

논문 2004-41TC-8-14

# 고이득 및 광대역 특성의 밀리미터파 MHEMT Cascode 증폭기

## (High Gain and Broadband Millimeter-wave MHEMT Cascode Amplifier)

안 단\*, 이복형\*, 임병옥\*, 이문교\*, 백용현\*, 채연식\*, 박형무\*, 이진구\*

(Dan An, Bok-Hyung Lee, Byeong-Ok Lim, Mun-Kyo Lee, Yong Hyun Beak,  
Yeon-Sik Chae, Hyung-Moo Park, and Jin-Koo Rhee)

### 요약

본 논문에서는 밀리미터파 대역에서 고이득과 광대역 특성을 갖는 MHEMT(Metamorphic High Electron Mobility Transistor) cascode 증폭기를 설계 및 제작하였다. Cascode 증폭기 제작을 위해  $0.1 \mu\text{m}$  InGaAs/InAlAs/GaAs MHEMT를 설계·제작하였다. 제작된 MHEMT는 드레인 전류 밀도  $640 \text{ mA/mm}$ , 최대 전달컨덕턴스(gm)는  $653 \text{ mS/mm}$ 를 얻었으며, 주파수 특성으로  $f_T$ 는  $173 \text{ GHz}$ ,  $f_{\text{max}}$ 는  $271 \text{ GHz}$ 의 우수한 특성을 나타내었다. Cascode 증폭기는 CPW 전송선로를 이용하여 광대역 특성을 얻을 수 있도록 정합회로를 설계하였으며, 1단과 2단 증폭기의 2가지 종류로 회로를 설계하였다. 설계된 증폭기는 본 연구에서 개발된 MHEMT MIMIC 공정을 이용해 제작되었다. 제작된 cascode 증폭기의 측정결과, 1단 증폭기는 3 dB 대역폭이  $31.3 \sim 68.3 \text{ GHz}$ 로  $37 \text{ GHz}$ 의 넓은 대역 특성을 얻었으며, 대역내에서 평균  $9.7 \text{ dB}$  및  $40 \text{ GHz}$ 에서 최대  $11.3 \text{ dB}$ 의 S21 이득 특성을 나타내었다. Cascode 2단 증폭기는, 3 dB 대역폭이  $32.5 \sim 62.0 \text{ GHz}$ 로  $29.5 \text{ GHz}$ 의 대역폭과 대역내에서 평균  $20.4 \text{ dB}$  및  $36.5 \text{ GHz}$ 에서 최대  $22.3 \text{ dB}$ 의 높은 이득 특성을 얻었다.

### Abstract

In this paper, millimeter-wave high gain and broadband MHEMT cascode amplifiers were designed and fabricated. The  $0.1 \mu\text{m}$  InGaAs/InAlAs/GaAs Metamorphic HEMT was fabricated for cascode amplifiers. The DC characteristics of MHEMT are  $640 \text{ mA/mm}$  of drain current density,  $653 \text{ mS/mm}$  of maximum transconductance. The current gain cut-off frequency( $f_T$ ) is  $173 \text{ GHz}$  and the maximum oscillation frequency( $f_{\text{max}}$ ) is  $271 \text{ GHz}$ . By using the CPW transmission line, the cascode amplifier was designed the matched circuit for getting the broadband characteristics. The designed amplifier was fabricated by the MHEMT MIMIC process that was developed through this research. As the results of measurement, the 1 stage amplifier obtained 3 dB bandwidth of  $37 \text{ GHz}$  between  $31.3$  to  $68.3 \text{ GHz}$ . Also, this amplifier represents the S21 gain with the average  $9.7 \text{ dB}$  gain in bandwidth and the maximum gain of  $11.3 \text{ dB}$  at  $40 \text{ GHz}$ . The 2 stage amplifier has the broadband characteristics with 3 dB bandwidth of  $29.5 \text{ GHz}$  in the frequency range from  $32.5$  to  $62.0 \text{ GHz}$ . The 2 stage cascode amplifier represents the high gain characteristics with the average gain of  $20.4 \text{ dB}$  in bandwidth and the maximum gain of  $22.3 \text{ dB}$  at  $36.5 \text{ GHz}$ .

