

AlGaAs/InGaAs/GaAs Power PHEMT 설계 · 제작

이용호, 조승기, 윤용순, 이일형, 이진구
 동국대학교 밀리미터파 신술연구센터
 전화 : (02) 2260-3335 / 팩스 : (02) 277-4796

Design and fabrications of AlGaAs/InGaAs/GaAs Power PHEMT

E. H. Rhee, S. K. Cho, Y. S. Yoon, I. H. Lee, J. K. Rhee
 Millimeter-wave INnovation Technology research center, Dongguk university
 e-mail : jkrhee@dgu.ac.kr

Abstract

In this paper, we have fabricated the PHEMT's with AlGaAs/InGaAs/GaAs, and measured characteristics of DC and frequencies. The PHEMT's has a $0.35\mu\text{m}$ gate length, gate width of $60\mu\text{m}$ and $80\mu\text{m}$, and fingers of 2 and 4. From the measurements results for the $60\mu\text{m} \times 2$ PHEMT's, we obtained 1.2V of V_k , -3.5V of V_p , 46mA of I_{dss} , 221mS/mm of g_m , and 3.6dB of S_{21} gain, 45GHz of f_T , 100GHz of f_{max} . And, in case of $80\mu\text{m} \times 4$ PHEMT's, we obtained 1.2V of V_k , -4.5V of V_p , 125mA of I_{dss} , 198mS/mm of g_m , and 2.0dB of S_{21} gain, 44GHz of f_T , 70GHz of f_{max} at 35GHz frequency.

Also, MAG are decreased as a number of finger are increased.

측정되었으며, 게이트 폭과 핑거 수에 따른 출력 특성을 분석하였다.

II. PHEMT의 설계

PHEMT 시뮬레이션에 사용된 에피층 구조는 그림1에 나타내었으며, 항복전압과 2DEG (2Dimensional Electron Gas)층의 전하밀도를 높이기 위하여 $5 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ 으로 도핑된 Si planar 도핑 층을 삽입한 구조로 설계하였다[3, 4]. 설계에 사용된 소자의 조건은 소오스-드레인 간격은 $3\mu\text{m}$, 게이트 길이는 $0.35\mu\text{m}$ 이다. PHEMT의 DC 특성 시뮬레이션 결과 0.6V의 무릎전압과 -1.5V의 핀치-오프 전압을 얻었고, V_{gs} 는 0V 와 V_{ds} 는 2.5V 조건에서 280mA/mm의 드레인 전류밀도 특성을 얻었다.

I. 서론

정보량의 증가와 서비스의 고속·고품질화 추세는 사용주파수의 광 대역화와 밀리미터파 대역으로 이동을 요구하고 있는 실정이다[1, 2]. 이러한 시대적 요구에 따라 미국 등에서는 여러 형태의 연구 결과들이 발표되고 있다. 그러나 국내의 경우는 일부의 대학과 연구소 그리고 업체에서 제한적으로 연구개발이 추진되고 있으며, 특히 전력용 소자에 대한 연구 결과는 저조한 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 밀리미터파 대역에서 사용할 수 있는 전력소자인 PHEMT를 MOCVD 방법으로 성장된 AlGaAs/InGaAs/GaAs 웨이퍼를 사용하여 제작하고 특성을 분석하였다. 제작은 저 저항 오믹접촉 공정, 전자선 묘화 공정을 이용한 T-게이트 공정 그리고 격리된 전극의 상호연결을 위한 air-bridge 공정 등을 이용하였다. 제작된 PHEMT의 DC 및 주파수 특성은 바이어스 조건에 따라

n+	GaAs (Si: $4 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)	400 Å
i	$\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$	250 Å
Si planar doping ($5 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$)		
i	$\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$	50 Å
i	$\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$	120 Å
i	GaAs	1 μm
Semi-insulating GaAs substrate		

그림 1. PHEMT의 에피층 구조

III. PHEMT의 제작

본 논문에서 제작된 PHEMT는 단위 게이트 폭 $40\mu\text{m}$, $60\mu\text{m}$, $80\mu\text{m}$ 각각에 대하여 게이트 핑거 수를 각각 2, 4, 6, 8, 12, 16 개로 하여 게이트 핑거 수 및 총 게이트 폭에 따른 DC, 주파수 특성 변화를 측정할 수 있도록 하였다.

