

論文2000-37SD-3-6

10Gb/s 광수신기용 초고속 저잡음 MMIC 전치증폭기 설계 및 제작

(Design and Fabrication of Ultra-High-Speed Low-Noise MMIC Preamplicifier for a 10Gbps Optical Receiver)

梁光鎮*, 白定基**, 洪善義***, 李進熙***,
尹亨燮***, 孟成在***

(Kwang Jin Yang, Jeong Ki Pack, Seon Eui Hong, Jin Heui Lee, Hyung Sup Youn, and Sung Jae Maeng)

요약

본 논문에서는 AlGaAs/InGaAs/GaAs P-HEMT 소자를 이용한 10 Gb/s 광수신기용 MMIC 초고속 저잡음 전치증폭기를 설계, 제작하고 특성을 분석 하였다. T 형태의 0.15 μ m 게이트 길이를 갖는 P-HEMT 소자를 이용하여 3단 트랜스임피던스 구조로 회로를 설계하였으며 광대역 특성을 얻기 위하여 피킹인덕터를 사용하였고, 저잡음특성을 위하여 게이트폭을 최적화하였다. 제작된 전치증폭기는 트랜스임피던스 이득 60 dB Ω , 대역폭 9.15 GHz, 잡음지수가 3.9 dB 이하인 특성을 보였다.

Abstracts

This paper describes design, fabrication, and performance of an ultra-high-speed and low-noise MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) preamplifier for a 10 Gb/s optical receiver. The transimpedance type 3-stage MMIC preamplifier for ultra-high-speed and low-noise was designed using an AlGaAs/InGaAs/GaAs P-HEMTs(Pseudomorphic High Electron Mobility Transistors) with 0.15 μ m length T-shaped gate. To obtain broadband characteristics, we used the inductor peaking technique, and the gate width was optimized for low noise performance. Measurements reveal that the fabricated preamplifier has the high transimpedance gain of 60 dB Ω and 9.15 GHz bandwidth with the noise figure of less than 3.9 dB.

I. 서론

광전송 시스템의 광수신기는 광검출기, 전치증폭기, 주 증폭기, 판별 및 타이밍회로 등으로 구성된다. 이 중에서 광수신기용 초고속 전치증폭기는 광대역 종합통신망에

서 핵심 광통신기술 중의 하나로 부각되고 있다. 전치 증폭기는 광검출기로 부터의 미약한 전기신호를 최소 한의 잡음으로 원하는 신호레벨까지 증폭시키는 장치 로서 10 Gb/s 광수신용 초고속 전치증폭기는 DC에서 거의 10 GHz 까지의 대역폭에 대해 평탄한 이득 및 저잡음 특성을 가지도록 설계하여야 한다^[1-3].

최근 전치증폭기는 소형화, 경량화, 고신뢰성, 대량생 산에 의한 원가절감 등의 장점때문에 MMIC 형태로 제 작되거나 광검파기와 함께 OEIC 형태로 집적화되고 있 다. 이미 선진국에서는 10 Gb/s 시스템을 개발하였으 며, 최근 20 Gb/s 및 40 Gb/s 시스템에 대한 연구결과

* 正會員, 三星電子 情報通信總括 通信研究所

** 正會員, 忠南大學校 電波工學科

*** 正會員, 韓國電子通信研究院 化合物半導體研究部

接受日字:1999年11月2日, 수정완료일:2000年2月15日

도 발표되고 있다. 종래의 전송속도가 높지 않은 경우는 공정기술이 안정되어 있는 Si를 이용한 집적회로로 많이 개발되었으나, 전송속도가 높아지면서 GaAs를 기본으로 한 MESFET, HEMT, HBT 등을 이용한 전치 증폭기 등이 개발되고 있다^[4].