**Keywords :** CPW, Cascode, Metamorphic HEMT, Amplifier, Millimeter-wave

## I. 서론

마이크로파 및 밀리미터파 주파수 대역에서는 일반적

으로 MESFET(Metal Semiconductor Field Effect Transistor) 및 PHEMT(Pseudomorphic HEMT) 소자가 주로 사용되고 있다. 그러나 사용 주파수가 계속 증가하게 되고, 기존의 주파수 대역에서도 높은 이득 특성을 요구하게 됨에 따라 PHEMT에 비하여 전자 밀도나 이동도가 우수하여 고속동작이 가능한 InP 계열의 HEMT가 연구되어져 왔다<sup>[1-2]</sup>. 그러나 InP의 경우 매우 고가이며 3인치 이상의 기판에서 성장하는 것이 어려운 단점이

\* 정희원, 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터  
(Millimeter-wave INnovation Technology research)  
※ 본 연구는 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터  
(MINT)를 통한 한국과학재단의 우수연구센터(ERC)  
지원금에 의하여 수행되었습니다.  
접수일자: 2004년6월5일, 수정완료일: 2004년7월16일

있어, 기존의 GaAs 기판위에 성장시킬 수 있는 Metamorphic HEMT가 최근 활발히 연구되고 있다. MHEMT의 경우 버퍼층에 40 %이상 인듐의 mole fraction을 주어 성장시켜 기존의 GaAs 기판위에서 InP 계열과 같은 InGaAs/InAlAs 부정합 구조를 성장시킬 수 있다. MHEMT의 장점은 GaAs 기판에서 성장이 가능하기 때문에 InP HEMT의 비해 상대적으로 가격이 저렴하고, 3인치 이상의 GaAs 기판에서 성장이 가능하면서도 InP와 같은 부정합 구조를 갖기 때문에 대등한 성능을 갖는 결과들이 발표되고 있다<sup>[3]</sup>. 또한 이러한 소자 성능 향상을 위한 연구와 함께 밀리미터파 대역에서 고이득 특성을 얻기 위한 방법으로 일반적인 common-source 구조의 증폭기가 갖는 한계를 극복하고 이득 특성을 향상시키기 위해 cascode amplifier 구조가 밀리미터파 대역에서 연구되고 있다<sup>[4]</sup>.

본 논문에서는 밀리미터파 대역에서 고이득 및 광대역 특성을 갖는 증폭기를 개발하기 위해 MHEMT를 이용하여 cascode 증폭기를 설계 및 제작하였다. cascode 증폭기의 개발을 위해 MHEMT를 설계, 제작하였으며, 회로 설계를 위한 CPW 및 수동소자 라이브러리를 구축한 후 이를 이용하여 cascode 증폭기를 설계 및 제작하였다.

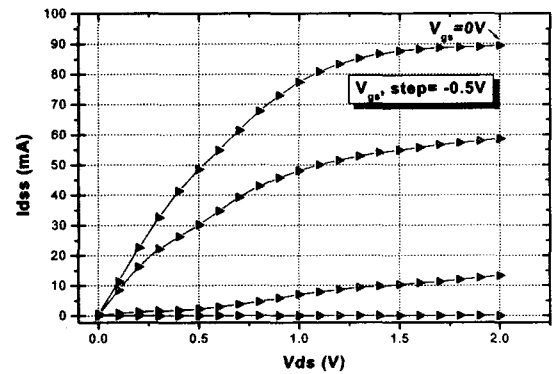
## II. MHEMT의 설계 및 제작

Cascode 증폭기 설계에 사용된 MHEMT의 에피층을 그림 1에 나타내었다. 소스-드레인 간의 오픈 접촉을 위해 15 nm 두께의 n+ In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As 레이어를 성장시켰다. 활성층은 23 nm 두께의 In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>As 채널층과 Si로 도핑된 이중 planar doping층으로 구성되어 있으며, 버퍼층은 In<sub>x</sub>Al<sub>1-x</sub>As 버퍼 레이어를 0에서 50 %까지 인듐의 mole fraction을 변화시키며 Semi-insulating GaAs 기판위에 1 μm의 두께로 성장시켰다. 또한 400 nm 두께의 In<sub>0.52</sub>Al<sub>0.48</sub>As 버퍼를 활성층을 보호하기 위하여 성장시켰다. 설계된 에피층은 측정결과 3.4×10<sup>12</sup>/cm<sup>2</sup>의 electron sheet density와 9700 cm<sup>2</sup>/V·sec를 나타내었다.

