

Q-band 광대역 무선 멀티미디어용 MMIC 구동 및 전력증폭기

강 동 민, 이 진 희, 윤 형 섭, 심 재 업, 이 경 호
한국전자통신연구원 무선통신소자연구부 초고주파소자팀
전화 : 042-860-1592 / 팩스 : 042-860-6183

Q-band MMIC Driver and Power Amplifiers for Wideband Wireless Multimedia

Dong-Min Kang, Jin-Hee Lee, Hyung-Sup Yoon, Jae-Yeob Shim, Kyung-Ho Lee
Microwave Devices Team, Wireless Communication Devices Dept.,
Basic Research Lab., ETRI,
E-mail : kdm1597@etri.re.kr

Abstract

The design and fabrication of Q-band 3-stage monolithic microwave integrated circuit(MMIC) driver and power amplifiers for WLAN are presented using $0.2\mu\text{m}$ AlGaAs/InGaAs/GaAs pseudomorphic high electron mobility transistor(PHEMT). In each stage of the MMIC DA, a negative feedback is used for both broadband and good stability. The MMIC PA has employed a balanced configuration to overcome these difficulties and achieve high power with low VSWR over a wide frequency range. In the MMIC DA, the measurement results are achieved as an input return loss under -4dB , an output return loss under -10dB , a gain of 14dB , and a P1dB of 17dBm at Q-band($36 \sim 44\text{GHz}$). The chip size is $2.8\text{mm} \times 1.3\text{mm}$. The developed MMIC PA has the 10dB linear gain over 36GHz to 42GHz band and 22dBm P1dB performance at 40GHz . The size of fabricated MMIC PA is $4\text{mm} \times 3\text{mm}$. These results closely match with design results. This MMIC DA & PA will be used as the unit cells to develop millimeter-wave transmitters for use in wideband wireless LAN systems.

I. 서론

현대 사회의 정보화에 따라 언제 어디서나 누구와도 정보의 교환이 가능한 무선통신 시스템의 대중화로 사용자의 수가 급격히 늘어남에 따라 통신용량을 수용하기 위하여 사용주파수 대역이 점차 높아지고 있다. 그러나 40GHz 대역의 RF 부품 개발에 있어 Hybrid-MIC 형의 부품 개발은 기술적 한계를 보이고 있으며, 따라서 MMIC 기술을 이용하여 주요부품을 개발하고 있다. 하지만 40GHz 이상의 대역에서 사용할 수 있는 MMIC 기술은 선진국에서도 소수 몇 업체만이 보유하고 있으며 국내에서는 전무한 상태이다. 이에 밀리미터파 대역의 RF 부품에 대한 기술 확보 및 경쟁력을 갖고자 본 논문에서는 40GHz 대역에서 동작되는 구동 및 전력증폭기를 설계하고 제작하였다.

II. PHEMT Device

갈륨비소(GaAs) 기판을 주로 사용하는 고 전자이동도 트랜지스터(HEMT)는 높은 주파수에서의 저 잡음 특성과 전력 특성이 우수하여 밀리미터파 대역의 핵심 능동소자로서 유명하며 MMIC 제작에 각광을 받고 있는 소자이다. HEMT소자의 carrier 공급층으로는 균일

하게 도핑한 AlGaAs층을 사용하였으며, 채널 층으로는 밴드갭 불연속성이 크고 채널층에서의 전자이동도가 높은 pseudomorphic 층인 InGaAs층을 채택하였다. HEMT 소자의 성능을 향상시키기 위해서 게이트 길이의 감소와 동시에 낮은 기생 게이트 저항을 갖도록 넓은 gate-head를 갖는 T-gate 형성기술, 게이트 리세스 기술, back-side via hole 공정기술을 이용하였다. 0.2 μm AlGaAs/InGaAs/GaAs PHEMT 소자의 층 구성도와 실제 제작된 사진을 그림 1과 그림 2에 나타내었다. 그리고 PHEMT 소자의 DC와 RF 특성을 그림 3에 나타내었다. PHEMT 소자의 transconductance는 450mS/mm, cut-off frequency는 62GHz이다.

