

# S/C/X-대역 GaN 저잡음 증폭기 MMIC

## A S/C/X-Band GaN Low Noise Amplifier MMIC

한 장 훈 · 김 정 근

Jang-Hoon Han · Jeong-Geun Kim

### 요 약

본 논문은 0.25 um GaN HEMT 공정을 이용하여 S/C/X-대역에서 저항 피드백 구조의 저잡음 증폭기 MMIC에 관한 연구이다. GaN 소자는 높은 항복 전압과 에너지 밴드갭 그리고 고온에서 안정성을 갖는 고출력 소자로서 장점을 가진다. 따라서 높은 선형성을 가지는 GaN 소자를 이용한 수신기는 리미터 없이 구현할 수 있기 때문에 수신기의 잡음 지수가 개선되고, 수신기 모듈의 크기를 줄일 수 있다. 제안한 GaN 저잡음 증폭기 MMIC는 S/C/X-대역에서 15 dB 이상의 이득, 3 dB 이하의 잡음 지수, 13 dB 이상의 입력 반사 손실, 그리고 8 dB 이상의 출력 반사 손실을 가진다. GaN 저잡음 증폭기 MMIC는 드레인 전압 20 V, 게이트 전압 -3 V일 때, 70 mA의 전류를 소모한다.

### Abstract

This paper presents a S/C/X-band LNA MMIC with resistive feedback structure in 0.25 um GaN HEMT process. The GaN devices have advantages as a high output power device having high breakdown voltage, energy band gap and stability at high temperature. Since the receiver using the GaN device with high linearity can be implemented without a limiter, the noise figure of the receiver can be improved and the size of receiver module can be reduced. The proposed GaN LNA MMIC based on 0.25 um GaN HEMT device is achieved the gain of > 15 dB, the noise figure of < 3 dB, the input return loss of > 13 dB, and the output return loss of > 8 dB in the S/C/X-band. The current consumption of GaN LNA MMIC is 70 mA with the drain voltage 20 V and the gate voltage -3 V.

Key words: GaN HEMT, Wideband Resistive Feedback LNA

### I. 서 론

다양한 디지털 통신에 사용될 수 있는 SDR(Software Defined Radio)기반의 S/C/X-대역을 이용하는 다기능, 다목적 디지털 무선통신용 송수신기에 대한 수요가 앞으로 증대될 것으로 기대된다. 단일 플랫폼으로 S/C/X-대역에서 동작 가능한 송수신기는 향후 민/군용 무선통신 사업 및 방위사업(레이다, 전자전) 등 다양한 사업에 소요될 것

으로 기대되며, 특히 저잡음 증폭기의 경우, 다중 대역을 동시에 지원하기 위해서 광대역 특성이 요구된다<sup>[1]</sup>. 기존 레이다에서 사용된 저잡음 증폭기의 경우, 높은 출력의 장점을 가지는 GaAs 소자를 기반으로 개발하였으나, 재밍 신호와 같은 큰 전력을 가지는 신호가 안테나 입력으로 들어오게 될 경우, 수신단 전체가 포화되어 오동작을 유발시키는 단점이 있다. 따라서 기존에 발표된 GaAs 소자 기반의 저잡음 증폭기는 큰 전력의 재밍 신호 및 송신

광운대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University)

· Manuscript received April 19, 2017 ; Revised May 8, 2017 ; Accepted May 19, 2017. (ID No. 20170419-037)

· Corresponding Author: Jeong-Geun Kim (e-mail: junggun@kw.ac.kr)

신호의 누설 전력으로부터 회로를 보호하기 위해서 PIN 다이오드를 이용한 회로 보호용 리미터를 포함하였다<sup>[4]</sup>. 하지만 회로 보호용 리미터의 영향으로 전체 수신단의 잡음지수를 저하시키고, 저잡음 증폭기 모듈 구현 시 크기가 커진다는 단점이 있다. 최근에 이러한 GaAs 소자의 단점을 극복하기 위해서 GaN HEMT 소자 기반의 연구가 활발히 진행 중이다. GaN 소자는 높은 항복전압과 에너지 밴드갭 그리고 고온에서 안정성을 갖는 고출력 소자로서 장점을 가진다. 따라서 GaN 소자의 높은 선형성으로 인한 수신단의 큰 출력의 재밍 신호에도 리미터 없이 견딜 수 있으며, 결과적으로 수신기 맨 앞단에 리미터를 사용하지 않아도 되기 때문에, 잡음 지수의 개선 및 모듈의 크기와 단가를 낮출 수 있다<sup>[4],[5]</sup>.