PHEMT 제작에 사용된 단위 공정은 메사에칭 공정, 저 저항 오믹접촉 공정, 게이트 리세스 에칭 공정, 전자선 묘화 공정을 이용한 T-게이트 공정 그리고 소오스를 상호 연결하기 위한 air-bridge 공정 등이다. 미세 게이트 패턴 형성과 게이트의 저항을 감소시키기 위하여 게이트의 단면적을 증가시킬 수 있는 T-게이트 공정 기술을 적용하였다. 제작된 게이트는 PMMA/P(MMA-MAA)/PMMA의 3층 레지스트를 전자선 묘화 공정을 이용한 이중 노출방식으로 제작되었으며, 제작된 레지스트 패턴의 SEM 사진을 그림 2에 나타내었다. 그림으로부터 게이트의 머리 부분은 $1\mu\text{m}$ 이상이고, 게이트 아래 부분은 약 $0.35\mu\text{m}$ 인 양호한 형태임을 알 수 있다.

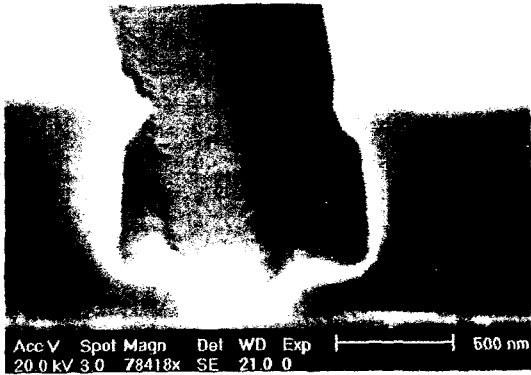


그림 2. T-게이트 패턴의 SEM 사진

또한, 격리된 소오스 전극을 상호 연결하기 위하여 air-bridge 공정을 사용하였다[5]. 제작된 PHEMT의 표면 SEM 사진을 그림 3에 나타내었다. 그림으로부터 소오스 전극과 패드가 air-bridge 형태로 상호 양호하게 연결되어 있음을 알 수 있다.

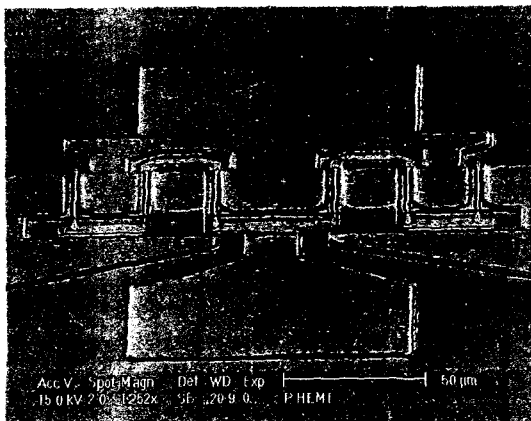
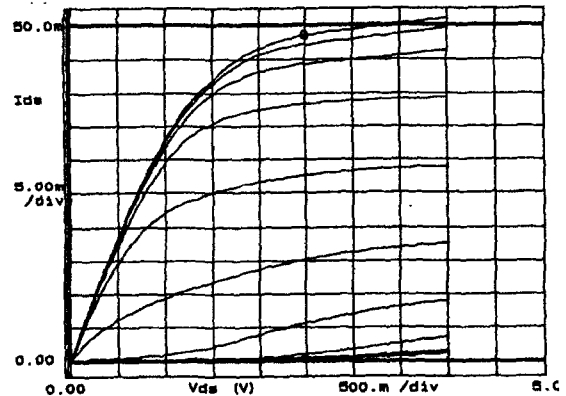