본 논문에서는 잡음특성에 크게 영향을 주는 게이트 기생저항과 게이트 길이를 동시에 줄일 수 있는 전자빔 에너지분리 방법(Dose-Split Electron-Beam Lithography Method: DSM)으로 제작된 T 형태의 게이트 구조를 갖는 0.15 μm AlGaAs/InGaAs/GaAs P-HEMT 소자^[5]를 이용하여 10 Gb/s용 초고속 저잡음 전치증폭기를 MMIC 형태로 설계, 제작하였다. 설계된 회로는 게이트 폭의 변화에 따른 잡음 스�কে링 기법을 적용하여 저잡음특성을 가지면서, 주어진 대역폭에 대해 평탄한 이득을 가지도록 설계하였다. 이를 위해 본 논문에서는 인덕터피킹(inductor peaking) 기법^[6] 등을 사용하여 트랜스임피던스형 3단 초고속 저잡음 전치증폭기를 MMIC 형태로 설계, 제작하여 그 특성을 살펴 보았다.

II. HEMT 소자 구조 및 특성

본 논문의 설계에 사용된 AlGaAs/InGaAs/GaAs P-HEMT 소자의 층 구성은 MBE(Molecular Beam Epitaxy)를 사용하여 성장시켰고, T 형태의 게이트는 DSM 방법으로 제작하였다. P-HEMT의 단면도와 T 형태의 게이트 구성도는 그림 1과 같다. 그림 1에 나타난 P-HEMT 소자는 소자격리, 오믹접촉 전극형성, T형 게이트 패턴형성, Schottky 게이트 전극형성 등의 공정 순으로 제작하였다.

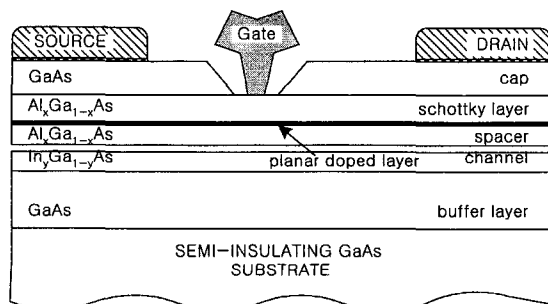


그림 1. T 게이트 구성도와 P-HEMT 단면도
Fig. 1. Cross-section of the P-HEMT with the T-shaped gate.

증폭기 설계에 사용된 HEMT 소자의 소오스-드레인 간격은 3 μm , 게이트 길이는 0.15 μm , 게이트 수(finger)는 2개로 구성되어 있으며 표준소자의 각 게이트의 폭은 70 μm 이다. 제작된 HEMT 소자의 성능은 전체적으로 보호막을 입힌 후에 측정하였다. 측정 바이어스 조건은 $V_{ds}=2.0\text{ V}$, $I_{ds}=20(\pm 0.2)\text{ mA}(50\%I_{dss})$ 로서 이때 측정된 특성은 트랜스컨덕턴스 gm 이 630 mS/mm, 차단주파수(cut off frequency) fT가 70 GHz, 최대 공진주파수 fmax가 150 GHz를 갖는다. 측정된 S-파라미터로부터 추출한 소신호 데이터들은 표 1과 같다. 그리고 잡음특성은 I_{ds} 가 40~50% I_{dss} 일 때 최소잡음지수 Fmin 이 최소값을 가지므로 50% I_{dss} 에서 동작하도록 증폭기를 설계하였으며, P-HEMT 소자의 10 GHz에서의 최소잡음지수는 0.34 dB이다.

표 1. 측정된 P-HEMT 소자의 소신호모델 파라미터($V_{ds}=2\text{ V}$)
Table 1. Small-signal model parameters of the p-HEMT($V_{ds}=2\text{ V}$).

