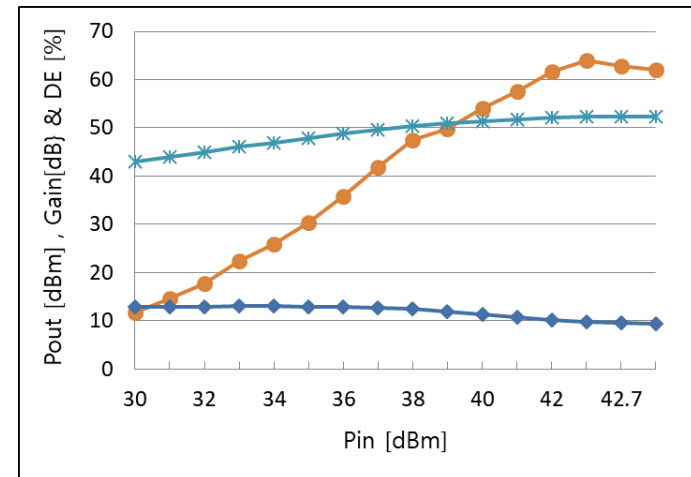
- Gate Length : 0.5 μm
- Operating Frequency : up to 5 GHz
- $P_{\text{sat}} > 180 \text{ W}$ @ 3.5 GHz
- PAE > 60 % @ 3.5 GHz
- Linear Gain > 13 dB @ 3.5 GHz
- Power density : 7 W/mm
- Operating Voltage : 50 V



Total gate width : 26mm
Unit gate width : 200 μm
Gate finger : 13개



180W GaN PKG



S-band 180W Tr $V_d = 50 \text{ V}$, $V_g = -3.5 \text{ V}$

3. GaN RF 소자 및 집적회로 기술

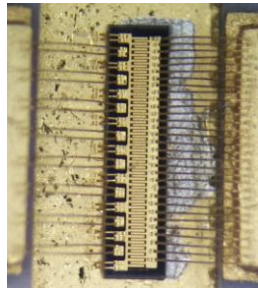
0.25 μm GaN HEMTs

Applications

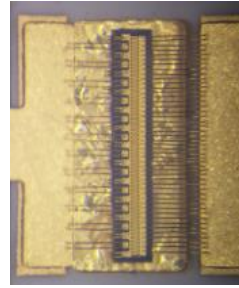
- Defense
- Aerospace
- Radar System
- Broadband Amplifier

Features

- Gate Length : 0.25 μm
- Operating Frequency : up to 16 GHz
- P_{sat} : 50 W @ 10 GHz
- PAE : 40 % @ 10 GHz
- Power Gain : 10 dB @ 10 GHz
- Power density : 4.2 W/mm
- Operating Voltage : 37 V



Total gate width : 12mm
Unit gate width : 100 μm
Gate finger : 12개



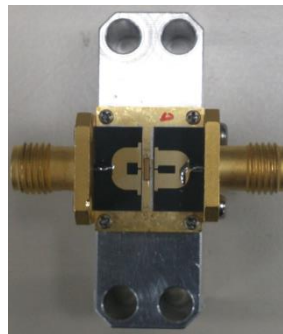
Total gate width : 12mm
Unit gate width : 75 μm
Gate finger : 16개



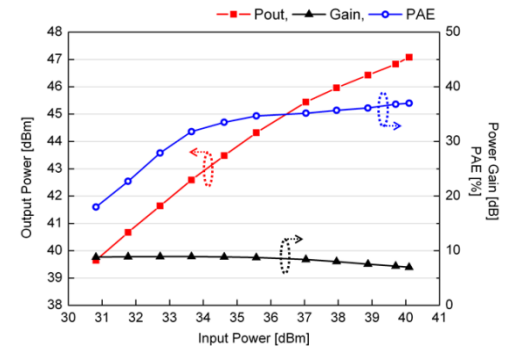
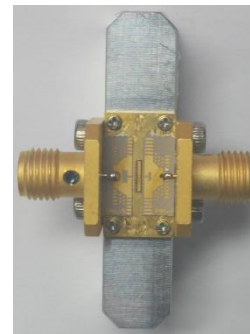
X-band 50W PKG