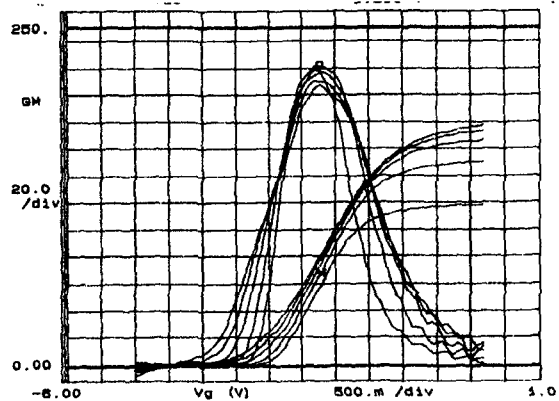
그림 3. PHEMT의 표면 SEM 사진

IV. DC 특성 측정 및 분석

제작된 PHEMT의 전류-전압 및 전달컨덕턴스의 DC 특성을 측정하였다. 그림 4와 5에 측정된 $60\mu\text{m} \times 2$ PHEMT와 $80\mu\text{m} \times 4$ PHEMT의 전류-전압 특성 및 전달컨덕턴스의 특성을 각각 나타내었다. 그림 4로부터 1.2V의 무류전압, -3.5V의 핀치오프 전압을 얻었고, 2.5V의 V_{ds} 조건에서 46mA(383mA/mm)의 I_{dss} 를 얻었다. 또한, 최대 전달컨덕턴스는 -2.2V의 V_{gs} 와 1.5V의 V_{ds} 조건에서 221mS/mm를 얻었다. 그림 5에서 1.2V의 무류전압, -4.5V의 핀치오프 전압을 얻었고, 2.5V의 V_{ds} 조건에서 125mA(390mA/mm)의 I_{dss} 를 얻었다. 또한, 최대 전달컨덕턴스는 1.5V의 V_{ds} 와 -2.4V의 V_{gs} 조건에서 198mS/mm를 얻었다. 얻어진 DC 특성은 시뮬레이션 결과와 유사하였으나, 무류전압 측정결과는 시뮬레이션 결과와 0.6V의 차이를 나타내었다. 이는 시뮬레이션에 적용된 오믹 접촉저항보다 제작된 소자의 접촉 저항이 더 크게 제작되어 무류 전압의 차이를 나타낸 것으로 분석된다.

