

# 5G FR2 밴드 기지국용 GaN 평형 전력증폭기 MMIC

## Balanced GaN HPA MMIC for 5G FR2 Band Base Station

지 홍 구 · 정 준 형 · 강 동 민

Hong-Gu Ji · Jun-Hyung Jeong · Dong-Min Kang

### 요 약

본 논문에서는 5G FR2 밴드용 기지국 시스템을 구현하는 필수 구성품인 전력증폭기를 구현하였다. 5G 기지국에 사용 가능하도록 전력밀도가 높고, 주파수 특성이 우수한 대만의 Win-Semiconductor사의 게이트 길이  $0.15 \mu\text{m}$  GaN on SiC HEMT 공정인 NP15를 사용하여 설계 검증하였으며, 제작된 전력증폭기 집적회로는 입 · 출력 반사특성을 좋게 하기 위하여 Lange coupler를 사용한 평형증폭기 형태로 구성되었다. 측정 결과, 주파수 특성 27 GHz~29 GHz 내에서 소신호 이득 18 dB, 출력전력 9 watts, 전력부가효율 25 %, 사이즈는  $3.6 \times 3.0 \text{ mm}^2$ 가 관찰되었다.

### Abstract

In this study, a power amplifier, which is an essential component, was implemented for an RF system of a 5G FR2 band base station. The design was verified using NP15-00  $0.15\text{-}\mu\text{m}$ -gate GaN-on-SiC HEMT process (Win Semiconductors, Taiwan) with a high power density and excellent frequency characteristics for use in 5G base stations. The manufactured power amplifier integrated circuit was measured in the form of a balanced amplifier using a Lange coupler to improve the input and output reflection characteristics. The measurement results were a small signal gain of 18 dB, output power of 9 W, power-added efficiency of 25 %, and a size of  $3.6 \text{ mm} \times 3.0 \text{ mm}^2$  within the frequency range of 27~29 GHz.

Key words: HPA, MMIC, GaN, 5G, Ka-Band

### I. 서 론

일반적인 통신용 기지국 부품은 가혹한 외부 환경에 노출되어 있어 고신뢰성이 요구된다. 특히, 핵심 부품인 전력증폭기의 경우, 일부 트랜지스터가 고장나면 기지국이 전부 통신 불능상태가 된다. 따라서, 본 논문에서는 전력증폭기의 트랜지스터가 일부 동작을 안 하면 전력을 줄여서라도 기지국 운용이 가능한 평형증폭기 형태의 전력증폭기 MMIC를 제안하고자 한다.

또한, GaN HEMT는 통신용 기지국이 요구하는 고신뢰,

고출력, 고효율에 적합하여 K/Ka 대역에서 관련 연구가 보고되어 왔다<sup>[1]~[4]</sup>.

### II. 전력증폭기 설계

#### 2-1 소자 특성

5G FR2 통신 대역의 기지국용 평형 전력증폭기를 설계하기 위하여 3 W/mm의 전력밀도와 40 GHz의 최대동작주파수 특성을 가지고 있는 대만 Win-Semi.사의  $0.15 \mu\text{m}$  GaN on SiC의 NP15 공정을 선택하였다. NP15공정의 4개

「이 연구는 정보통신기획평가원 “28 GHz 지원 5G 기지국용 GaN 기반 공정 기술 및 RF 부품 개발(과제고유번호:1711134359)”의 연구비의 지원으로 연구되었음.

한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

· Manuscript received February 11, 2023 ; Revised March 11, 2023 ; Accepted June 26, 2023. (ID No. 20230211-002S)

· Corresponding Author: Hong-Gu Ji (e-mail: hkji@etri.re.kr)

의 finger를 가지는 단위 게이트 길이  $50\ \mu\text{m}$  HEMT 소자의 특성파악을 위하여 안정도 향상을 위한 RC 병렬회로를 소자 전치에 삽입한 후 산란계수 및 로드풀 모의실험을 하였다. 그림 1 및 그림 2는 NP15 공정의 4F50 GaN on SiC HEMT 소자의 입력 임피던스  $Z_s=5.06+j23.45$ , 출력 임피던스  $Z_L=10.68+j59.80$ 에서 이상소자로 완전 정합되었을 때 산란계수와 전력특성을 표시한 것이다. 모의실험 결과, 대역 내에서 약 11 dB의 소신호 이득과 약 30 dBm의 P2 dB를 확인할 수 있었다.

