

# 웨이비스의 0.2 $\mu\text{m}$ GaN 공정을 이용한 X-대역 수신 저잡음증폭기 및 스위치 MMICs 개발

## Development of X-Band Receiver LNA and Switch MMICs using Wavice's 0.2 $\mu\text{m}$ GaN Technology

노윤섭<sup>1</sup> · 임종원<sup>2</sup> · 전병철<sup>3\*</sup> · 권지훈<sup>4\*</sup> · 배성범<sup>5</sup>

YounSub Noh<sup>1</sup> · JongWon Lim<sup>2</sup> · ByongChul Jun<sup>3\*</sup> · JiHun Kwon<sup>4\*</sup> · Sung-Bum Bae<sup>5</sup>

### 요 약

본 논문에서는 웨이비스의 0.2  $\mu\text{m}$  GaN(gallium nitride) HEMT(high electron mobility transistor) 공정 기술을 사용하여 X-대역 송수신 모듈의 수신부 저잡음증폭기와 스위치 MMIC(monolithic microwave integrated circuit)를 설계 및 제작하였다. 1.5×1.31 mm의 크기로 제작된 SPDT(single pole double throw) 스위치 MMIC는 동작주파수 9~10 GHz 대역에서 삽입손실 0.7 dB, 격리도 31.5 dB와 내압 45.2 dBm의 성능을 보였다. 3단 저잡음증폭기 MMIC는 1.85×1.5 mm의 크기로 제작되었고, 동작주파수 9~10 GHz 대역에서 이득 23.2 dB, 입출력 반사손실 9.9 dB 이상, 잡음지수 1.4 dB의 특성을 갖는다.

### Abstract

In this paper, we designed and fabricated a low-noise amplifier and a switch MMIC for the receiver section of an X-band transceiver module using Wavice's 0.2  $\mu\text{m}$  GaN HEMT technology. The SPDT switch MMIC, fabricated with a size of 1.5×1.31 mm, exhibited insertion loss of 0.7 dB, isolation of 31.5 dB, and power handling of 45.2 dBm in the operating frequency band of 9~10 GHz. The three-stage low-noise amplifier MMIC, fabricated with a size of 1.85×1.5 mm, exhibited gain of 23.2 dB, input/output return loss of greater than 9.9 dB, and noise figure of 1.4 dB in the operating frequency band of 9~10 GHz.

Key words: GaN, Front-End, MMIC, Radar, Receiver, X-Band

### I. 서 론

최근 능동위상배열 레이다 기술의 발전에 따라 X-대역 송수신 모듈에서 GaN 기반 Front-end에 대한 관심이 높아

지고 있다. GaN 소자 기술은 기존 GaAs(gallium arsenide) 기술에 비해 높은 전력밀도, 효율 및 견고성을 특징으로 하여 소형, 고출력, 고효율 송수신 모듈 Front-end 개발에 적합하다<sup>[1]</sup>.

「이 연구는 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술연구회 창의형 융합연구사업(No. CAP23031-000)의 지원으로 연구되었음.」  
한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

\*웨이비스(Wavice)

1: 책임연구원(<https://orcid.org/0000-0002-9336-0077>), 2: 책임연구원(<https://orcid.org/0000-0003-0181-130X>),

3: 전무(<https://orcid.org/0000-0002-0641-9035>), 4: 책임연구원(<https://orcid.org/0009-0000-7853-879X>), 5: 실장(<https://orcid.org/0000-0002-5091-1529>)

· Manuscript received April 18, 2025 ; Revised April 30, 2025 ; Accepted May 13, 2025. (ID No. 20250418-043)

· Corresponding Author: YounSub Noh (e-mail: [nohys@etri.re.kr](mailto:nohys@etri.re.kr))

GaN 스위치 MMIC의 개발 결과와<sup>[2]-[4]</sup> 저잡음증폭기 MMIC의 개발 결과는<sup>[5]-[7]</sup>, 다양한 레이더 송수신 모듈의 Front-end에 적용하기 위해 개발되었으며, 모두 해외의 GaN 파운드리 시설을 이용한 결과이다.

본 논문에서는 국내 유일의 GaN RF MMIC 양산 파운드리 시설을 보유하고 있는 웨이비스의 0.2  $\mu\text{m}$  GaN HEMT 공정을 이용한 X-대역 수신부에 필요한 스위치 MMIC 및 저잡음증폭기 MMIC의 설계, 제작 및 측정 결과를 제시한다.