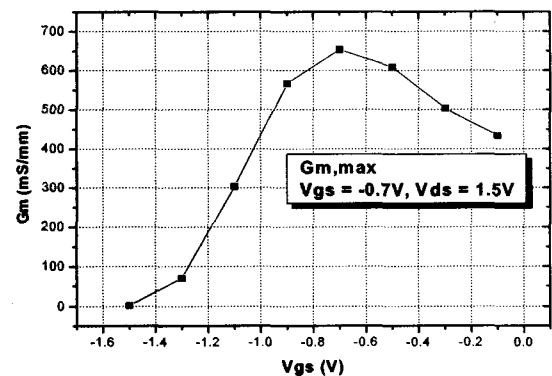
설계된 에피층을 이용하여 MHEMT를 제작하였으며 MHEMT의 전기적 격리를 위한 MESA 식각 공정, AuGe/Ni/Au 계의 금속층을 이용한 오픈 공정 및 리세스 공정, E-beam lithography system을 이용한 0.1 μm Γ-게이트 제작 공정, 노출된 소자 채널을 보호하기 위한 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 적층 및 RIE 공정, 격리된 전극을 연결하기 위한

In <sub>0.53</sub> Ga <sub>0.47</sub> As	6 x 10E18/cm <sup>2</sup>	15 nm
In <sub>0.52</sub> Al <sub>0.48</sub> As	undoped	15 nm
In <sub>0.52</sub> Al <sub>0.48</sub> As	undoped	3 nm
In <sub>0.53</sub> Ga <sub>0.47</sub> As	undoped	23 nm
In <sub>0.52</sub> Al <sub>0.48</sub> As	undoped	4 nm
In <sub>0.52</sub> Al <sub>0.48</sub> As	undoped	400 nm
In <sub>x</sub> Al <sub>1-x</sub> As (x = 0~0.5)	undoped	1000 nm

그림 1. Metamorphic HEMT 에피층.  
Fig. 1. Epi-structure of Metamorphic HEMT.



(a)



(b)

그림 2. MHEMT의 DC 특성 측정 결과 (단위 게이트폭 : 70 μm, 핑거수 : 2 개) : (a) DC-IV 특성, (b) 전달컨덕턴스 특성.

Fig. 2. The DC measured result of MHEMT (Unit gate width : 70 μm, number of fingers : 2 unit): (a) DC-IV characteristics, (b) Transconductance characteristics.

에어 브리지 공정 등의 순으로 제작되었다<sup>[5]</sup>. 제작된

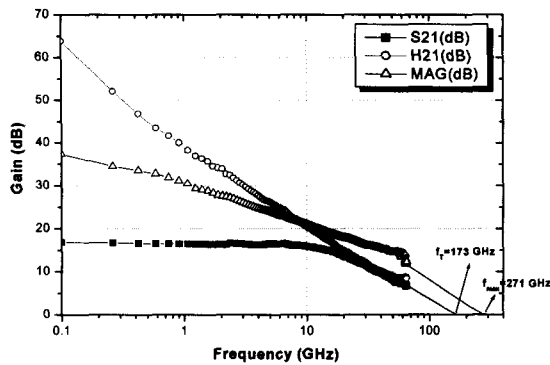


그림 3. MHEMT의 주파수 특성 측정 결과.  
Fig. 3. The RF characteristics measured result of MHEMT.

MHEMT의 DC-IV 및 전달컨덕턴스 특성을 그림 2에 나타내었으며, 측정결과 소자의 핀치 오프 전압은 -1.5 V, 포화전류는 89.6 mA 로 드레인 전류 밀도는 640 mA/mm이며, 최대 전달컨덕턴스(gm)는 653 mS/mm의 측정 결과를 얻었다.

MHEMT의 S-parameter 특성은 ME7808A Vector Network Analyzer를 이용하여 0.1~65 GHz의 주파수 영역에서 측정하였다. 그림 3은 70  $\mu\text{m} \times 2$  평거인 MHEMT의 주파수 특성으로, 65 GHz에서 6.63 dB의 S21 이득을 나타내었으며, 전류이득 차단주파수(fT)는 173 GHz, 최대공진 주파수(fmax)는 271 GHz의 우수한 특성을 나타내었다.