X-band 50W PA



X-band 50W IMPET



$$V_d = 37 \text{ V}, V_g = -3.0 \text{ V}$$

3. GaN RF 소자 및 집적회로 기술

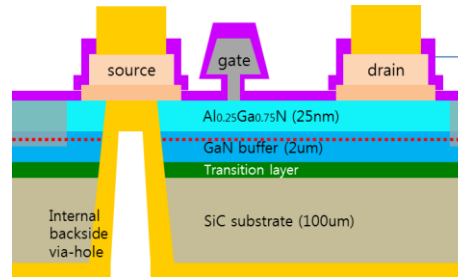
28GHz 대역 5G 스몰셀 기지국용 전력증폭기 MMIC 기술

ETRI 0.1um GaN HEMT 소자 및 MMIC 라이브러리 기술

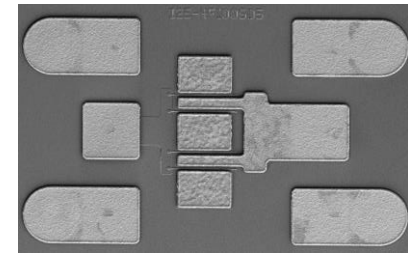
- ✓ 0.1um GaN HEMT 소자 설계
- ✓ 0.1um GaN HEMT 소자 공정 및 측정 분석
- ✓ 소자 모델링 및 설계 파라미터 추출

0.1 μm GaN HEMTs MMIC Library

- ✓ Non-Linear GaN HEMT Models for MMICs
- ✓ Angelov-GaN Model for ADS
- ✓ Resistor : NiCr TFR, Mesa
- ✓ Inductor : Rectangular, Circular
- ✓ Capacitor : MIM capacitors



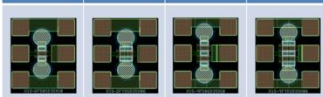
0.1 μm GaN HEMT 소자 구조



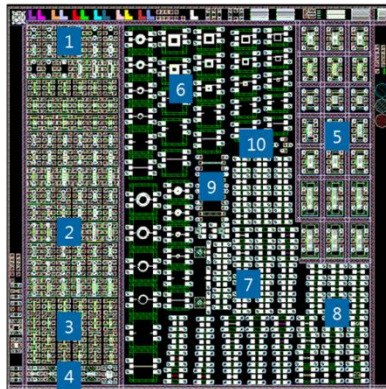
- ✓ Target device : 4f200
- gate length : 0.1 μm
- gate width : 200 μm
- ✓ Target Freq : 28 GHz (Ka-band)
- ✓ Target Bias : $V_d=20\text{V}$, $V_g=-3\text{V}$

0.1um GaN HEMT 소자 구조	
Gate foot length [um]	0.1
Gate head length [um]	0.6 / 0.8
Source-to-Drain distance [um]	3.0 / 3.5
Gate-to-Source distance [um]	1.0 / 1.15
Gate-to-Drain distance [um]	2.0 / 2.35
Unit gate width [um]	50 / 75
Number of gate [um]	2 / 4
Total gate width [um]	100 / 150 / 200 / 300

2F50um	2F75um	4F50um	4F75um
--------	--------	--------	--------

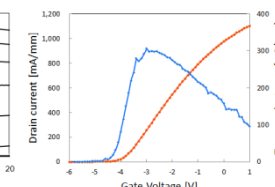
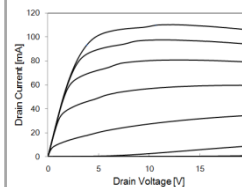
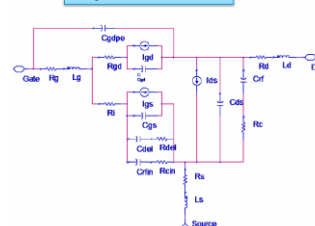