본 논문은 0.25  $\mu\text{m}$  GaN HEMT 공정을 이용하여 광대역인 S/C/X-대역에서 평탄한 이득 특성, 광대역 입/출력 정합, 높은 선형성, 작은 칩 크기로 설계 및 제작한 저항 피드백 구조의 저잡음 증폭기 MMIC에 관한 연구이다.

## II. S/C/X-대역 GaN 저잡음 증폭기 MMIC 설계

그림 1은 저항 피드백 구조를 이용한 저잡음 증폭기 회로도도를 도시한다. 일반적으로 광대역 특성을 위해서 분산 구조를 많이 사용하지만 광대역 입/출력 정합이 어렵고, 칩 사이즈가 커지는 단점이 있다<sup>[6]</sup>. 따라서 S/C/X-대역의 광대역에 평탄한 이득 특성과 입/출력 정합이 쉽고, 칩 사이즈를 줄일 수 있는 저항 피드백 구조를 이용하였다<sup>[7],[8]</sup>. 피드백 저항  $R_1$ ,  $R_2$  값이 작을수록 광대역 특성 얻을 수

있고, 입력 정합은 2단 저역통과필터 구조를 이용하여 광대역 정합을 하였다. 표 1은 설계한 GaN 저잡음 증폭기 MMIC의 수동소자 값을 나타낸다. 수신기의 모듈 구현을 위한 입력은 안테나와 연결이 되기 때문에 저잡음 증폭기의 입력은 50  $\Omega$  정합이 필요하고, 50  $\Omega$  정합과 잡음 지수의 최적화를 위한 인덕터 소스 축퇴 구조를 이용하였다. 피드백 저항과 소스 축퇴 구조에 의해서 이득은 대략 10 dB 정도 감소하지만, 2단 증폭기로 설계함으로써 손실을 보상했다.

GaN HEMT 소자 기반의 증폭기 설계의 경우, 트랜지스터 모델링이 정확해야 설계한 시뮬레이션 값과 측정 결과의 오차를 줄일 수 있다. 하지만 GaN 소자의 경우, 발전 단계이기 때문에 고주파에서 대신호 및 소신호의 모델링이 정확하지 않아 시뮬레이션과 다른 결과를 얻을 수 있다. 따라서 설계 오차를 줄이기 위해서 300  $\mu\text{m}$  게이트 폭을 가지는 트랜지스터의 *S*-parameter 측정결과를 이용하여 GaN 저잡음 증폭기를 설계하였다. 또한 회로의 안정적인 동작을 위해서 직류 디커플링 커패시터를 각각의 바이어스 패드에 추가하였으며, 입출력은 on-wafer 측정이 가능하도록 GSG 150  $\mu\text{m}$  간격의 RF 패드를 사용하였다. 설계된 저항 피드백 구조를 이용한 GaN 저잡음 증폭기 MMIC의 시뮬레이션 결과는 S/C/X-대역에서 15 dB 이상의 이득을 가지며, 10 dB 이상의 입/출력 반사 손실을 갖도록 설계하였다. 잡음지수의 경우, 최소 잡음지수 1.8 dB, 잡음 지수 2 dB 이하이며, 트랜지스터의 드레인 전압이 20 V, 게이트 전압이 -3 V 일 때, 68 mA의 전류를 소모한다.

표 1. 설계한 GaN 저잡음 증폭기 MMIC의 수동소자 값  
Table 1. Passive component values of designed GaN LNA MMIC.

| Parameter | Value  | Parameter | Value        |
|-----------|--------|-----------|--------------|
| $L_1$     | 0.5 nH | $L_7$     | 0.15 nH      |
| $L_2$     | 0.5 nH | $L_8$     | 0.15 nH      |
| $L_3$     | 0.4 nH | $C_1$     | 230 fF       |
| $L_4$     | 0.9 nH | $R_1$     | 265 $\Omega$ |
| $L_5$     | 1 nH   | $R_2$     | 132 $\Omega$ |
| $L_6$     | 3 nH   |           |              |

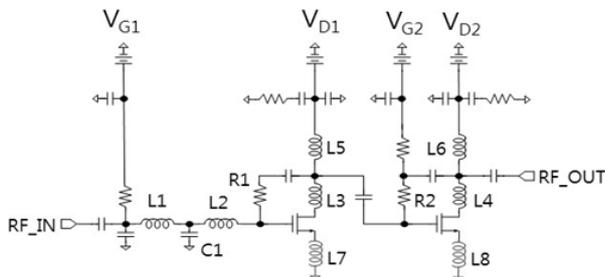


그림 1. 저항 피드백 구조의 GaN 저잡음 증폭기 MMIC 회로도

Fig. 1. Schematic of GaN LNA MMIC with resistive feedback structure.