## II. X-대역 수신부 Front-end MMIC 설계

웨이비스의 0.2  $\mu\text{m}$  GaN HEMT 공정은 백-비아를 제공하며, OSV(outside source via) 구조의 100  $\mu\text{m}$  SiC 기판상에 형성된 HEMT 소자는  $G_m$  450 mS/mm,  $V_{TH}$  -2.3 V,  $f_T$  27.5 GHz,  $f_{MAX}$  70 GHz와  $V_{BR}$  90 V 특성을 갖는다.

SPDT 스위치는 내압 및 격리도 특성이 우수한 직렬-병렬-병렬 구조로 설계하였다. 직렬 트랜지스터 Q1, Q4의 게이트 단에는 인덕터  $L_g$ 와 shunt 커패시터  $C_s$ 를 사용하여 X-대역 동작주파수 대역에서 RF 신호가 게이트 단 쪽으로의 신호 누설을 방지하여 삽입 손실 특성을 최적화하였다. 직렬 트랜지스터 Q1과 Q4는 7F110 소자를, 병렬 트랜지스터 Q2, Q3, Q5, Q6은 3F75 소자를 사용한 대칭 구조를 갖는다(그림 1).

저잡음증폭기는 4F100(4 fingers, 100  $\mu\text{m}$  gate width) HEMT를 S-parameters와 noise parameter 측정 기반 s2p 모델을 사용하여 설계하였다. 잡음지수 최적화 및 안정도 확보를 위해 3단 모든 소스단에 소스-축퇴(source-degeneration)를 위한 마이크로스트립 선로( $Ls1$ ,  $Ls2$ ,  $Ls3$ )를 3

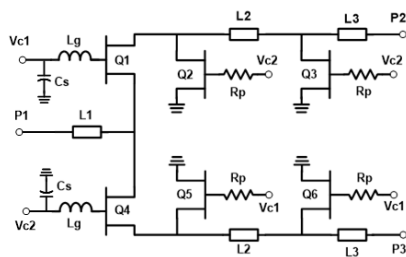


그림 1. X-대역 GaN SPDT 스위치 회로도  
Fig. 1. Schematic diagram of X-band GaN SPDT switch.

단 모두에 적용하였다. 저잡음증폭기는 20 dB 이상의 이득을 위해 3단 구조를 가지며, 그림 2와 같이 3단 증폭기 Q1, Q2, Q3 모두 4F100 HEMT를 사용하여 설계하였다. 전 주파수 대역에서 k-factor 1 이상 유지하기 위하여 모든 게이트 단에 20 $\Omega$  직렬 저항 R1, R2, 및 R3를 추가하여 안정도를 개선하였다.

## III. 수신부 Front-end MMIC 측정 결과

웨이비스의 0.2  $\mu\text{m}$  GaN HEMT 공정으로 제작된 스위치 MMIC의 크기는, 그림 3과 같이 1.5×1.31 mm이다.

스위치 MMIC의 삽입손실과 격리도 특성은 온-웨이퍼 시험으로 하였으며, 제어전압  $V_{c1}$ 과  $V_{c2}$ 는 0 V와 -40 V를 사용하여 제어하였다. 시험 결과 9~10 GHz 대역에서 삽입 손실은 0.7 dB 이하와 격리도 31.5 dB 이상이다(그림 4).

스위치 MMIC의 내압 특성은 시험 치구를 유테틱 다이본딩 기반으로 조립하여 시험하였으며, 펄스폭 100  $\mu\text{s}$  와 듀티 10 % RF 신호를 인가하였다. 주파수 10 GHz에서 측정된 1dB 삽입 손실 compression 입력 전력은 45.2 dBm이다(그림 5).

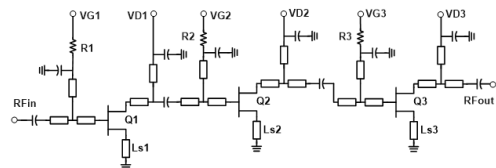


그림 2. X-대역 GaN 3단 저잡음증폭기 회로도  
Fig. 2. Schematic diagram of X-band GaN 3-stage LNA.

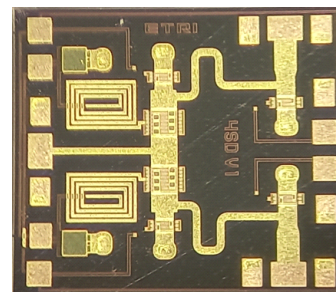


그림 3. 제작된 X-대역 GaN 스위치 MMIC 사진  
Fig. 3. Photograph of fabricated GaN Switch MMIC.