No.	Descriptions	No.	Descriptions
1	De-embedding 패턴	6	인덕터 소자
2	0.1um modeling 소자	7	저항 소자
3	0.1um PCM 소자	8	커패시터 소자
4	0.1um PCM 소자	9	마이크로스트립 라인
5	0.1um 전력소자	10	BVIA

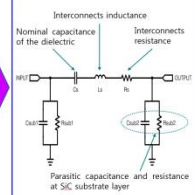
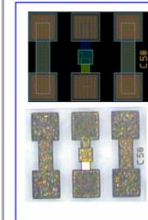
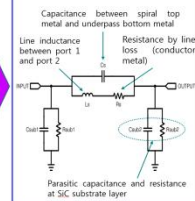
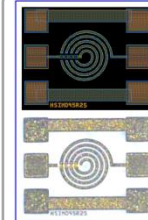


<GaN HEMT 소자 설계 및 마스크 레이아웃>

Angelov-GaN Model



<GaN HEMT 모델 및 소자 특성 추출>



<수동소자 모델링>

3. GaN RF 소자 및 집적회로 기술

28GHz 대역 5G 스몰셀 기지국용 전력증폭기 MMIC 기술

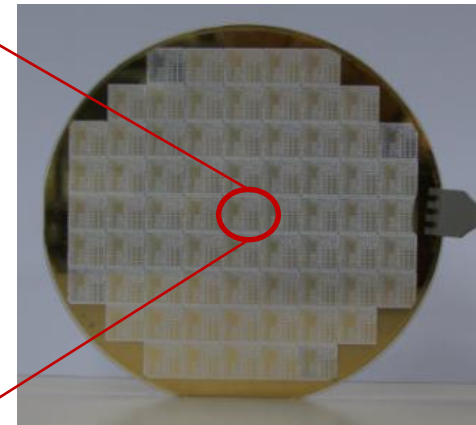
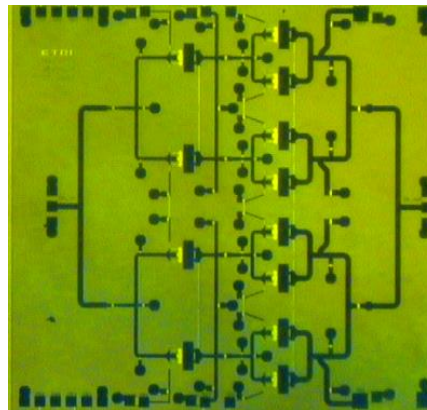
❖ 전력증폭기 MMIC 제작

- ETRI 0.15um GaN 4" Process
- MMIC 측정용 module 제작

❖ 28GHz MMIC PA 측정 결과

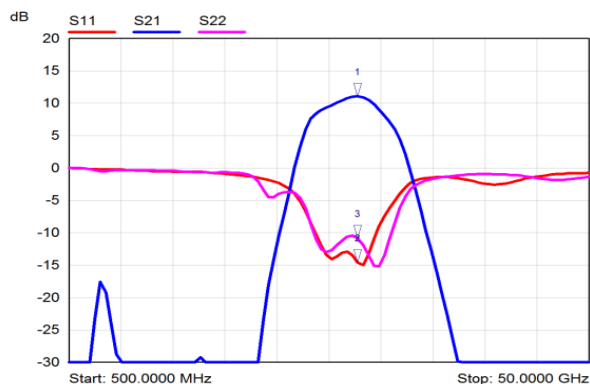
- $P_{out} > 12\text{ W}$ (41 dBm)
- Gain : 11.1 dB @ 28 GHz
- Input/Output return loss : - 14.6dB / -10.8 dB
- $V_{ds} : 25\text{ V}$, $V_{gs} : -4\text{ V}$