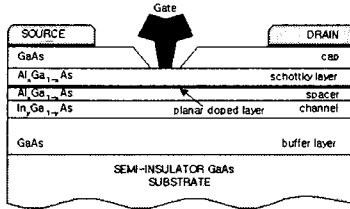


그림 1. T-gate를 포함한 PHEMT 소자의 층 구성도

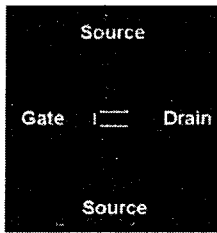
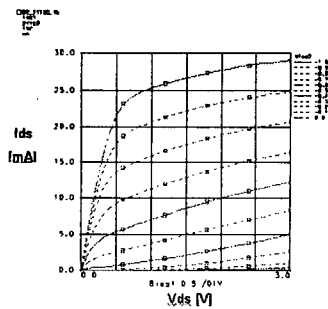
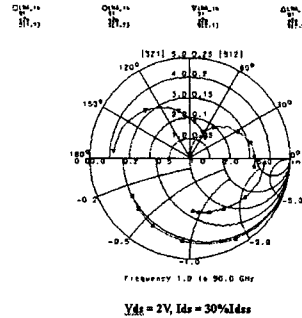


그림 2. 제작된 PHEMT 소자의 사진



0.2 μm gate length, 2 gate finger, total gate width 100 μm
 Drain Saturation Current = 28mA @ $V_{DS}=2\text{V}$
 Threshold Voltage = -0.8V

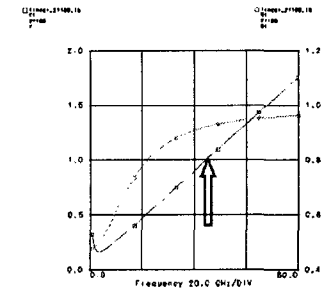
a) PHEMT 소자의 I-V 곡선 특성



b) PHEMT 소자의 S-parameter 특성
 그림 3. PHEMT 소자의 DC & RF 특성

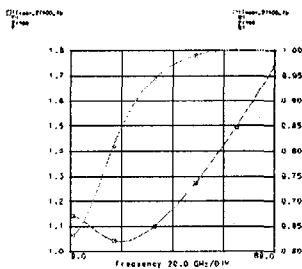
III. 구동 및 전력증폭기의 설계

40GHz대역 Wireless LAN용 송신기에 사용될 증폭기를 설계하고 레이아웃한 결과를 기술하고자 한다. 구동 증폭기의 능동소자는 0.2 μm \times 200 μm (4finger \times 50 μm), 4f200와 0.2 μm \times 400 μm (8finger \times 50 μm), 8f400 AlGaAs/InGaAs PHEMT를 이용하였다.[1] 먼저 각 단에 사용될 능동소자가 무조건적인 안정조건을 만족하지 못하기 때문에 무조건적인 안정조건인 K(Rollett stability factor) >1 , B(Stability measure) >0 을 만족하도록 설계하여야 한다. 본 논문에서는 무조건적인 안정조건과 광대역 특성 그리고 이득 평탄도 조건을 만족시키기 위해서 negative feedback 회로를 각 단에 대해서 사용하였으며, 그림 4에 나타내었다. 각 단에 대해서 전력정합과 소신호 정합을 실시한 후에 3단 회로 전체에 대해서 단간 정합을 실시하였다. Single ended type인 관계로 전력정합과 소신호 정합에 대해서 약간의 trade-off를 수행하여 전력특성과 입출력정합 특성에서 각각 손실을 나타내었지만 원하는 설계 사양에 동시에 만족하도록 하였다. 전력 증폭기는 4-finger 200 μm 와 8-finger 400 μm P-HEMT를 이용하여 2단의 구동단과 8-finger 400 μm P-HEMT를 병렬로 연결한 1단의 전력단 구조로 전체 3단 증폭기로 구성되었다. 전력 증폭단은 전력분배기와 결합기를 효과적으로 이용하여 높은 입력 전력에 대하여 고출력을 갖도록 설계하였다. 최종적으로 입력과 출력에 Lange coupler를 사용하여 반사 손실을 줄이고 입력 전력을 높일 수 있으며 낮은 입력 전력에 대하여 좋은 선형 특성을 가지는 평형 증폭기 구조로 설계하였다. 구동 및 전력증폭기의 개략적인 회로구조를 그림 5에 나타내었다. 수동소자는 ETRI PHEMT Library에서 제공하는 MIM Capacitor와 Thin Film Resistor를 사용하였다. 바이어스 회로는 $\lambda/4$ 마이크로스트립 라인을 적용하여 RF-choke로서 RF신호에 대해서는 개방회로,