구분	L/W(0.15 μm /2 \times 70 μm)	
	50% I_{dss}	100% I_{dss}
$R_g(\Omega)$	3.487	
$R_d(\Omega)$	3.066	
$R_s(\Omega)$	1.738	
$L_g(\text{H})$	5.92e-11	
$L_d(\text{H})$	7.35e-11	
$L_s(\text{H})$	5.70e-11	
$C_{gs}(\text{F})$	1.07e-13	1.19 e-13
$C_{gd}(\text{F})$	2.68 e-14	2.49 e-14
$C_{ds}(\text{F})$	5.54 e-14	6.02 e-14
gm(mS)	58.889	76.034
rds(Ω)	131.27	122.52

III. MMIC 전치증폭기 설계

10Gb/s 광수신기용으로 사용될 MMIC 전치증폭기의 광대역특성과 저잡음특성을 위한 여러가지 회로 구조 중 본 논문에서는 3단 트랜스임피던스 구조를 택하였다. 설계된 초고속 저잡음 전치증폭기의 광대역특성과 저잡음특성을 위하여 다음의 2가지 방법을 사용하였다.

첫째, 광대역특성을 얻기 위하여 게이트 인덕터 피킹 기법(inductor peaking technique)을 사용하였다⁶⁾. 증폭기 설계에서 광대역특성을 갖게 하는 방법은 많이 있으나 인덕터 피킹이 가장 광범위하게 사용되고 있다^{6, 7)}. 인덕터 피킹은 저주파 영역에 대한 이득의 감소없이 대역폭을 증가시키므로 초고주파 대역에서 많은 이점을 제공하고 있다. 일반적으로 인덕터피킹 기법은 인덕터 값의 증가에 따라서 대역특성이 개선되나 어느 값 이상이 되면 피킹이 발생하면서 다시 대역폭이 감소하는 특성을 보인다. 피킹인덕터를 사용할 수 있는 부분으로는 그림 2에서 보는 바와 같이 증폭기 입력단 게이트 부분, 제한부분, 증폭단 드레인 부분, 증폭단과 레벨쉬프트단 사이 등이 있다. 그림 3은 HEMT 소자를 사용하여 설계된 기본증폭기에 대하여 게이트 인덕턴스(Lg) 값의 변화에 따른 주파수 특성이다. 증폭기 안 정도 측면에서 보면 증폭기 입력단 게이트 부분의 인덕터 피킹이 가장 안전하므로 본 논문에서도 게이트 인덕터피킹 구조로 전치증폭기를 설계하였다.

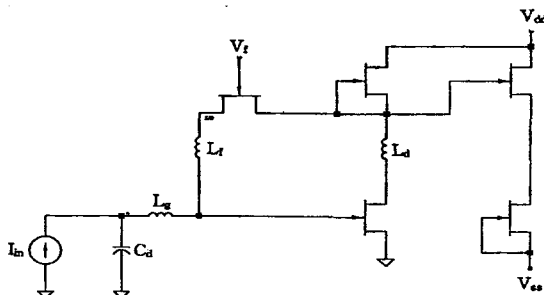


그림 2. 피킹인덕터를 고려한 회로도
Fig. 2. Circuit with peaking inductors.

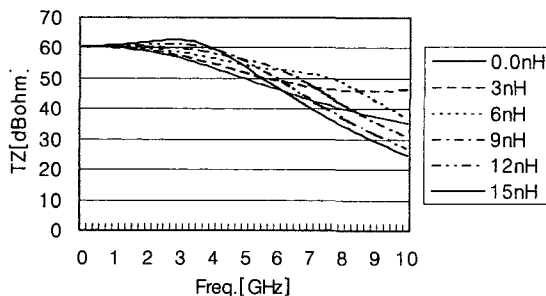


그림 3. 입력단 게이트 인덕터에 따른 주파수응답의 변화
Fig. 3. Variation of frequency response with gate peaking inductance in the input stage.

둘째, 전치증폭기의 잡음특성을 위하여 게이트폭을 최적화하였다^{8, 9)}. 일반적으로 소자의 잡음특성은 게이트폭의 변화에 따라서 최적의 값을 가지며, 증폭기의 잡음특성은 증폭기 입력단에서 전체 특성이 좌우되므로 입력단 증폭용 소자의 게이트 폭을 조절함으로써 설계된 전치증폭기의 잡음을 최적화시켰다.