< 4mm x 4mm>



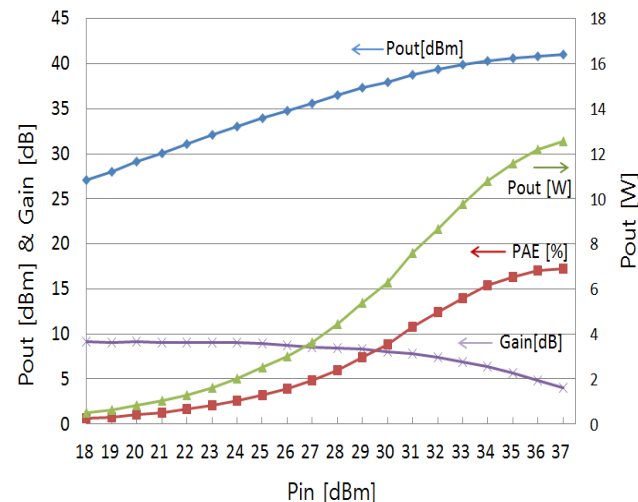
< 제작된 전력증폭기 MMIC 사진>

< 제작된 4" GaN MMIC Wafer 사진>



Mkr	Trace	X-Axis	Value	Notes
1	S21	28.0000 GHz	11.11 dB	Gain
2	S11	28.0000 GHz	-14.61 dB	Input return loss
3	S22	28.0000 GHz	-10.84 dB	Output return loss

< MMIC PA S-parameter 측정결과>



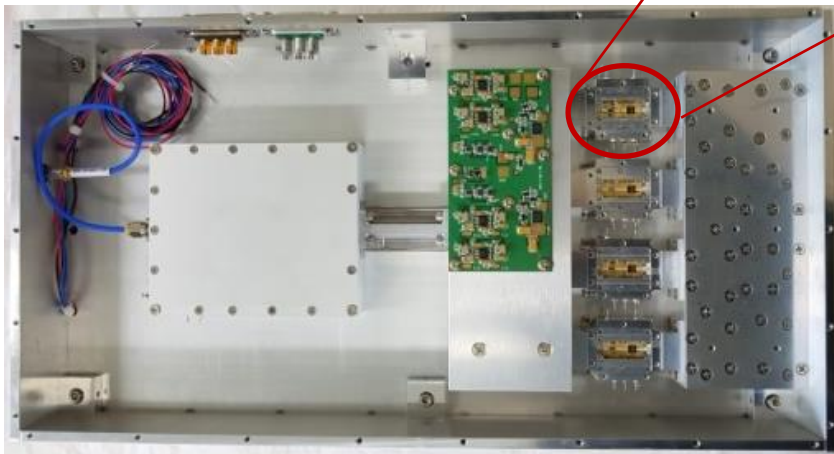
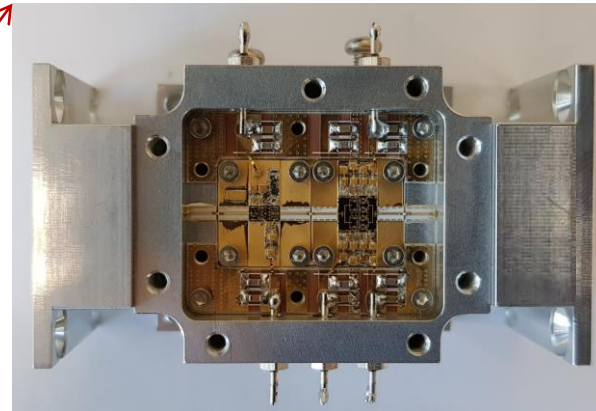
< MMIC PA Output Power 측정결과>