Stability Factor, $K < 1 @ 0 - 45\text{GHz}$
Stability Measure, $S1 > 0 @ 0 - 80\text{GHz}$

(a) 부궤환회로 적용 전



Stability Factor, $K > 1 @ 0 - 80\text{GHz}$
Stability Measure, $S1 > 0 @ 0 - 80\text{GHz}$
 $R_{in} = 270\Omega, C_{in} = 18.3\text{pF}$

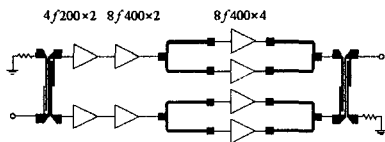
(b) 부궤환회로 적용 후

그림 4. 부궤환회로 적용에 따른 안정도의 변화

DC신호에 대해서는 단락회로가 되도록 설계하였다. 정합회로는 distributed element인 마이크로스트립 라인을 이용하여 open stub로 구현하였으며 접지는 Via hole 모델을 사용하였다. GaAs 기판 두께와 금속판 두께는 $100\mu\text{m}$ 와 $3\mu\text{m}$ 이다.



(a) 구동증폭기의 개략도

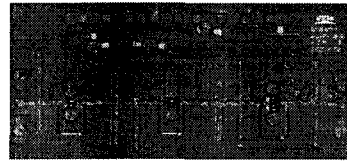


(b) 전력증폭기의 개략도

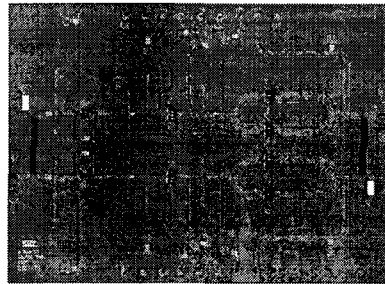
그림 5. 증폭기의 개략도

위의 설계된 회로 데이터를 기본으로 하여 레이아웃을 실시하였다. 레이아웃은 ETRI Library에서 제공되는 능동소자와 수동소자들을 기본으로 하여 선로간의 간

섭현상 등과 같은 기생성분의 발생을 최소화 할 수 있도록 레이아웃을 실시하였다. RF 신호의 입출력단에는 GSG type, 그리고 DC bias의 공급단에는 GPPPPGPPG type의 pad를 사용하였다. 그리고 회로의 사이즈를 최소화 하기 위하여 기생성분의 발생이 없는 범위 내에서 RF-choke역할을 하는 $\lambda/4$ 마이크로스트립라인에 m_curve를 이용하였다. 최종 레이아웃된 MMIC DA의 chip 크기는 $2.8 \times 1.3\text{mm}^2$ 이고, MMIC PA의 chip 크기는 $4 \times 3\text{mm}^2$ 이다. 그림 6에 제작된 MMIC 증폭기의 사진을 나타내었다.



(a) MMIC 구동증폭기의 사진



(b)MMIC 전력증폭기의 사진

그림 6. 제작된 MMIC 증폭기의 사진

IV. 구동 및 전력증폭기의 측정 결과

제작된 MMIC 구동 및 전력 증폭기의 특성을 파악하기 위하여 on-wafer 측정을 실시하였다. 선형특성을 파악하기 위하여 8510C Network Analyzer를 이용하였고, 전력특성은 Signal Generator와 Spectrum Analyzer를 이용하였다. On-wafer 측정을 위하여 Probe station을 이용하여 RF 입·출력단에는 $150\mu\text{m}$ pitch를 갖는 GSG type RF-probe를, DC 입력단에는 GPPPPGPPG type DC-probe를 적용하였다. 구동 증폭기의 측정 결과 17dBm 의 출력전력특성과 $14 \pm 0.5\text{dB}$ 의 선형이득, 그리고 -4dB 이하의 입력반사손실, -10dB 이하의 출력반사손실을 나타내었다. 전력증폭기의 측정결과 동작주파수 $36 \sim 42\text{GHz}$ 대역에서 22dBm 의 출력전력특성과 10dB 이상의 선형이득, -12dB 이하의 입력반사손실, 그리고 -15dB 이하의 출력반사손실을 나타내었다. 측정결과를 그림 7과 그림 8에 나타내었다. 측정결과 설계치보다 대략 1dB 정도의 이득 저하와 반사손실에서 손실을 보였는데, 이것은 정합회로에 사