## 2-2 Lange 커플러를 이용한 평형증폭기 구성

일반적으로 기지국용 전력증폭기는 높은 입·출력 정합이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 광대역 입·출력 정합특성을 가지는 Lange 커플러를 이용하여 평형증폭기 형태로 전력증폭기를 구성하고자 한다<sup>[5]</sup>. 그림 3은 본 논문이 이루고자 하는 평형 전력증폭기 MMIC의 구성도이다. 평형 증폭기는 상단 증폭기와 하단 증폭기로 나누어지는 바, 먼저 상단 증폭기를 설계하고, 이후 이를 대칭으로 하단 증폭기로 구성하여 최종 Lange 커플러를 사용하여 평형증폭기로 구성하는 방법을 선택하였다.

평형증폭기를 구성하기 위하여 반드시 필요한 Lnage 커플러는 Win-Semi.사 NP15 공정 디자인 rule을 따라 EM 설계되었으며 모의실험 결과, 각각의 입·출력 반사계수

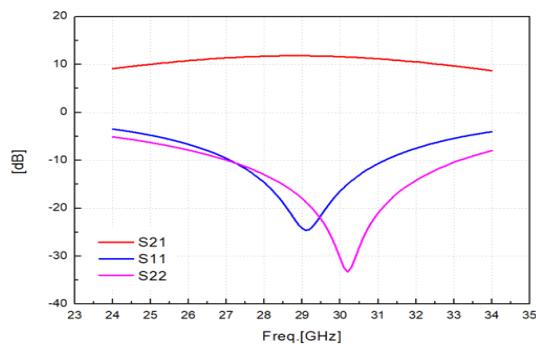
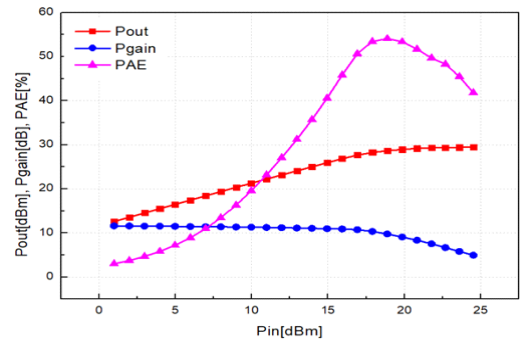


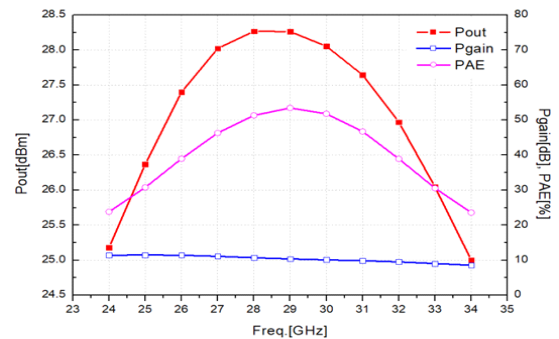
그림 1. 4F50 소자의 입력 임피던스  $Z_s=5.06+j23.45$ , 출력 임피던스  $Z_L=10.68+j59.80$ 일 때 산란계수 특성

Fig. 1. S-parameters characteristics when input impedance  $Z_s=5.06+j23.45$ , output impedance  $Z_L=10.68+j59.80$  of 4F50 device.



(a) Pin 변환 @ freq.=29 GHz

(a) Sweep pin @ freq.=29 GHz



(b) 주파수 변환 @ pin=18 dBm

(b) Sweep frequency @ pin=18 dBm

그림 2. 4F50 소자의 입력 임피던스  $Z_s=5.06+j23.45$ , 출력 임피던스  $Z_L=10.68+j59.80$ 일 때 전력 특성

Fig. 2. Power characteristics when input impedance  $Z_s=5.06+j23.45$ , output impedance  $Z_L=10.68+j59.80$  of 4F50 device.

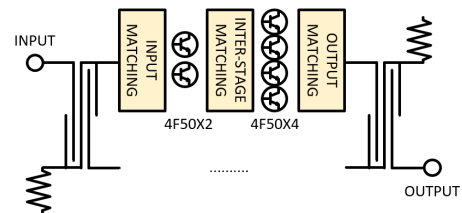


그림 3. Ka 대역 평형 전력증폭기 MMIC의 구성도

Fig. 3. Configuration diagram of the Ka band balanced HPA MMIC.