3. GaN RF 소자 및 집적회로 기술

28GHz 대역 5G 스몰셀 기지국용 전력증폭기 MMIC 기술

▶ ETRI GaN 20W SSPA 모듈 개발

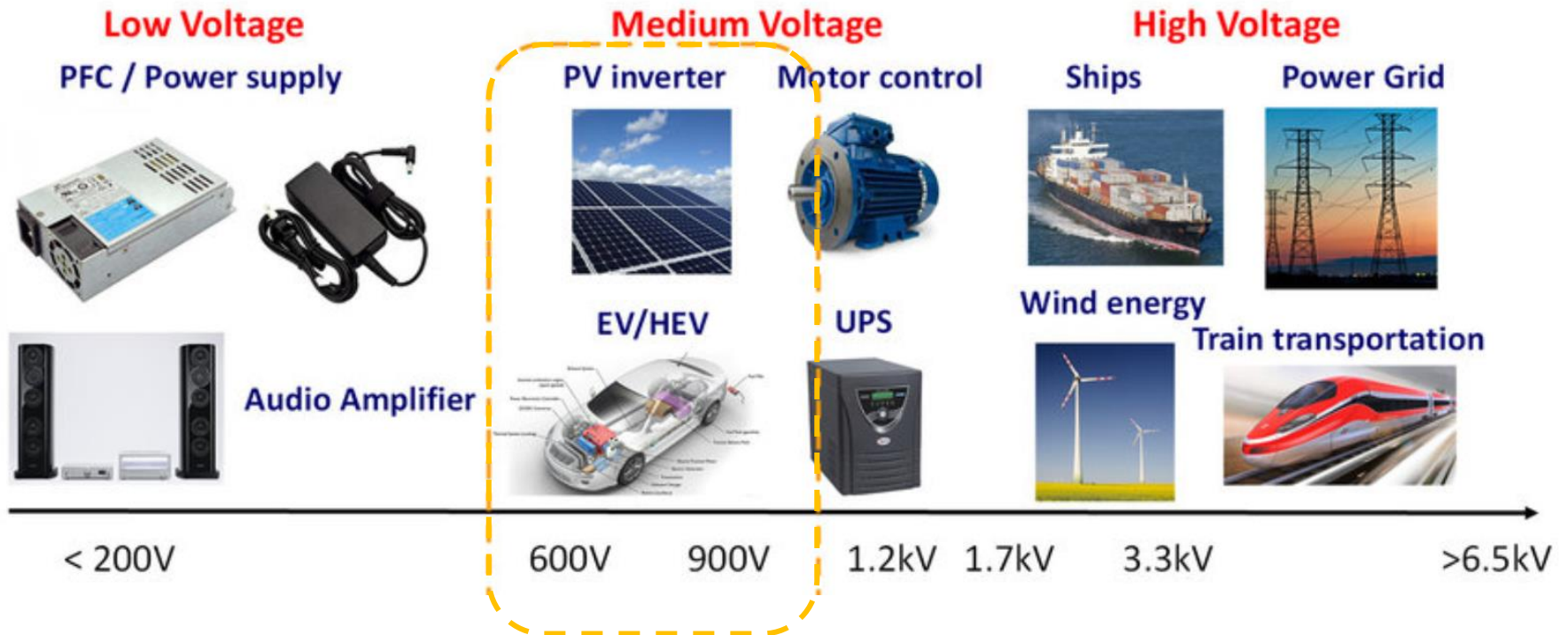
1. Drive Amp Module
 - TGA2594 GaN Amp Module
2. 소형화를 위한 분배기/결합기
3. Sequence Bias Circuit
4. ETRI GaN MMIC 소자 적용