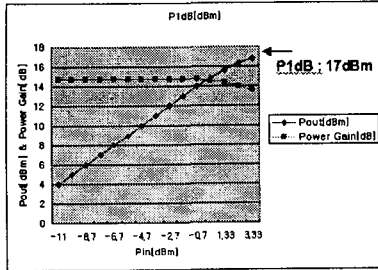
용된 마이크로스트립 라인의 오차 및 능동소자 모델링의 오차로 보여진다.

V. 결론

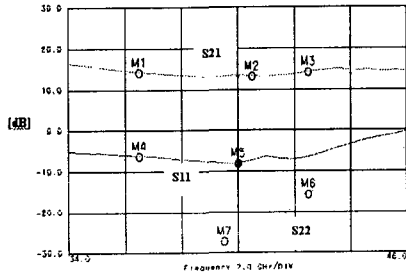
본 논문에서는 ETRI의 4인치 PHEMT 공정을 이용하여 Q-band 대역에서 동작하는 구동 및 전력증폭기를 설계 및 제작하였다. 구동증폭기의 측정결과 동작 주파수 36 ~ 44GHz 대역에서 17dBm의 출력전력특성과 14dB의 선형이득, -4dB이하의 입력반사손실, 그리고 -10dB이하의 출력반사손실을 나타내었으며, 칩 크기는 2.8mm×1.3mm이다. 전력증폭기의 측정결과 동작 주파수 36 ~ 42GHz 대역에서 22dBm의 출력전력특성과 10dB 이상의 선형이득, -12dB이하의 입력반사손실, 그리고 -15dB이하의 출력반사손실을 나타내었으며, 칩 크기는 4mm×3mm이다. 본 논문에서 제작된 MMIC 증폭기는 6GHz 이상의 광대역폭을 확보함으로써 Q-band 대역의 광대역 무선 멀티미디어를 포함한 다양한 서비스를 위한 시스템에서 핵심부품으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] J. H. Lee, H. S. Yoon, C. W. Lee, S. S. Choi, S. J. Maeng, K. H. Lee, and Andrew Goodyear, "Device Characteristics of Dry Etched AlGaAs/InGaAs HEMTs Fabricated by Inductively Coupled Plasma Etching," 2000 GaAs MANTECH Conference, pp. 185-188, May 2000.
- [2] M. Aust, H. Wang, R. Carandang, K. Tan, C. H. Chen, T. Trinh, R. Esfandiari, and H. C. Yen, "GaAs Monolithic Components Development for Q-Band Phased Array Application," IEEE MTT-S Digest, pp.703-706, 1992.
- [3] W. Boulais, R. S. Donahue, A. Platzker, J. Huang, L. Aucoin, S. Shanfield, and M. Vafiades, "A High Power Q-band GaAs Pseudomorphic HEMT Monolithic Amplifier," IEEE MTT-S Digest, pp.649-652, 1994.

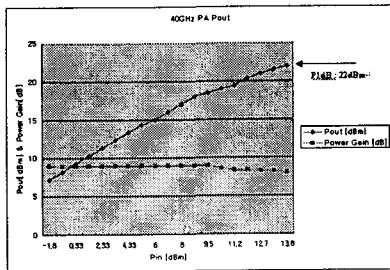


(a) 구동증폭기의 전력특성 측정 결과

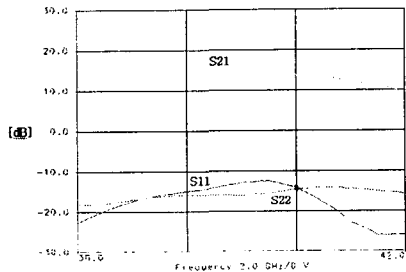


(b) 구동증폭기의 선형특성 측정 결과

그림 7. 제작된 MMIC 구동증폭기의 특성



(a) 전력증폭기의 전력특성 측정 결과



(b) 전력증폭기의 선형특성 측정 결과

그림 8. 제작된 MMIC 전력증폭기의 특성