### III. Casocde 증폭기의 설계

일반적으로 증폭기 설계에 많이 사용하는 구조는 common-source 구조로 회로 설계가 간단하고 저주파에서 높은 이득 특성을 가진다. 그러나 common-source 구조의 경우 Miller's effect 로 인하여 전체 캐패시턴스가 증가하게 됨에 따라 차단주파수의 제한을 받게 된다<sup>[6]</sup>. common-source 구조의 FET에서 전체 캐패시턴스는 다음과 같다.

$$C_{total} = C_{gs} + C_{gd}(1 + g_m R_L) \quad (1)$$

식(1)에서 보여지듯이 Miller's effect 때문에 내부 feedback 캐패시턴스인 Cgd 성분이 전달컨덕턴스(gm)와 Load 저항 RL로 인해 전체 캐패시턴스 값을 크게 증가시켜 주파수 특성이 감소하게 된다. 이 문제점은 common-gate 구조를 사용하면 해결할 수 있으며, common-gate 구조는 내부의 feedback 캐패시턴스인

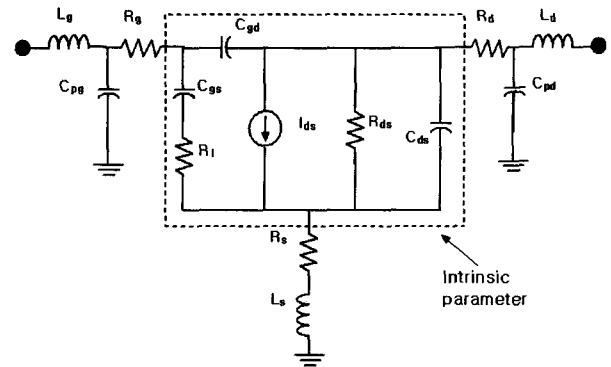


그림 4. Metamorphic HEMT 소신호 등가회로  
Fig. 4. A Small signal equivalent circuit of Metamorphic HEMT.

표 1. MHEMT의 소신호 추출 파라메타.  
Table 1. Small signal extracted parameter of MHEMT.

Extrinsic Parameter		Intrinsic Parameter	
R <sub>g</sub> [Ω]	1.82	C <sub>gs</sub> [pF]	0.055
R <sub>d</sub> [Ω]	6.59	C <sub>gd</sub> [pF]	0.010
R <sub>s</sub> [Ω]	2.57	C <sub>ds</sub> [pF]	0.040
L <sub>g</sub> [nH]	0.063	R <sub>ds</sub> [Ω]	390.4
L <sub>d</sub> [nH]	0.068	g <sub>m</sub> [ms]	85.6
L <sub>s</sub> [nH]	0.006	R <sub>i</sub> [Ω]	2.91
C <sub>pg</sub> [pF]	0.024	τ[psec]	1.02
C <sub>pd</sub> [pF]	0.019		

Cgd 성분이 없기 때문에 전체 캐패시턴스 값이 감소하여 차단 주파수 특성이 향상되게 된다. Cascode 구조는 common-source와 common-gate 구조를 결합한 구조로 입력단 FET는 common-source, 출력단의 FET는 common-gate로 구성된다. Cascode 구조의 증폭기는 출력단 FET의 Miller effect가 없기 때문에 차단 주파수 특성이 향상될 뿐만 아니라, 입력단 FET의 Load 저항인 출력단 FET의 source 저항이 일반적으로 작은 값은 갖기 때문에 입력단 FET의 Miller effect가 감소하여 주파수 특성이 향상되게 된다. 따라서 본 연구에서는 밀리미터파 대역에서 고이득 및 광대역 특성을 얻기 위하여 cascode 구조의 증폭기를 설계하였다.