는  $-20\ \text{dB}$  이하로 관찰되었고, 커플러의 P2, P3의 위상 차이는 29 GHz에서 91.9 dB의 특성을 보였다(그림 4).

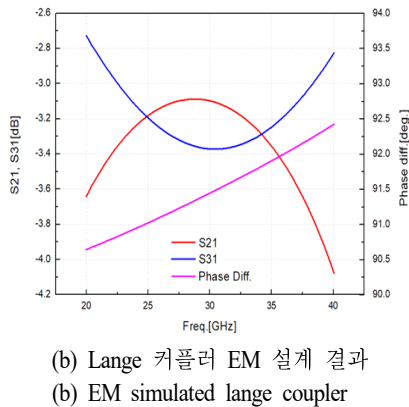
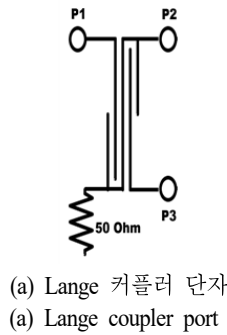


그림 4. 설계된 Lange 커플러 산란계수 특성  
Fig. 4. S-parameters characteristics of the designed Lange coupler.

### 2-3 전력증폭기 설계

먼저 상단 증폭기를 설계함에 있어 입력단과 중간단 정합은 이득에 최적화된 입·출력 임피던스를 찾아 마이크로스트립 소자와 NP15가 제공하는 수동소자로 정합하였으며, 출력단 구성은 전력증폭기 MMIC의 전력특성에 최적화된 임피던스로 정합하였다. 이후 최종 설계를 위하여 입·출력단에 Lange 커플러를 사용하였다. 설계에 사용된 상용 프로그램은 Keysight사의 ADS를 사용하였으며 신뢰성 있는 설계를 위하여 harmonic balanced 방법과 EM 설계 기법으로 설계하였다. 그림 5 및 그림 6은 최종 설계된 결과로 설계 결과 주파수 27 GHz에서 31 GHz까지 소신호 이득 평균 18 dB, 약 P3 dB에서 40 dBm 이상, 전력부가효율 26 % 이상의 특성을 보였으며 입·출력정합 특성이 Lange 커플러의 영향으로 -20 dB 이하로 관찰되었다.

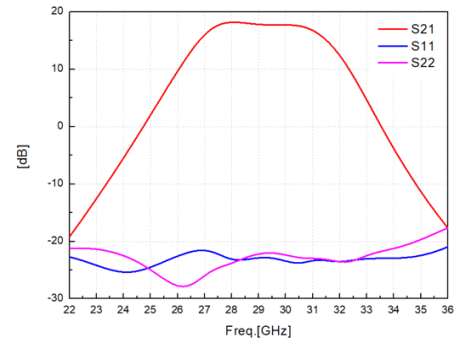


그림 5. 설계된 Ka 전력증폭기 MMIC 산란계수 특성  
fig. 5. S-parameters characteristics of the designed HPA MMIC.

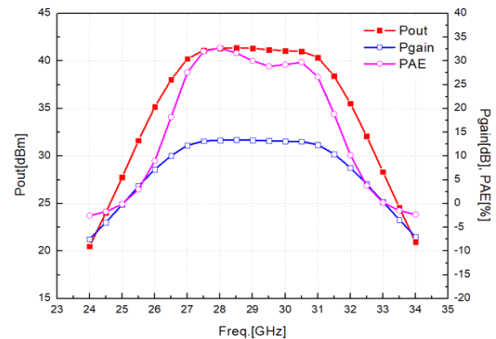


그림 6. 설계된 Ka 전력증폭기 MMIC 전력 특성  
Fig. 6. Power characteristics of the designed HPA MMIC.

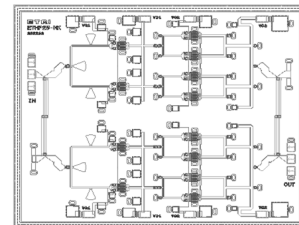


그림 7. 설계된 Ka 전력증폭기 MMIC 레이아웃(3.6×3.0 mm<sup>2</sup>)  
Fig. 7. Layout of the designed HPA MMIC (3.6×3.0 mm<sup>2</sup>).

