

# 장파장 응용을 위한 InP/InGaAs HBT의 광특성

김강대, 허영현, 박재홍\*, 김용규\*\*, 문태정\*\*\*, 황성범\*\*\*, 송정근

동아대학교 전기전자컴퓨터공학부, 춘해대학 컴퓨터정보과\*

\*\*거창기능대학 매키타로닉스과, \*\*\*경남정보대학 디지털엔지니어링학부

전화 : 052-270-0230 / 핸드폰 : 016-583-8450

## Characteristic of InP/InGaAs HBT for Long Wavelength Application

K. D. Kim, Y. X. Xu, J. H. Park\*, Y. K. Kim\*\*, T. J. Moon\*\*\*

S. B. Hwang\*\*\*, C. K. Song\*

School of Electrical and Electronics and Computer Eng., Dong-A Univ.

\*Dept. Computer Technology, Choon-Hae College

parkjh@choonhae.ac.kr

\*\*Dept. of Mechatronics, Geo-Chang Polytechnic College

\*\*\*Dept. of Electronics Information Communication, Kyungnam College

### Abstract

This paper shows the performance as a photodetector of InP/InGaAs HPT operated with a base bias and forntside optical injection through the emitter. InP/InGaAs HPT produced the high optical gain of about 16.2 where HPT is biased at  $V_c=1V$ ,  $I_B=20\mu A$  with an input optical power of  $2.4\mu W$ . And we examined that the optical gain of HPTs becomes larger when operating in 3-terminal configuration rather than 2-terminal with the floating base. The optical performance of InP/InGaAs HPT is an attractive to the PIN Photodetector for use in long wavelength optical receivers.

### 1. 서 론

21세기로 접어들면서 세계 각국은 정보통신분야에서 선도적 위치를 점하고, 자국의 통신 수요자에게 양질의 빠른 서비스를 제공하기 위하여 초고속 광대역 통신시스템의 개발에 총력을 기울이며, 최근 들어 영상과 데이터를 포함한 멀티미디어 통신량이 급증하면서 수백 Gb/s 정도의 전송량이 요구되지만, 수십GHz에 머물고 있는 핵심 광소자에 의해 제한되어 있고 이를 개선하기 위한 구체적인 핵심 기술로써 광수신기용 초고속전자소

자의 설계 및 제작기술의 개발연구가 필수적이다. InP를 기반으로 하는 HBT는 InP의 낮은 표면 재결합속도와 높은 기판 열전도도, InGaAs의 작은 에너지갭에 따른 수 mV의 턴온전압, 뛰어난 캐리어 이동도 덕분에 우수한 초고속 특성을 보이며[1-3], 높은 파괴전압을 가지고 있어서 적은 전력소모를 요구하는 회로에 응용전망이 밝다. 특히 광소자와의 호환성 있는 에피구조로 인해 광전회로(OEIC)에도 많은 연구가 진행중 이다. HBT (Heterojunction Bipolar Transistor)를 베이스로 하는 광수신기 OEIC (Optoelectronic Integrated Circuit)의 광검출기로서는 PIN PD와 APD(Avalanche Photodiode)가 널리 사용되어 왔다.[4] PIN PD는 동작이 간단하고, HBT와 에미터를 제외한 에피구조의 동일화로 집적화가 용이하지만, 내부이득이 없기 때문에 수신감도가 낮고, 두 소자가 추구하는 성능이 다르기 때문에 trade-off를 통하여 에피구조를 최적화 해야하는 단점이 있다. APD는 역방향 바이어스된 PN 접합의 에벌런치 현상을 이용하기 때문에 내부이득에 의한 매우 높은 수신감도의 장점이 있지만, PN 접합에 높은 전계를 인가하기 위한 바이어스 문제, 높은 잡음지수, 균일한 에벌런치를 유도하기 위한 가드링 형성 문제, 그리고 HBT와의 에피층 호환성 문제 등이 해결되어야 HBT와 집적화가 가능해진다. 이에 반하여 HPT (Heterojunction Phototransistor)는 HBT와 완전히 동일한 에피구조를 사용하므로 제조공정의 호환성이 뛰어나고, 부가적인 잡음없이 트랜지스