MIMIC 증폭기를 설계하기 위해서는 소자의 동작 특성을 표현하는 소자 모델의 개발이 필수적이다. 이를 위해 본 논문에서는 MHEMT의 소신호 모델을 추출하였다<sup>[7-8]</sup>. 소신호 모델링은 단위게이트 폭이 70  $\mu\text{m}$ 이고 평거수가 2개인 MHEMT 소자를 추출하였다. MHEMT 소신호 모델의 등가회로와 추출 결과를 그림 4와 표 1에 나타내었다. 추출된 MHEMT의 소신호 모델은 시뮬레이

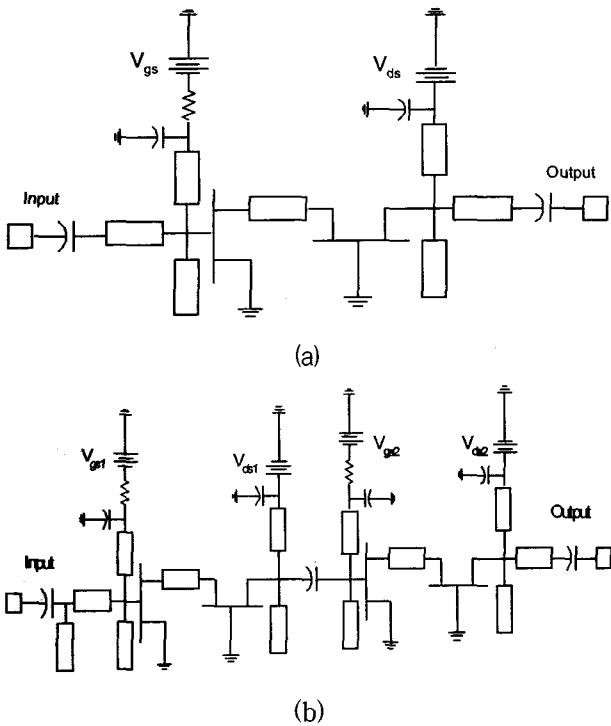


그림 5. MIMIC cascode 증폭기 회로도: (a) 1단 cascode 증폭기, (b) 2단 cascode 증폭기.  
 Fig. 5. The circuit diagram of MIMIC cascode amplifier: (a) 1 stage cascode amplifier, (b) 2 stage cascode amplifier.

선 결과 측정값과 잘 일치하였다. MIMIC cascode 증폭기의 설계 및 제작을 위해 다양한 CPW 패턴을 설계, 제작하였다. CPW는 마이크로 스트립 라인에 비하여 후면 공정이 필요 없는 장점이 있어 밀리미터파 대역에서 많이 응용되고 있으며, 다수의 회로들이 발표되고 있다<sup>[9-10]</sup>. CPW 라이브러리를 구축하기 위하여 35, 50, 70 Ω의 특성 임피던스를 갖는 선로를 설계 및 제작하였으며, 불연속 특성을 고려하기 위하여 Curve, Tee, Cross의 라이브러리를 구축하였다.

그림 5에 cascode 증폭기의 회로도를 나타내었다. 증폭기의 증폭단은 cascode 구조로 설계하였으며, cascode 증폭기는 1 단 증폭기와 2단 증폭기 2가지 종류의 회로를 설계하였다. 증폭기의 정합회로를 CPW 라인을 사용하여 설계하였으며, 광대역 특성을 갖도록 정합회로를 설계하였다. 바이어스 라인은  $\lambda/4$  short stub를 사용하여 설계하였으며, 설계된 전체 회로 패턴은 Momentum™ 시뮬레이션을 통하여 검증하고 최적화를 수행하였다.