이러한 방법을 사용하여 설계된 트랜스 임피던스형 3단 초고속 저잡음 전치증폭기 회로도도 그림 4와 같다. 제한은 첫단에서만 시키고 2단과 3단은 추가의 트랜스 임피던스를 얻기 위한 추가 증폭단이다. 그리고 맨 마지막단은 출력정합을 위한 버퍼단으로 구성되어 있다. 각 단은 증폭단과 레벨쉬프트단으로 구성되어 있으며, 주어진 회로에 대한 잡음특성은 첫단의 잡음이 지배적이기 때문에 제한용 저항 R_l 및 게이트 폭의 변화에 따른 등가입력 잡음전류밀도를 계산한 결과 설계된 회로의 R_l는 450Ω, 게이트폭은 44μm이며, 바이어스 회로는 공정오차에 따른 동작점의 변화를 고려하여 증폭용 HEMT의 V_{ds}가 1.7V(50%I_{dss}), 능동부하의 V_{ds}가 1.5~1.7V가 되도록 설계하였다. 증폭단과 버퍼단의 드레인 단자에 일반적으로 사용되는 능동부하 대신에 저항을 연결하였는데, 저항을 사용하면 공정 변화율 및 온도변화에 따른 바이어스의 안정성은 다소 떨어지나, 단자의 저항값 및 정전용량 값이 감소하기 때문에 대역특성이 개선되며 잡음특성도 다소 좋아진다. 그리고 레벨쉬프트단의 드레인 단자에 연결된 능동부하도 극점특성을 개선하기 위하여 다이오드로 대체하였다.

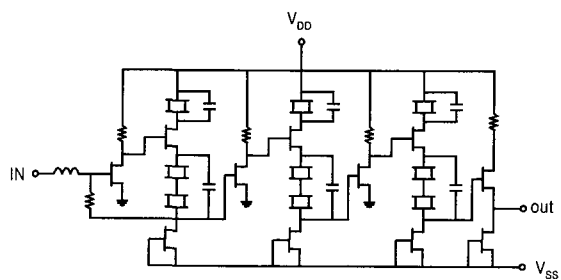


그림 4. 설계된 트랜스임피던스 3단 초고속 저잡음 전치증폭기(V_{DD}=+5V, V_{SS}=-5.2V)
Fig. 4. Circuit diagram of the 3-stage transimpedance preamplifier.

IV. MMIC 제작 및 측정 결과

설계된 전치증폭기는 한국전자통신연구원의 공정을

사용하여 제작하였으며, 제작된 초고속 저잡음 전치증폭기 MMIC의 사진은 그림 5와 같다. 이 때 칩 크기는 $1600\mu\text{m} \times 1300\mu\text{m}$ 이며 제작된 전치증폭기의 주파수특성 측정은 HP8510B 회로분석기와 산란행렬 측정장비를 이용하였고, 잡음특성은 HP 잡음지수 측정기를 사용하여 측정하였다. 그림 6은 제작된 MMIC 전치증폭기의 주파수 동작특성을 나타내며 $60\text{dB}\Omega$ 의 트랜스임피던스, 9.15GHz 의 -3dB 대역폭을 보여주고 있다. 측정된 잡음특성은 3dB 대역폭 내에서 3.9dB 이하의 값을 갖는 것을 그림 7에 보였다.