그림 7은 최종 Ka 대역 전력증폭기 MMIC의 레이아웃이며 사이즈는 3.6×3.0 mm<sup>2</sup>이다.

### III. 전력증폭기 제작 및 측정

그림 8은 제작된 Ka 대역 전력증폭기 MMIC와 이를 측

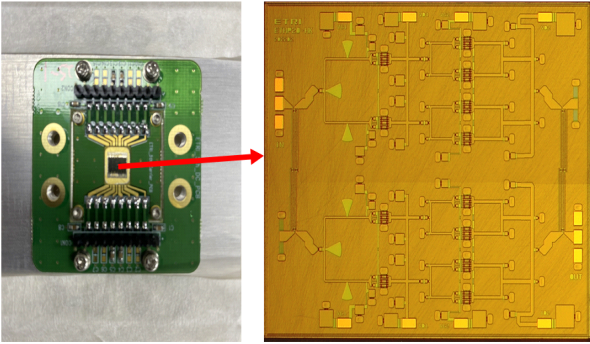


그림 8. 제작된 평형 전력증폭기 MMIC와 시험치구  
Fig. 8. Manufactured balanced HPA MMIC and test equipment.

정하기 위한 시험치구이다. 측정은 시험치구를 사용하여 Keysight 회로망 분석기인 N5224B와 R&S사의 전원 공급 기인 NGP800, GGB사의 RF probe를 사용하여 on-wafer 측정되었다. 그림 9는 측정된 산란계수를 표현한 그래프로 주파수 27 GHz~29 GHz에서 약 18 dB의 이득과 -15.5 dB이하의 입·출력 특성을 나타내었다.

그림 10은 전력증폭기의 전력특성 확인을 위한 시험 구성도이며 시험 조건은 RF pulse 100  $\mu$ m 10 %로 시행되었다. 전력특성 시험 결과 주파수 27 GHz, 28 GHz, 29 GHz에서 출력전력과 전력부가효율을 각각 관찰하였으며, 이를 표 1 및 표 2에 정리하였다.

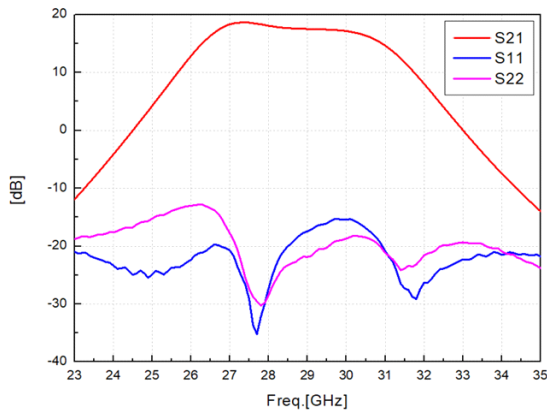


그림 9. 제작된 평형 전력증폭기 MMIC의 산란계수 특성  
Fig. 9.  $S$ -parameters characteristics of manufactured balanced HPA MMIC.

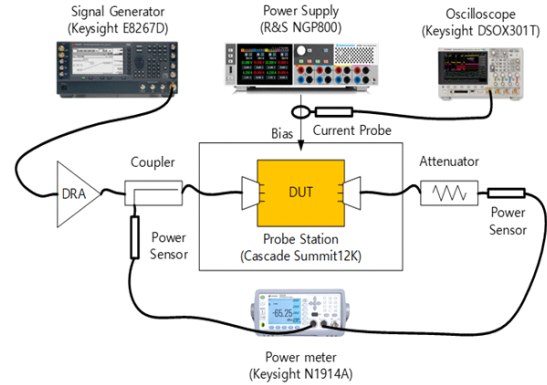


그림 10. 전력증폭기 MMIC 전력특성 시험구성도  
Fig. 10. HPA MMIC power characteristics test configuration diagram.

표 1. 제작된 평형 전력증폭기 MMIC 전력특성  
Table 1. Power characteristics of balanced HPA MMIC.

Frequency [GHz]	$P_{out}$ [dBm]	PAE [%]
27	39.38	27.05
28	39.98	25.54
29	40.10	25.04

표 2. Ka 대역 전력증폭기 MMIC 비교  
Table 2. Power characteristics of balanced HPA MMIC.