### III. S/C/X-대역 GaN 저잡음 증폭기 MMIC 측정 결과

그림 2는 Winsemi사의 0.25um GaN 공정을 이용하여 제작한 칩 사진을 나타내며, 제작된 칩의 크기는  $2.9 \times 1 \text{ mm}^2$ 이다. 그림 3은 저항 피드백 구조를 이용한 GaN 저잡음 증폭기 MMIC의 이득 특성 측정 결과를 나타낸다. S/C/X-대역에서 15 dB 이상의 이득을 가진다. 그림 4는 입/출력 반사 손실을 나타내며, S/C/X-대역에서 입력 반사 손실의 경우 13 dB 이상, 출력 반사 손실은 8 dB 이상의 값을 가진다. 그림 5는 잡음 지수 측정 결과를 나타내며, S/C/X-대역에서 3 dB 이하의 값을 가진다. 그림 6은 저항 피드백 구조를 이용한 GaN 저잡음 증폭기 MMIC의 선형성 측정 결과를 나타내며, 7 GHz에서 IIP3는 5 dBm, OIP3는 20 dBm의 결과를 가진다.

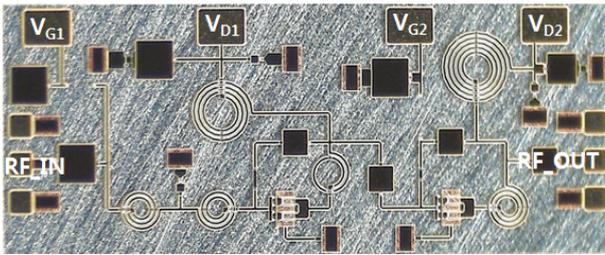


그림 2. 저항 피드백 구조의 GaN 저잡음 증폭기 MMIC 사진

Fig. 2. Microphotograph of GaN LNA MMIC with resistive feedback structure.

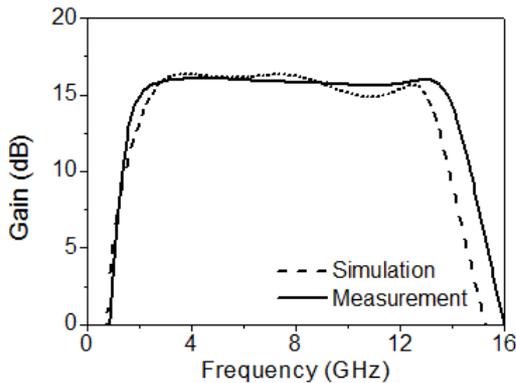


그림 3. GaN 저잡음 증폭기 MMIC의 이득 측정 결과  
Fig. 3. Gain measurement results of GaN LNA MMIC.

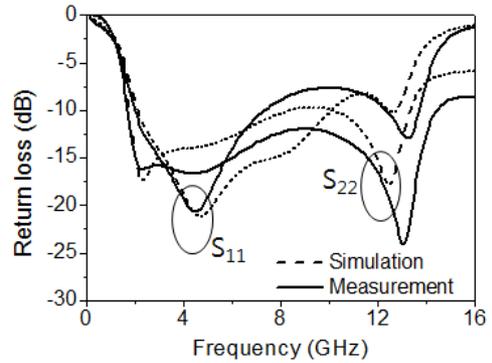


그림 4. GaN 저잡음 증폭기 MMIC의 입/출력 반사 손실 측정 결과  
Fig. 4. Input/output return loss measurement results of GaN LNA MMIC.

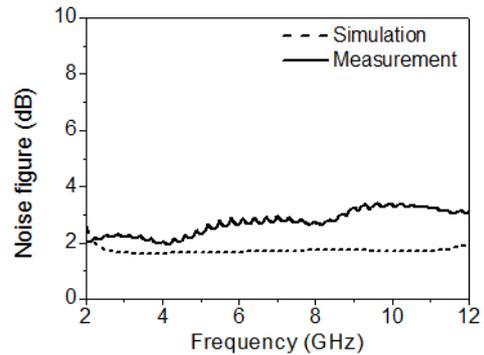


그림 5. GaN 저잡음 증폭기 MMIC의 잡음 지수 측정 결과  
Fig. 5. Noise figure measurement results of GaN LNA MMIC.