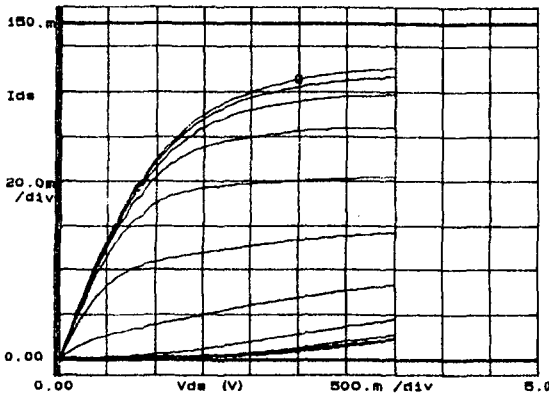


(a) I-V 특성

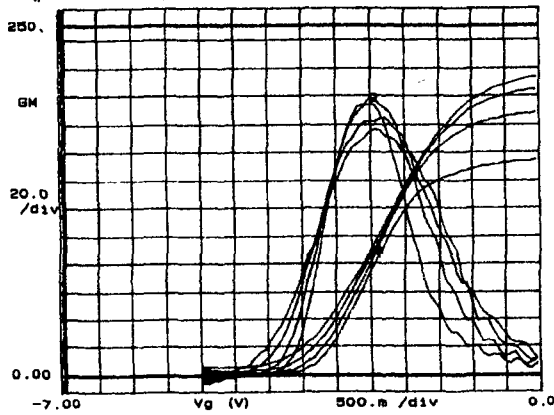


(b) gm 특성

그림 4. $60\mu\text{m} \times 2$ PHEMT의 DC 특성

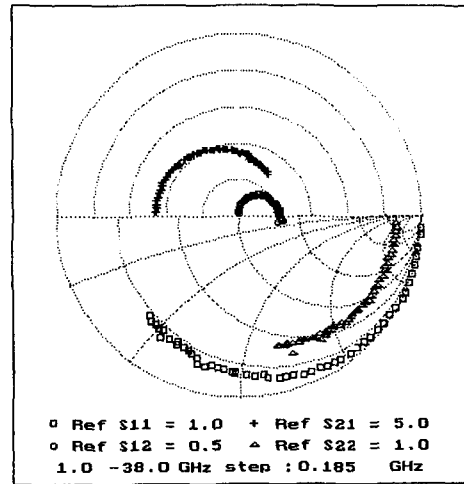


(a) I-V 특성

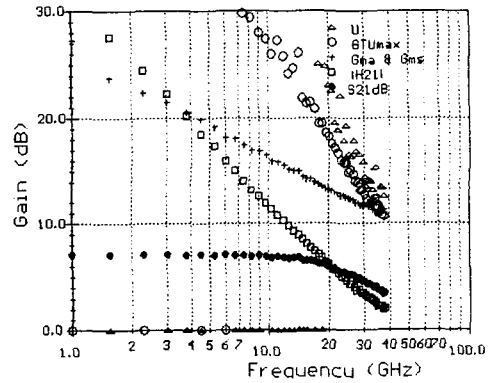


(b) gm 특성

그림 5. 80 μ m x 4 PHEMT의 DC 특성



(a) S-파라미터 특성



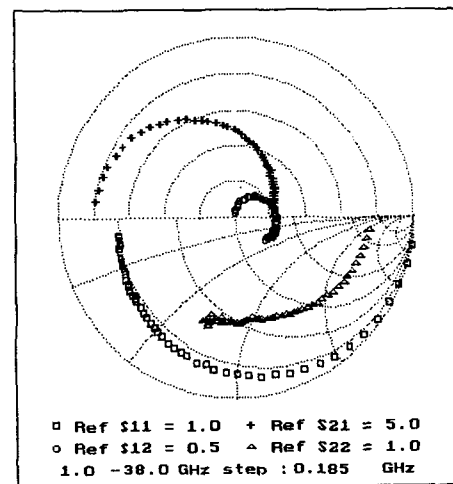
(b) 소신호 이득 특성

그림 6. 60 μ m x 2 PHEMT의 주파수 특성

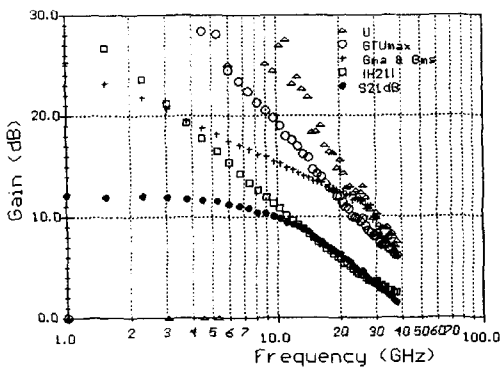
V. RF 특성 측정 및 분석

제작된 PHEMT의 소신호 주파수 특성을 DC~38GHz 범위에서, 2.5V의 V_{ds} 와 0.5 I_{ds} 조건으로 측정하였다. 그림6과 7에 중심주파수 35GHz에서 측정된 60 μ m x 2 PHEMT와 80 μ m x 4 PHEMT의 S-파라미터 특성과 이득 특성을 나타내었다. 그림6으로부터 3.6dB의 S_{21} 이득과 11.2dB의 MAG를 얻었으며, 외삽된 전류 이득차단주파수(f_T)와 최대 공진주파수(f_{max})는 45GHz와 100GHz를 각각 얻었다. 또한, 그림 7로부터 2.0dB의 S_{21} 이득과 7.0dB의 MAG를 얻었으며, 외삽된 전류 이득차단주파수(f_T)와 최대 공진주파수(f_{max})는 44GHz와 70GHz를 각각 얻었다.

제작된 전력용 PHEMT의 단위 게이트 폭과 게이트 핑거 수에 따른 출력전력 특성을 35GHz의 중심주파수에서 측정하고 그 변화 특성을 그림8에 나타내었다. 그림으로부터 단위 게이트 폭 또는 게이트 핑거 수가 증가할 수록 출력전력은 선형적으로 증가함을 알 수 있다.