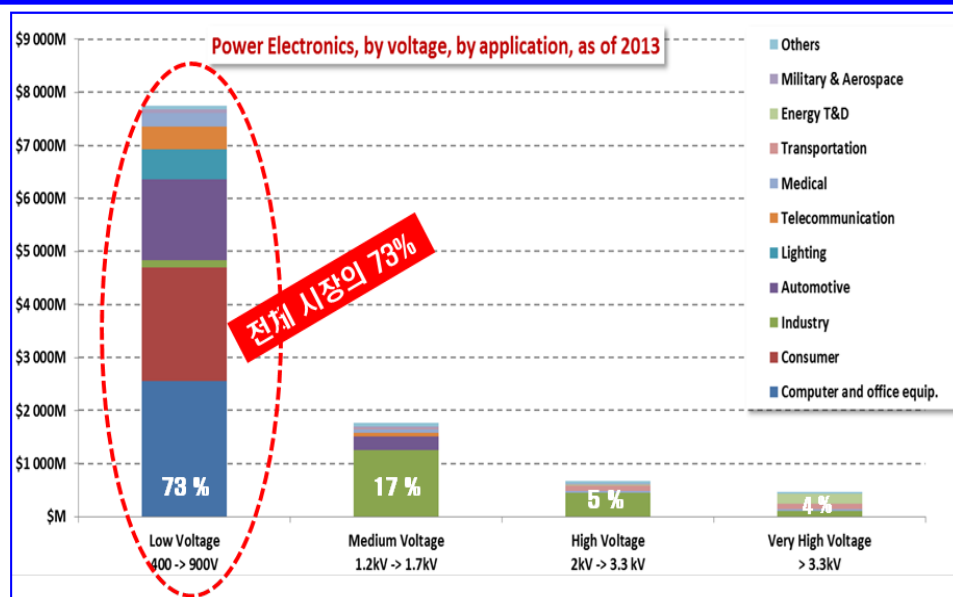
< ETRI GaN 20W SSPA 모듈 내부사진 (좌), 외부사진 (우) >

4. GaN 전력반도체 기술 응용 분야

GaN Power Device Applications

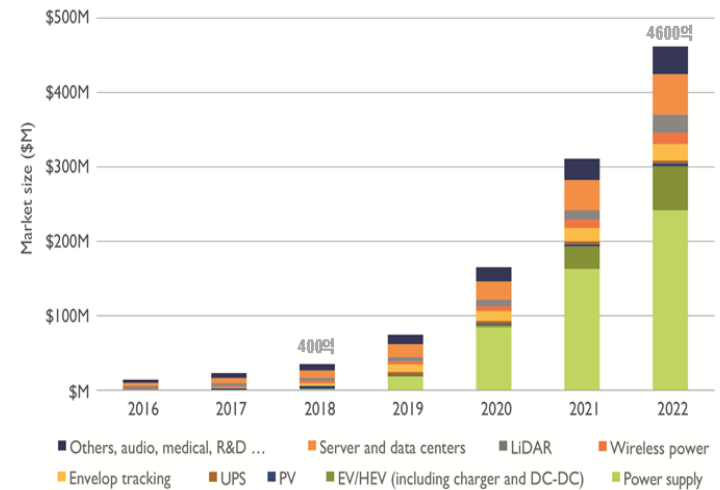


4. GaN 전력반도체 시장 동향



GaN power device market size split by application (\$M)

(Source: Power GaN 2017: Epitaxy, Devices, Applications, and Technology Trends 2017 report, Yole Développement, October 2017)



❖ 전체 전력전자 시장 규모 : 약 11조원

- 중 · 저전압 분야 규모 : 7조 8천억 [약 73% 점유]

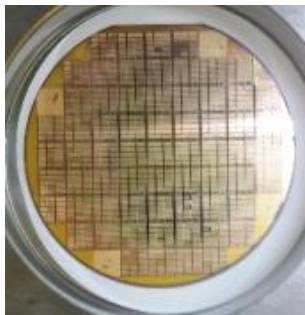
- 2022년 약 5억불의 GaN 전력반도체 소자 시장과 360억불 규모의 GaN 전력모듈 시장 예상

(출처 : Yole 2017)