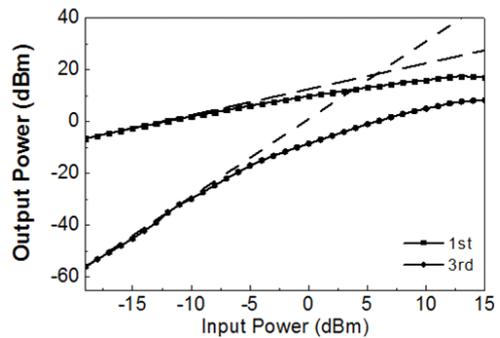


그림 6. GaN 저잡음 증폭기 MMIC의 7 GHz에서 선형성 측정 결과  
Fig. 6. Linearity measurement results of GaN LNA MMIC at 7 GHz.

표 2. 기존의 발표된 저잡음 증폭기 성능 비교

Table. 2. LNA performance comparison with previous works.

|                             | Ref [3]      | Ref [4]     | Ref [6]     | This work   |
|-----------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| Frequency(GHz)              | 8~10         | 1.2~16      | 2~18        | 2~12        |
| Gain(dB)                    | 29           | 13.3        | 23          | 15          |
| Noise figure(dB)            | < 1.6        | < 3         | < 4.7       | < 3         |
| $S_{11}$ (dB)               | > 15         | > 6         | > 8.5       | > 13        |
| $S_{22}$ (dB)               | > 15         | > 7         | > 8.5       | > 8         |
| *P1dB(dBm)                  | -12          | -           | -1          | 2           |
| Chip size(mm <sup>2</sup> ) | 8.5          | 3.2         | 11          | 2.9         |
| Tech.                       | 0.25 um GaAs | 0.25 um GaN | 0.25 um GaN | 0.25 um GaN |

\*Input referred

#### IV. 결 론

본 논문은 0.25 um GaN HEMT 공정을 이용하여 S/C/X-대역인 광대역에서 저항 피드백 구조의 저잡음 증폭기 MMIC를 설계 및 제작하였다. 제작한 GaN 저잡음 증폭기 MMIC의 크기는  $2.9 \times 1 \text{ mm}^2$ 이며, S/C/X-대역에서 15 dB 이상의 이득 특성을 가지며, 13/8 dB 이상의 입/출력 반사 손실 그리고 3 dB 이하의 잡음 지수 특성을 나타내었다. 또한 7 GHz에서 IIP3는 5 dBm, OIP3는 20 dBm의 결과를 가진다. 표 2에 기존의 발표된 저잡음 증폭기의 성능을 비교하였으며, 설계한 GaN 저잡음 증폭기 MMIC는 GaAs 소자 기반의 저잡음 증폭기에 비해 높은 선형성과 S/C/X-대역에서 평탄한 이득 특성 및 작은 칩 크기를 가지고 SDR 기반의 다기능, 다목적 디지털 무선통신용 송수신기의 저잡음 증폭기로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### References

[1] A. F Osman, N. Mohd. Noh, "Wideband LNA design for

SDR radio using balanced amplifier topology", *IEEE 2012 4th Asia Symposium on Quality Electronic Design (ASQED)*, Oct. 2012.

[2] Patrick Schuh, Rolf Reber, "Robust X-band low noise limiting amplifiers", *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest(IMS)*, Jan. 2014.

[3] F. Giannini, E. Limiti, A. Serino, and V. Dainelli, "A medium medium power low-noise amplifier for X-band applications", *2004 Microwave Conference, 34th European*, Amsterdam, Holland, pp. 37-39. Oct. 2004.

[4] S.-E. Shih, W. R. Deal, D. M. Yamauchi, and W. E. Sutton, "Design and analysis of ultra wideband GaN dual-gate HEMT low-noise amplifiers", *Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on*, vol. 57, no. 12, pp. 3270-3277, Dec. 2009.

[5] 김홍희, 김상훈, 최진주, 최길웅, 김형주, "고입력 내성을 위한 GaN HEMT 기반 S-대역 저잡음 증폭기", *한국전자과학회논문지*, 26(2), pp. 165-170, 2015년 2월.

[6] W. Ciccognani, E. Limiti, P. E. Longhi, C. Mitrano, A. Nanni, and M. Peroni, "An ultra-broadband robust LNA for defense applications in AlGaIn/GaN technology", *IEEE International Microwave Symposium, 2010*, pp. 493-496, May 2010.

[7] Mingqi Chen et. al., "A 1~25 GHz GaN HEMT MMIC low-noise amplifier", *IEEE Microwave Theory and Techniques Society*, vol. 20, issue. 10, pp. 563-565, Oct. 2010.

[8] Sergio Colangeli, Andrea Bentini, Walter Ciccognani, Ernesto Limiti, and Antonio Nanni, "GaN-based robust low-noise amplifiers", *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 60, issue. 10, pp. 3238-3248, Oct. 2013.