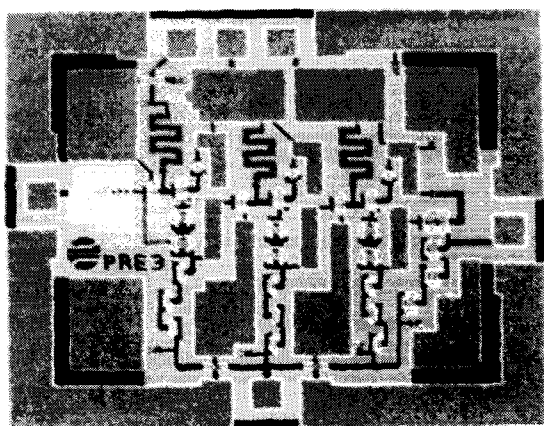


그림 5. 제작된 MMIC 전치증폭기 사진(크기: $1600\mu\text{m} \times 1300\mu\text{m}$)
 Fig. 5. Photograph of the fabricated MMIC preamplifier(size: $1600\mu\text{m} \times 1300\mu\text{m}$).

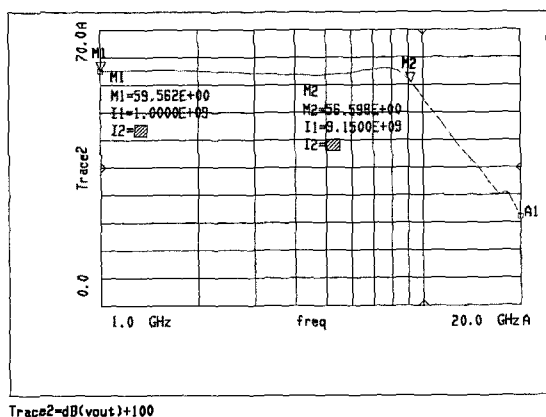


그림 6. 제작된 MMIC 전치증폭기의 주파수특성
 Fig. 6. Measured frequency response of the fabricated preamplifier.

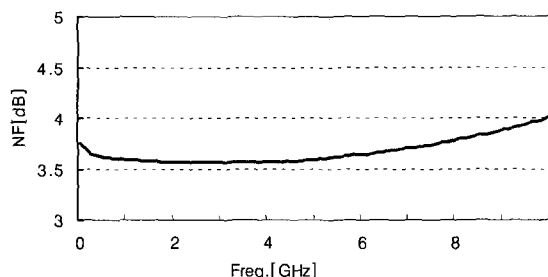


그림 7. 제작된 MMIC 전치증폭기의 잡음지수
 Fig. 7. Measured noise figure of the fabricated preamplifier.

VII. 결 론

10 Gb/s 광수신기용 초고속 저잡음 전치증폭기를 P-HEMT 소자를 이용하여 MMIC 형태로 설계, 제작하여 그 특성을 살펴보았다. 주파수특성에서는 설계치에 근접하는 넓은 대역폭과 평탄한 이득특성을 가지나 이득에서 $3\text{dB}\Omega$ 정도의 열화된 특성을 보여주었으며 이는 수동소자들의 공정변화율에 기인한 것으로 생각된다. 제작된 전치증폭기는 국내 HEMT 공정을 통해 제작된 첫번째 MMIC로서 10 Gb/s용 광수신기에 바로 사용될 수 있을 정도의 우수한 성능을 가지며, 앞으로 관련 MMIC 소자의 국산화 가능성을 보여주고 있다.

참 고 문 헌

- [1] T. V. Muoi, "Receiver Design for High-Speed Optical-Fiber Systems," J. Lightwave Technol., vol. LT-2, no. 3, pp. 243-267, 1984.
- [2] Y. Imai, E. Sano, and K. Asai, "Design and Performance of Wideband GaAs MMIC's for High Speed Optical Communication Systems," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 40, no. 2, pp. 185-189, 1992.
- [3] Y. Akahori et al., "10G/s High-Speed Monolithically Integrated Photoreceiver Using InGaAs p-i-n PD and Planar Doped InAlAs/InGaAs HEMT's," IEEE Photonics Technol Lett., vol. 4, no. 7, pp. 754-756, 1992.
- [4] K. Hohkawa et al., "Integrated Circuits for Ultra-High-Speed Optical Fiber Transmission Systems," IEEE Trans. Electron., vol. 76, no. 1,

pp. 68-77, 1993.