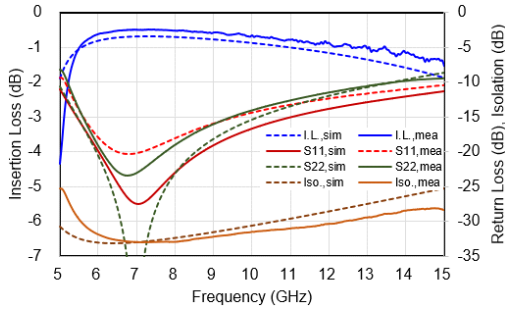


그림 4. X-대역 스위치 MMIC S-parameters  
Fig. 4. S-parameters of X-band switch MMIC.

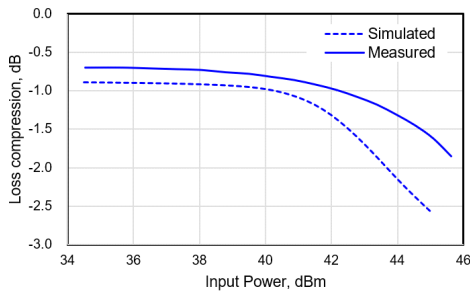


그림 5. X-대역 스위치 MMIC 삽입손실 compression  
Fig. 5. Insertion-loss compression of X-band switch MMIC.

기존에 발표된 스위치 MMIC와의 비교는 표 1과 같으며, 본 논문의 결과가 가장 작은 칩 크기에서 삽입손실, 격리도 및 내압 특성 모두 가장 우수한 특성을 갖는다.

X-대역 저잡음증폭기 MMIC 제작 사진은 그림 6과 같으며, 크기는 1.85×1.5 mm이다.

저잡음증폭기 MMIC는 드레인 전압 20 V와 드레인 전류

표 1. X-대역 GaN 스위치 MMIC 성능비교  
Table 1. Performance comparison with previously reported X-band GaN switch MMICs.

Ref.	Frequency, GHz	Insertion Loss, dB	Isolation, dB	Power handling, dBm	Chip-size, mm <sup>2</sup>
2016 [1]	8.4~10.6	< 1.1	> 20	> 42	3.0×1.5
2019 [2]	DC-12	< 1.2	> 30	> 40	3.0×3.0
2021 [3]	8~12	< 1.3	> 25	> 41.8	2.76×1.36
2023 [4]	9~11	< 0.85	> 25	> 42	1.3×1.79
This work	9~10	< 0.7	> 31.5	> 45.2	1.5×1.31

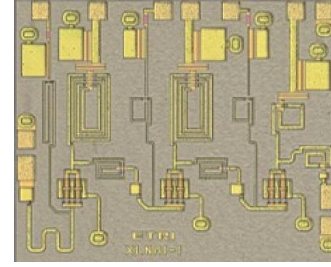


그림 6. 제작된 X-대역 GaN 저잡음증폭기 MMIC 사진  
Fig. 6. Photograph of fabricated GaN LNA MMIC.

120 mA 조건에서 시험 칩을 조립하여 특성을 평가하였다. 동작주파수 9~10 GHz 대역에서 측정된 이득은 23.2 dB 이상이며 입출력 반사손실은 9.9 dB 이상이다(그림 7).

저잡음증폭기 MMIC의 잡음지수는 9~10 GHz 동작 주파수 대역에서 시뮬레이션 대비 약 0.2 dB 열화된 1.4 dB 이하로 측정되었다(그림 8).

기존에 발표된 저잡음증폭기 MMIC와 비교는 표 2와

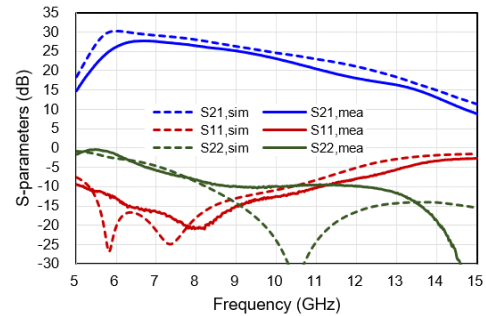


그림 7. X-대역 LNA MMIC 소신호 특성 측정결과  
Fig. 7. Measured S-parameters of X-band LNA MMIC.