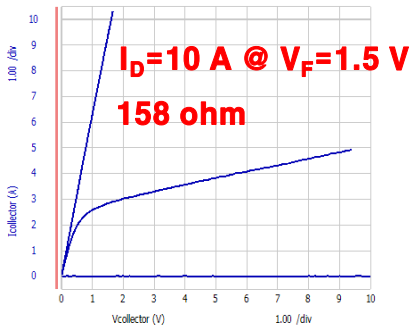
4. GaN 전력반도체 기술

성과	항목	단위	결과
GaN Switch 전력소자 개발	항복전압	V	600
	순방향전류	A	10
	온 저항	mΩ	158
GaN SBD 전력소자 개발	항복전압	V	637
	순방향전류	A	10

GaN Switch (GaN MISFET)



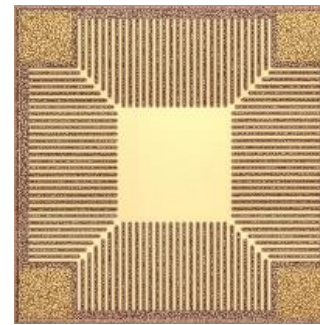
KEYSIGHT TECHNOLOGIES



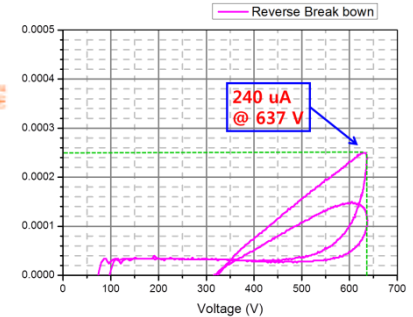
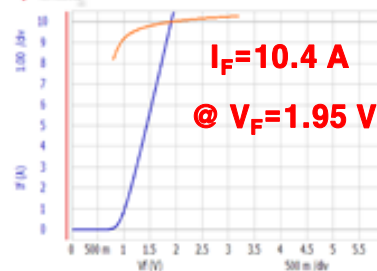
File Management Software for 370A and 371A



GaN SBD



KEYSIGHT TECHNOLOGIES



5. Summary

GaN RF/전력 반도체 기술

GaN RF/Power Semiconductor Technology

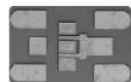
기술소개

5G 이동통신, 위성통신, 레이더에 활용되는 GaN 고출력 전력증폭기 소자 및 집적회로 기술과 전기자동차, 데이터 센터 및 무선충전용 전력모듈 등에 활용되는 차세대 GaN 전력반도체 소자 기술

기술특징

- 고출력 RF 전력증폭기의 소형화 및 고효율화 실현 가능 기술
- 전기자동차 및 데이터 센터 등에 적합한 차세대 전력 스위칭 소자
- GaN RF 전력증폭기 기술 국산화 개발 (일본 Sumitomo사 42% 시장점유율)
- 대일 의존도 100%인 Ga2O3 반도체 소재/소자 기술 국산화 개발
- 국내 최초 GaN 4인치 전력소자 에피/설계/공정/분석 일괄 기술

시스템 구성도



GaN 전자소자



GaN 4" Wafer



28GHz GaN MMIC PA



28GHz GaN MMIC PA Module



GaN RF Modules in Radar



GaN Power Modules in HV/EV

활동분야

- 5G 이동통신 기지국용 전력 증폭기
- 군수 레이더용 전력 증폭기
- 하이브리드, 전기차용 인버터/컨버터 전력 모듈
- 데이터센터용 전력 모듈
- IT 기기, 가전, 무선 충전용 전력 모듈

ETRI

기술
문의

RF/전력부품연구실 / 담당자 : 강동민
TEL : 042-860-1592 / E-mail : kdm1597@etri.re.kr

Electronics and Telecommunications Research Institute



감사합니다

ETRI RF/전력부품연구실 강동민 실장

042-860-1592, kdm1597@etri.re.kr