터 고유의 증폭동작을 이용한 큰 내부이득을 가질 수 있다. 본 논문은 InP/InGaAs HPT의 암실 상태와 광주입시의 DC특성이 비교되었으며, 베이스에 DC 바이어스를 인가하는 3단자 구성을 통해 트랜지스터 고유의 증폭동작으로 높은 광이득을 나타내어 이전의 2단자 구성에 비해 향상된 성능을 확인하였다.

## II. 본론

### 1. 에피구조와 제작공정

InP/InGaAs HBT에피구조는 반절연 InP기판위에 MBE장비를 사용하여 형성하였다. InP기판위의 3000Å InAlAs버퍼층은 에피성장시 InP 기판의 결함의 영향을 막기위한 완충층으로 삽입되었다. 그 다음의 4000Å 부콜렉터층은 콜렉터의 면저항과 접촉저항을 줄이기 위하여  $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 으로 고도핑하였다. 300Å의 InP콜렉터층은 부콜렉터 InGaAs층과 콜렉터 InGaAs층을 선별식각하기 위하여 삽입되었다. 베이스층의 두께와 농도는 베이스의 저항( $f_{max}$ 와 관련된 파라미터)와 이득의 상관관계를 고려하여  $4 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ , 450Å 두께로 선정하였으며 TLM측정결과 면저항이 799 $\Omega/\square$ 으로 나타났다. 베이스의 불순물이 에미터로 외부확산되는 것을 막기위하여 50Å의 진성층을 두었다. InP에미터농도는 에미터-베이스 접합정용량에 직접적으로 관련되어 에미터 충전시간에 영향을 주므로 소자의 고주파 성능에 크게 영향을 미친다. 에미터 도핑을 낮출수록 접합정전용량이 감소하여 차단주파수는 증가하나 도핑을 너무 낮출수록 콜렉터 전류가 감소하게 된다. 에미터도핑농도로  $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 로 선정하였고 에미터-베이스 접합정전용량은 8.6pF으로 나타났다. 에미터두께는 에미터식각시 충분한 오버행을 형성하기 위하여 2000Å으로 두껍게 하였다. InGaAs 에미터 캡층 또한 에미터금속의 접촉저항을 낮추기 위하여  $3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 으로 고도핑하였다.

InP/InGaAs HBT는 베이스 두께가 매우 얇기 때문에 정확한 베이스 영역의 정의를 위한 방법으로 선별적 식각액의 사용이 필수적이며 InGaAs캡층은  $\text{H}_3\text{PO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ 용액으로 InP층은  $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}$ 용액으로 식각하였다. Ti/Au 에미터-베이스금속을 lift-off공정법을 사용하여 증착하였다. 에미터, 베이스의 접촉저항은  $2.41 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$ ,  $2.25 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$ 으로 각각 나타났다. 그 다음 베이스금속을 식각 마스크로 사용하여 콜렉터를 식각하였고 Ti/Au 콜렉터금속을 증착하였다. 콜렉터 접촉저항은  $3.11 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$ 으로 나타났다.

### 2. 실험결과와 토론

그림 2에 암실상태와 광주입시의 InP/InGaAs HPT의 Gummel plot을 나타내었다. InP/InGaAs HPT의 광주입은 1550nm광장의 레이저 다이오드를 광원으로 하여

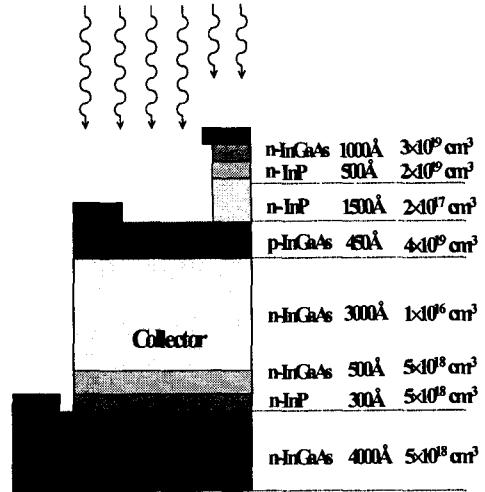


그림 1. InP/InGaAs HPT의 에피구조 및 단면도.