Freq. [GHz]	Gain [dB]	$P_{out}$ [dBm]	PAE [%]	Return loss [dB]	Ref. #
29	25	37	28	-10	[1]
29	6	27	18	-4	[2]
29	20	41	25	-10	[3]
26	14	37	30	-10	[4]
29	17.7	40.1	25.04	-15.9	This work

#### IV. 결 론

본 논문은 0.15  $\mu$ m GaN on SiC 공정을 이용하여 5G FR2 통신 대역 기지국에 적합한 평형 전력증폭기를 설계하고 제작하여 측정하였다. 측정 결과, 27 GHz~29 GHz 대역에서 소신호 이득 17.5 dB 이상, 입·출력 정합 -15.5 dB 이하의 우수한 정합특성을 보였으며, 전력특성 또한 8.6 watts, 전력부가효율 25.04 % 이상의 특성을 나타내었

다. 이를 이용하면 5G FR2 대역 기지국용 송신단 부품 개발에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## References

- [1] C. F. Campbell, M. Y. Kao, and S. Nayak, "High efficiency Ka-band power amplifier MMICs fabricated with a 0.15 $\mu$ m GaN on SiC HEMT process," in *2012 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Montreal, QC, Jun. 2012, pp. 1-3.
- [2] K. S. Boutros, W. B. Luo, Y. Ma, G. Nagy, and J. Hacker, "5W GaN MMIC for millimeter-wave applications," in *2006 IEEE Compound Semiconductor Integrated Circuit Symposium*, San Antonio, TX, Nov. 2006, pp. 93-95.
- [3] C. Potier, S. Piotrowicz, O. Patard, P. Gamarra, P. Altuntas, and E. Chartier, et al., "First results on Ka band MMIC power amplifiers based on InAlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> HEMT technology," in *2018 International Workshop on Integrated Nonlinear Microwave and Millimetre-Wave Circuits(INMMIC)*, Brive La Gaillarde, Jul. 2018, pp. 1-3.
- [3] K. Takagi, C. Y. Ng, H. Sakurai, and K. Matstushita, "GaN MMIC for Ka-band with 18W," in *2015 IEEE Compound Semiconductor Integrated Circuit Symposium (CSICS)*, New Orleans, LA, Oct. 2015, pp. 1-4.
- [4] S. Samis, C. Friesicke, P. Feuerschütz, R. Lozar, T. Maier, and P. Brückner, et al., "A 5 W AlGa<sub>N</sub>/Ga<sub>N</sub> power amplifier MMIC for 25~27 GHz downlink applications," in *2018 11th German Microwave Conference (GeMiC)*, Freiburg, Mar. 2018, pp. 9-12.
- [5] A. Presser, "Interdigitated microstrip coupler design," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 26, no. 10, pp. 801-805, Oct. 1978.

지 홍 구 [한국전자통신연구원/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-2052-5475>



1998년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)

2000년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)

2011년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학박사)

2000년 8월~현재: 한국전자통신연구원

책임연구원

[주 관심분야] 화합물반도체 전자소자, 초고주파 집적회로/모듈, 전력증폭기, 저잡음증폭기 등

정 준 형 [한국전자통신연구원/박사후연수연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-2383-1635>



2012년 2월: 전북대학교 전자정보공학부 (공학사)

2014년 2월: 전북대학교 전자공학과 (공학석사)

2020년 2월: 전북대학교 전자공학과 (공학박사)

2020년 2월~2021년 12월: 한국전자부품

연구원 박사후연수연구원

2022년 1월~현재: 한국전자통신연구원 박사후연수연구원

[주 관심분야] 집적회로, 전력증폭기, 저잡음증폭기, RF회로, 여파기 등

강 동 민 [한국전자통신연구원/RF/전력부품연구실장]

<https://orcid.org/0000-0001-6926-8564>



2009년 8월: 충북대학교 전파공학과 (공학 박사)

1997년 4월~1997년 12월 : 한국전자통신  
연구원 위촉연구원

1998년 12월~2000년 10월: (주)MCC 선임  
연구원

2000년 11월~현재: 한국전자통신연구원

RF/전력부품연구실장

[주 관심분야] 화합물반도체 전자소자, 초고주파 집적회로, 테  
라헤르츠대역 전자소자/집적회로 등