**IV. MIMIC 증폭기의 제작 및 측정**

밀리미터파 cascode 증폭기는 개발된 CPW 라인과

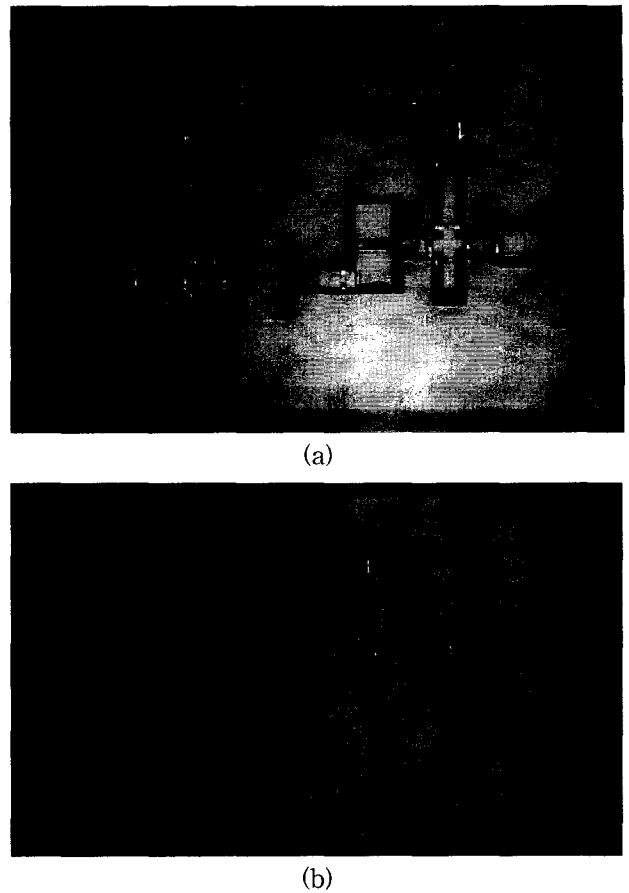
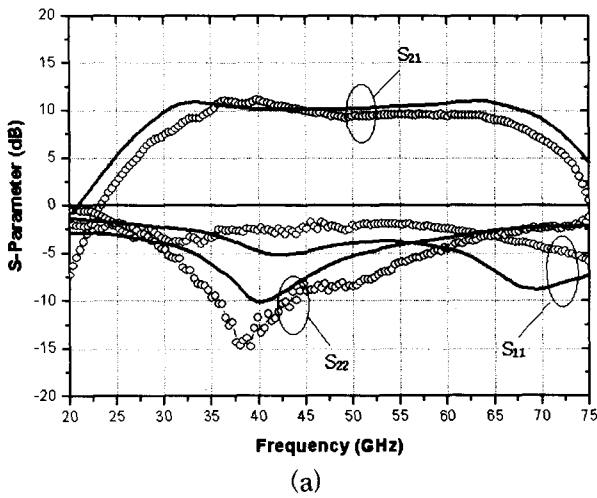


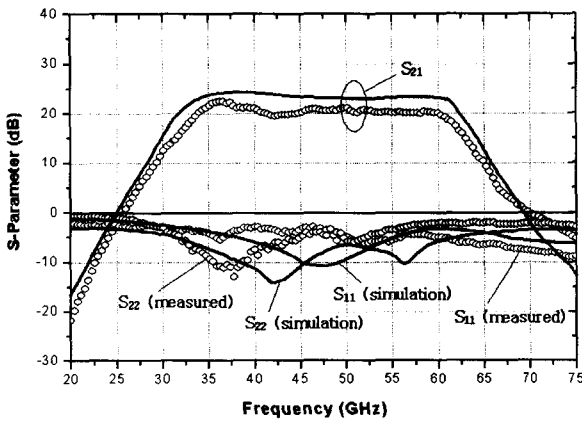
그림 6. 제작된 MIMIC cascode 증폭기 사진: (a) 1단 cascode 증폭기, (b) 2단 cascode 증폭기.  
 Fig. 6. Photograph of the fabricated MIMIC cascode amplifier: (a) 1 stage cascode amplifier, (b) 2 stage cascode amplifier.

MHEMT MIMIC 공정을 사용하여 제작되었다<sup>[11-12]</sup>. 그림 6은 제작된 cascode 증폭기의 표면사진으로 1단 증폭기와 2단 증폭기의 칩 면적은 각각 1.2 mm × 0.9 mm와 2.0 mm × 1.1 mm이다.

제작된 cascode MIMIC 증폭기는 8510 Vector Network Analyzer를 사용하여 On-wafer 측정 방법으로 S-parameter 특성을 측정하였다. 제작된 cascode 증폭기의 측정결과, 1단 증폭기는 3 dB 대역폭이 31.3~68.3 GHz로 37 GHz의 광대역 특성을 얻었으며, 대역내에서 평균 9.7 dB 및 40 GHz에서 최대 11.3 dB의 S21 이득을 나타내었다. Cascode 2단 증폭기는 3 dB 대역폭이 32.5~62.0 GHz로 29.5 GHz의 대역폭과 대역내에서 평균 20.4 dB 및 36.5 GHz에서 최대 22.3 dB의 높은 이득 특성을 얻었다. 그림 7에 cascode 증폭기의 S-parameter 시뮬레이션 및 측정결과를 나타내었다.



(a)



(b)

그림 7. MIMIC cascode 증폭기의 S-parameter 특성 측정결과 (—: simulation, ○: measured) ; (a) 1단 cascode 증폭기, (b) 2단 cascode 증폭기.