온웨이퍼 상태로 전면에서 주입하였다. 실험에 사용된 소자들의 에미터 사이즈는  $80 \times 180 \mu\text{m}^2$ 이고, 에미터-베이스 전격 간격은 20 $\mu\text{m}$ 이다. 낮은 베이스-에미터 바이어스 하에서 HPT는 PIN PD와 유사한 동작을 한다. 즉, HPT의 베이스-콜렉터-서브콜렉터는 각각 PIN PD의 p-i-n 영역과 같은 역할을 한다. 역방향 베이스 포화전류는 이미 상온에서 존재하고 있는 열생성된 소수캐리어에 광생성된 전자정공쌍이 더해져서 형성된다. 그러므로 광전력이 커질수록 이 역방향 전류는 증가하게 된다. 전류이득 그림의 스파이크와 Gummel 도표에서 V형의 노치는 동일한 바이어스점에서 발생하는데, 이것은 베이스 전류의 방향이 바이어스 인가에 의해 순방향으로 바뀌는 지점이다. 광전력이 증가하게 되면 역방향전류는 증가하므로 그만큼의 더 큰 바이어스를 필요로 하기 때문에 스파이크와 노치는 그림과 같이 오른쪽으로 이동하게 된다. 베이스 전류가 순방향으로 바뀌면 HPT는 광다이오드 특성으로부터 트랜지스터 고유의 증폭동작을 하게된다. 즉, 광생성된 정공은 베이스 전류에 더해져서 트랜지스터에 의해 증폭되게 된다.

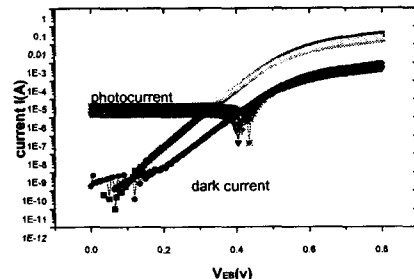


그림 2. 암실상태와 0.8, 2.4, 3.3uW의 전력으로 광 주입시의 InP/InGaAs HPT의 Gummel-plot특성변화.

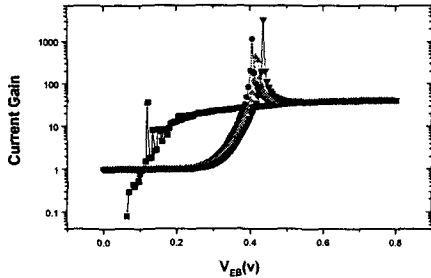


그림 3. 암실상태와 0.8, 2.4, 3.3uW의 전력으로 광 주입 시의 InP/InGaAs HPT의 전류이득 특성변화.

그림 4는 암실상태와 광전력(2.4uW)의 조사시에 InP/InGaAs HPT의 출력 특성을 보여준다. 베이스 전류 스텝을 5μA로 두어 측정하였으며, 에미터-베이스 내부전위를 offset시키기 위한 턴-온 전압은 약 0.2V를 나타냈다. 일반적으로 광 이득  $G$ 는 다음식과 같이 표현되어진다.

$$G = \frac{hc}{q\lambda} \frac{\Delta I_C}{P_{in}}$$

여기서  $hc/\lambda = h\nu$ 는 입사되는 광자에너지를 나타내고,  $\Delta I_C$ 는 암전류에 대한 입력 광전력  $P_{in}$ 에서의 광전류간의 증분을 나타낸다. 그림 5에서 3전극 구성 HPT의 베이스 전류에 대한 함수로써 표현된 광이득을 나타내었다. 베이스-에미터 바이어스가 증가함에 따라 양 HPT의 광이득은 증가하였다. 이 결과는 기존의 2전극 구성에 비해 HPT의 3전극 구성이 DC 이득 특성을 향상시킬수 있음을 확인할 수 있었다.