(a) S-파라미터



(b) 소신호 이득 특성

그림 7. 80µm x 4 PHEMT의 주파수 특성

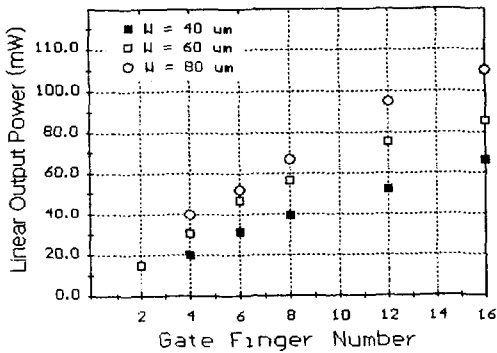


그림 8. PHEMT의 출력전력 특성

VI. 결론

본 논문에서는 밀리미터파 대역에서 사용 가능한 전력용 PHEMT의 에피층 구조를 설계하고 MIMIC에 응용 가능한 0.35µm의 게이트 길이를 갖는 전력용 PHEMT를 제작한 후 DC 및 주파수 특성을 측정하고 분석하였다. 제작에 사용한 공정은 저 저항 오믹접촉 공정, 이중노출 방식의 전자선 묘화 기술을 이용한 T-게이트 공정 및 air-bridge 공정 등을 이용하였다.

제작된 60µm x 2 PHEMT 경우, 무류전압은 1.2V, 편치-오프 전압은 -3.5V, 드레인 포화전류는 46mA (383mA/mm)를 얻었으며, 221mS/mm의 최대 전달컨덕턴스를 얻었다. 또한, 35GHz에서의 S₂₁ 이득은 3.6dB, MAG는 11.2dB를 얻었고, 45GHz의 전류이득 차단주파수와 100GHz의 최대 공진주파수를 얻었다. 80µm x 4 PHEMT 경우, 무류전압은 1.2V, 편치-오프 전압은 -4.5V, 드레인 포화전류는 125mA (390mA/mm)를 얻었으며, 198mS/mm의 최대 전달컨덕턴스를 얻었다. 또한, 35GHz에서의 S₂₁

이득은 2.0dB, MAG는 7.0dB를 얻었고, 44GHz의 전류이득 차단주파수와 70GHz의 최대 공진주파수를 얻었다.

뿐만 아니라, 단위 게이트 폭 및 게이트 핑거 수에 따른 출력전력 특성은 단위 게이트 폭이 증가하거나 게이트 핑거 수가 증가할수록 RF 출력전력은 선형적으로 증가하는 특성을 얻었다.

본 논문에서 얻어진 PHEMT의 제작 공정과 측정된 특성은 밀리미터파 대역의 전력용 PHEMT의 최적화 설계·제작은 물론, MIMIC 설계 및 제작에 직접 응용이 가능할 것으로 사료되며, 주파수 특성은 그대로 유지하면서 출력을 높일 수 있는 저 손실의 전력 결합기 및 분배기의 연구 필요성을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Don Renkowitz, "Satellite Systems For Cellular Telephones," IEEE MTT-S Digest, pp. 1619-1621, 1994.
- [2] T. Apel, E. Creviston, S. Ludvik, L. Quist, and B. Tuch, "A GaAs MMIC Transceiver for 2.45 GHz Wireless Commercial Products," IEEE 1994 Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium, pp. 15-18, May 1994.
- [3] P. M. Smith, W. F. Kopp, et al., "Ku-band high efficiency high gain pseudomorphic HEMT," Electron Letter., vol. 27, no 3, pp. 270-271, 1991.
- [4] Seung-Dae Lee, Jin-Koo Rhee, et al., "simulation, fabrication and analysis of PHEMT's for mm-waves," Proceeding of ITC-CSCC, pp. 1330-1333, July, 1999.
- [5] 이진구, "열적 증착법을 이용한 Au-Bridge 제작과 그 응용에 관한 연구", 대한전자공학회 제 33권 A편, pp. 53-58, 1996년 12월

* 본 연구는 동국대학교 밀리미터파 신기술연구센터를 통한 한국과학재단의 우수연구센터 지원금에 의하여 수행되었습니다.