Fig. 7. S-parameter measured results of MIMIC cascode amplifier (—: simulation, ○: measured) ; (a) 1 stage cascode amplifier, (b) 2 stage cascode amplifier.

### V. 결 론

본 논문에서는 밀리미터파 대역에서 고이득과 광대역 특성을 갖는 MHEMT MIMIC cascode 증폭기를 설계 및 제작하였다. cascode 증폭기 제작을 위해 0.1  $\mu\text{m}$  InGaAs/InAlAs/GaAs MHEMT를 설계·제작하였다. 제작된 MHEMT는 드레인 전류 밀도 640 mA/mm, 최대 전달컨덕턴스( $g_m$ )는 653 mS/mm를 얻었으며, 주파수 특성으로  $f_T$ 는 173 GHz,  $f_{max}$ 는 271 GHz의 우수한 특성을 나타내었다. Cascode 증폭기는 CPW 전송선로를 이용하여 광대역 특성을 얻을 수 있도록 정합회로를 설계하였으며, 1단과 2단 증폭기의 2가지 종류로 회로를 설계하였다. 설계된 증폭기는 MHEMT MIMIC 공

정을 이용해 제작되었다. 제작된 cascode 증폭기의 측정결과, 1단 증폭기는 3 dB 대역폭이 31.3~68.3 GHz로 37 GHz의 대역 특성을 얻었으며, 대역내에서 평균 9.7 dB 및 40 GHz에서 최대 11.3 dB의 이득특성을 보였다. Cascode 2단 증폭기의 측정결과, 대역폭이 32.5~62.0 GHz로 29.5 GHz의 대역폭과 대역내에서 평균 20.4 dB 및 36.5 GHz에서 최대 22.3 dB의 높은 이득 특성을 얻었다. 본 논문에서 설계 및 제작된 MHEMT cascode 증폭기는 밀리미터파 대역에서 고이득 및 광대역 특성을 나타내었으며, 밀리미터파 대역 시스템에 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] Wendell M. T. Kong, Sujane C. Wang, Pane-Chane Chao, Der-Wei Tu, Kuichul Hwang, O. S. A. Tang, Shih-Ming Liu, Pin Ho, Kirby Nichols, and John Heaton, "Very High Efficiency V-Band Power InP HEMT MMICs," IEEE Elec. Device Lett., vol. 21, no. 11, pp. 521~523, Nov. 2000.
- [2] Hassan Maher, Jean Decobert, Aline Falcou, Michel Le Pallec, George Post, Yves I. Nissim, and Andre Scavennec, "A Triple Channel HEMT on InP (Camel HEMT) for Large-Signal High-Speed Applications," IEEE Trans. Elec. Device, vol. 46, no. 1, pp. 32~37, Jan. 1999.
- [3] C. S. Whelan, W. E. Hoke, R. A. McTaggart, S. M. Lardizabal, P. S. Lyman, P. F. Marsh, T. E. Kazior, "Low Noise In<sub>0.32</sub>(AlGa)<sub>0.68</sub>As/In<sub>0.43</sub>Ga<sub>0.57</sub>As Meta-morphic HEMT on GaAs substrate with 850 mW/mm output power density," IEEE Elec. Device Lett., vol. 21, no. 1, pp. 5~8, Jan. 2000.
- [4] Axel Tessmann, William H. Haydl, Axel Hulsmann, and Michael Schlechtweg, "High-Gain Cascode MMIC's in Coplanar Technology at W-band Frequencies," IEEE Microwave Guided Wave Lett., vol. 8, no. 12, Dec. 1998.
- [5] Bok-Hyung Lee, Dong-Hoon Shin, Sam-Dang Kim, and Jin-Koo Rhee, "High Maximum Frequency of Oscillation of 0.1  $\mu\text{m}$  Off-set  $\Gamma$ -Shaped Gate InGaAs/InAlAs/GaAs Metamorphic HEMTs," J. Korean Phys. Soc., vol. 43, no. 6, pp. 427~430, Sep. 2003.
- [6] Sedra/Smith, Microelectronic Circuits, Oxford.
- [7] G. Dambrine, A. Cappy, F. Heliodore, and E. Playez, "A New Method for Determining the FET Small-Signal Equivalent Circuit," IEEE