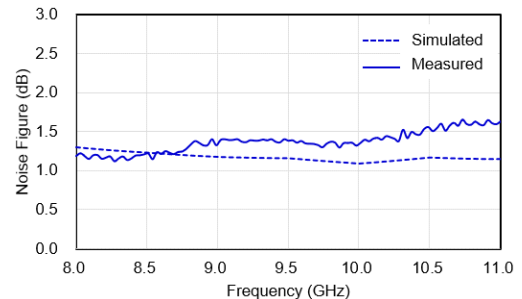


그림 8. X-대역 LNA MMIC 잡음지수 측정결과  
Fig. 8. Measured noise figure of X-band LNA MMIC.

표 2. X-대역 GaN 저잡음증폭기 MMIC 성능비교

Table 2. Performance comparison with previously reported X-band GaN LNA MMICs.

Ref.	Frequency, GHz	Gain, dB	NF, dB	Chip-size, mm <sup>2</sup>
2016 [1]	7.4~11.4	23	1.6	3.0×2.02
2020 [5]	8~11	> 16.8	< 1.7	2.8×2.3
2024 [6]	9~10	11.4	< 2.1	4.3×3.2
2024 [7]	9~10	18.75	< 1.6	2.46×1.79
This work	9~10	> 23.2	< 1.4	1.85×1.5

같이, 본 논문의 저잡음증폭기 MMIC가 가장 작은 크기로 컴팩트하게 설계 하였고 가장 큰 이득 특성을 보이며, 잡음지수 특성 또한 가장 우수하다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 웨이비스의 0.2  $\mu\text{m}$  GaN HEMT 공정을 이용하여 X-대역 레이더 시스템의 송수신 모듈의 수신부에 적용이 가능한 스위치와 저잡음증폭기 MMIC를 성공적으로 개발한 결과를 기술하였다. 국내 GaN 양산 시설로 개발한 최초의 결과로써, 모든 특성이 해외 GaN 파운드리 공정을 이용한 결과에 비하여 동등 이상의 우수한 성능을 갖는다. 스위치와 저잡음증폭기 MMIC의 설계와 측정 결과의 성능 차이는, 설계 결과 피드백을 통해 트랜지스터 모델링을 최적화하여 개선할 예정이다. 향후 국내 웨이비스 GaN 공정을 이용한 다양한 통신 및 레이더 방산 시스템에 다양한 GaN MMIC들이 개발되어 국산화 제품으로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

#### References

[1] S. D'Angelo, A. Biondi, F. Scappaviva, D. Resca, and V. A. Monaco, "A GaN MMIC chipset suitable for in-

tegration in future X-band spaceborne radar T/R module frontends," in *2016 21st International Conference on Microwave, Radar and Wireless Communications*, Krakow, Jun. 2016.

- [2] S. Osmanoglu, E. Ozbay, "X-band high power GaN SPDT MMIC RF switches," in *2019 European Microwave Conference in Central Europe(EuMCE)*, Prague, May 2019, pp. 83-86.
- [3] M. Assad, A. I. Najam, and H. M. Cheema, "GaN based high power SPDT switch for single chip X-band T/R module front-end," in *2021 1st International Conference on Microwave, Antennas & Circuits(ICMAC)*, Islamabad, Dec. 2021.
- [4] E. Saini, S. Sinha, P. P. Kumar, and A. N. Bhattacharya, "X-band high power GaN SPDT switch MMIC for space based radar front end," in *2023 IEEE Wireless Antenna and Microwave Symposium(WAMS)*, Ahmedabad, Jun. 2023.
- [5] S. Zafar, S. Osmanoglu, M. Ozturk, B. Cankaya, D. Yilmaz, and A. U. Kashif, et al., "GaN based LNA MMICs for X-band applications," in *2020 17th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology(IBCASP)*, Islamabad, Mar. 2020, pp. 699-702.
- [6] P. K. Sinha, U. Goyal, and M. Mishra, "X-band monolithic GaN HEMT LNA based on indigenous process," in *2024 8th IEEE Electron Devices Technology & Manufacturing Conference(EDTM)*, Bangalore, Mar. 2024.
- [7] E. Saini, S. Sinha, and P. P. Kumar, "High performance GaN LNA for space based radar front-end," in *2024 IEEE Microwaves, Antennas, and Propagation Conference(MAPCON)*, Hyderabad, Dec. 2024.