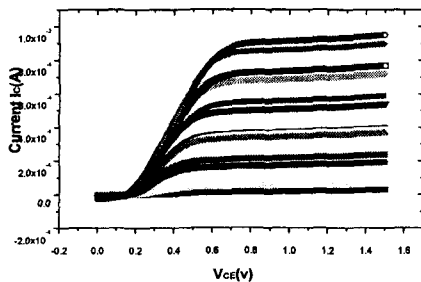


그림 4. 암실상태와 2.4uW의 광 주입시의 InP/InGaAs HPT의 공통에미터 출력특성.

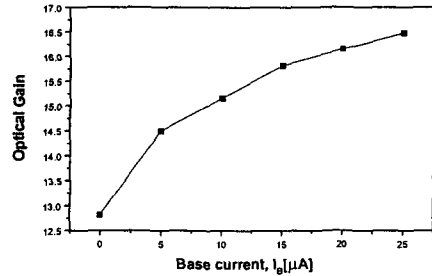


그림 5. 베이스 전류에 따른 InP/InGaAs HPT의 광 이득 변화.

그림 6에 에미터-베이스 전압에 따른 광이득의 변화를 나타내었다. 그림 3의 전류이득이 증가함에 따라 광이득도 마찬가지로 증가하게 된다. 이는 광이득 식을 추출하는데 사용되는  $G \approx \beta\eta$  라는 일반적인 표현으로부터 설명되어질 수 있다.

이러한 3전극 구성의 InP/InGaAs HPT는 기존의 2전극 구성의 HPT보다 높은 광이득을 가지며 이는 HPT의 광 반응성을 향상시킨다.

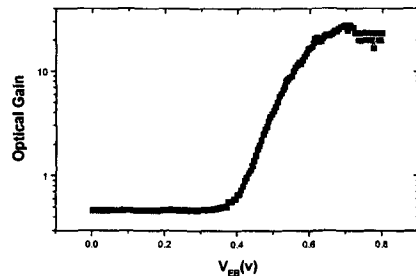


그림 6. 에미터-베이스 전압에 따른 광이득의 변화.

### III. 결론

InP/InGaAs HPT는 3전극 구성에서도 우수한 결과를 나타내었다. 따라서 InP-InGaAs 물질 시스템은 전자소자(HBT)로써 뿐만아니라 광검출기(HPT)로써도 우수한 특성을 나타내므로 장파장 광수신기 OEIC에 훌륭히 응용되어질 수 있을 것으로 사료된다. 또한 베이스 전극을 통해 외부 전류를 공급하는 3전극 구성에 의해 HPT의 광이득을 향상시킬수 있음을 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 2001년도 한국과학재단의 연구비지원

(R05-2000-000-00271-0(2002))에 의해 수행되었음.

### 참 고 문 헌

- [1] D. Huber, M. Bitter, T. Morf, C. Bergamaschi, H. Melchior and H. Jackel, A 46GHz Bandwidth Monolithic InP/InGaAs PIN/SHBT-Photoreceiver, Electron. Lett., vol. 35, pp. 40-41, 1999.
- [2] S. Chandrasekhar, L. M. Lunardi, A. H. Gnauck, R. A. Hamm, and G. J. Qua, High-Speed Monolithic p-i-n/HBT and HPT/HBT Photoreceivers Implemented with Simple Phototransistor Structure, IEEE Photon. Tech. Lett., vol. 5, pp. 1316-1318, 1993.
- [3] M. Rohner, Bo willn, and H. Hckel, Sub-fT Gain Resonance of InP/InGaAs HBTs IEEE Transaction on Electron Device, Vol.49, No.2, February 2002, pp.213-220
- [4] Shawn S.H Hsu and Dimitris Pavlidis, Low noise, High-Speed InP/InGaAs HBTs , Gallium Arsenide Integrated Circuit 2001, pp. 188-191