- Trans. Microwave Theory & Tech., vol. 36, no. 7, pp. 1151~1159, July 1988.
- [8] M. Y. Jeon, B. G. Kim, Y. J. Jeon, and Y. H. Jeong, "A Technique for Extracting Small-Signal Equivalent-Circuit Elements of HEMTs," IEICE Trans. Electron, vol. E82-C, no. 11, pp. 1968~1976, Nov. 1999.
- [9] Dan An, Bok Hyung Lee, Yeon Sik Chae, Hyun Chang Park, Hyung Moo Park, and Jin Koo Rhee, "Low LO Power V-band CPW Down-Converter Using a GaAs PHEMT," J. Korean Phys. Soc., vol. 41, no. 6, pp. 1013~1016, Dec. 2002.
- [10] Dan An, Sung Chan Kim, Woo Suk Sul, Hyo Jong Han, Hyung Moo Park, and Jin Koo Rhee, "High Conversion gain Millimeter-wave  $\times 4$  Sub-harmonic Mixer With Cascode 4th Harmonic Generator," Microwave Optical Tech. Lett. vol. 41, no. 6, pp. 490~493, June 2004.
- [11] J. W. Shin, Y. S. Yoon, S. D. Lee, H. C. Park and J. K. Rhee, "Effects of He gas on hydrogen content and passivation of GaAs PHEMT with SiN films," 2000 Asia-Pacific Workshop on Fundamental and Application of Advanced Semiconductor Devices (AWAD), pp. 121~124, 2000.
- [12] Il-Hyeong Lee, Seong-Dae Lee, and Jin-Koo Rhee, "Studies on Air-Bridge Processes for mm-wave MMIC's Applications," J. Korean Phys. Soc., vol. 35, no. 12, pp. S1043~S1046, 1999.

저 자 소 개



**안 단**(정회원)  
1998년 동국대학교 전자공학과 졸업(공학사),  
2000년 동국대학교 전자공학과 석사과정(공학석사),  
2000년~현재 동국대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야: MMIC 설계, 소자 모델링>



**이 복 형**(정회원)  
1999년 동국대학교 전자공학과 졸업(공학사),  
2001년 동국대학교 전자공학과 석사과정(공학석사),  
2001년~현재 동국대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야: MMIC 공정, V-band system>



**이 문 교**(정회원)  
1999년 배재대학교 전자공학과 공학사,  
2001년 동국대학교 전자공학과 공학석사,  
2001년~현재 동국대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야: 무선통신 시스템, MIMIC 설계 >



**임 병 옥**(정회원)  
2000년 동국대학교 전자공학과 졸업(공학사),  
2002년 동국대학교 전자공학과 석사과정(공학석사),  
2002년~현재 동국대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야: MMIC 설계 및 공정, RF MEMS>



**백 용 현**(정회원)  
2003년 동국대학교 전자공학과 졸업(공학사),  
2003년~현재 동국대학교 전자공학과 석사과정  
<주관심분야: MMIC 설계 및 공정>



**채 연 식**(정회원)  
1993년 동국대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
1997년 동국대학교 전자공학과 석사과정(공학석사)  
2002년 동국대학교 전자공학과 박사과정(공학박사)

2002년~현재 동국대학교 밀리미터파 신기술 연구센터 연구교수

<주관심분야: MMIC 설계, 무선통신 모듈설계>



**박 형 무**(정회원)  
1978년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사),  
1980년 한국과학기술원 전자공학과 석사과정(공학석사),  
1984년 한국과학기술원 전자공학과 박사과정(공학박사),

1999년~현재 동국대학교 전자공학과 교수

<주관심분야: MMIC 설계, 소자 모델링>



**이 진 구**(정회원)  
1969년 국립항공대학교 전자공학과 졸업(공학사),  
1975년 서울대학교 전자공학과 석사과정(공학석사),  
1982년 Oregon State Univ. 전기공학과(공학박사),

1985년 Cray Research Scientist,

1985년 Microwave Semiconductors, USA, Senior Engineer,

1995년~현재 한국 전자과학회 이사,

2002~2003년 대한전자과학회 부회장,

2004년~현재 대한전자과학회 수석부회장,

1985년~현재 동국대학교 전자공학과 교수,

1999년~현재 밀리미터파 신기술 연구센터 소장

<주관심분야: MMIC 설계, 소자 모델링>