[5] J. H. Lee, H. S. Yoon, C. S. Park, and H. M. Park, "Ultra Low Noise Characteristics of AlGaAs/InGaAs/GaAsPseudomorphic HEMT's with Wide T-Shaped Gate," IEEE Electron Device. Lett., vol. 16, pp. 271-273, 1995.

[6] J. J. Morikuni and S. M. Kang, "An Analysis of Inductive Peaking in Photoreceiver Design," J. Lightwave Technol., vol. 10, no. 10, pp. 1426-1437, 1992.

[7] H. Kikuchi, Y. Miyagawa, and T. Kimura, "Broad-Band GaAs Monolithic Equalizing Amplifiers for Multigigabit-per-Second Optical Receivers," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 38, no. 12, pp. 1916-1923, 1990.

[8] J. J. Morikuni et al., "Improvements to the Standard Theory for Photoreceiver Noise," J. Lightwave Technol., vol. 12, no. 4, pp. 1174-1183, 1994.

[9] K. Joshin, "Experimental and Theoretical Noise Analysis of Microwave HEMT's"

— 저 자 소 개 —



梁光鎮(正會員)

1988 년 : 동아대학교 전자공학과 (공학사). 1990 년 : 동아대학교 전자공학과 (공학석사). 1997 년 : 동아대학교 전자공학과 (공학박사). 1997년 1월~1997년 12월 : 한국전자통신연구원 Post DOC. 1997년 12월~현재 : 삼성전자 통신연구소 광통신연구그룹 선임연구원. 주 관심분야 : RF 회로 설계, 광송수신용 모듈 개발



白定基(正會員)

1978 년 : 서울대학교 전자공학과 (공학사). 1984 년 : Virginia Tech. (공학석사). 1988 년 : Virginia Tech. (공학박사). 1978년 3월 ~1983년 2월 : 국방과학연구소 1988년 10월 ~1989년 2월 : 한국전자통신연구원. 1989년 3월 ~1995년 2월 : 동아대학교 전자공학과. 1995년 2월 ~현재 : 충남대학교 전파공학과 부교수. [주 관심분야] 전자파 전파 및 산란, 초고주파



洪善義(正會員)

1997. 2. 충남대학교 전파공학과 졸업. 1992. 2. 충남대학교 전파공학과 석사과정 졸업(공학석사). 1999.7~현재 한국전자통신연구원 회로소자기술연구소 화합물반도체연구부 근무. 주관심분야 : RF 회로 설계



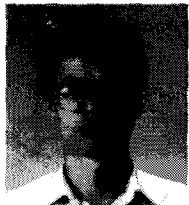
李進熙(正會員)

1980. 2. 영남대학교 물리학과 졸업. 1982. 2. 영남대학교 물리학과 석사과정 졸업(공학석사). 1987. 2. 영남대학교 물리학과 박사과정 졸업(공학박사). 1984~현재 : 한국전자통신연구원(ETRI) 회로소자기술연구소 화합물반도체연구부 근무. 주관심분야 : GaAsRp 화합물 반도체 공정



尹亨燮(正會員)

1980. 2. 광운대학교 전자재료공학과 졸업. 1984. 2. 인하대학교 응용물리학과 석사과정 졸업(공학석사). 1991. 2. 인하대학교 응용물리학과 박사과정 졸업(공학박사). 1984. 5~현재 : 한국전자통신연구원(ETRI) 회로소자기술연구소 화합물반도체연구부 근무



孟成在(正會員)

1984. 2. 서울대학교 무기재료공학과 졸업. 1986. 2. KAIS 재료공학과 석사과정 졸업(공학석사). 1996. 2. KAIST 재료공학과 박사과정 졸업(공학박사). 1986~현재 한국전자통신연구원(ETRI) 회로소자기술연구소 화합물반도체연구부 근무. 주관심분야 : RF 회로 설계