

## ITO 투명전극을 갖는 InP/InGaAs HPTs 제작

김용근, 장은숙, \*\*최병건, \*신주선, 성광수, 한교용  
영남대학교 전자공학과 광전자 연구실 \*옵토웨이, \*\* ETRI  
전화 : 053-810-2499 / 핸드폰 : 011-9596-7566

### Fabrication of InP/InGaAs HPT with ITO Transparent Emitter Contact

Yong Geun Kim, Eun Sook Jang,\*\* Byong Gun Choi, \*Ju Sun Shin  
Kyang Su Sung, Kyo Yong Han  
Dept. of Electronics Yeungnam University, \*\*ETRI, \*Optoway  
E-mail : avella1566@hanmail.net

#### Abstract

InP/InGaAs HPT's were fabricated by employing Indium Tin Oxide(ITO) transparent emitter contact. The device showed the current gain of 70 was obtained but the emitter series resistance was significantly increased. The electrical characteristics of the device were similar to HBT's. However  $V_{ceoff}$  was shifted the positive direction. Such a shift may be resulted from the formation of the Schottky barrier rather than the ohmic contact between ITO and n+ InP emitter.

#### I. 서론

III-V 족 화합물 반도체를 이용한 광전집적회로(OEICs)는 광학적 소자와 초고속 전자소자의 단일 집적화의 잠재적 이점으로 인해 많은 연구가 진행되어져 왔다. 지금까지는 p-i-n 포토다이오드와 전계효과트랜지스터(FET)로 이루어진 광전집적회로가 가장 우수한 성능을 나타내고 있다. 그러나 두 소자의 에피구조 차이로 인해 보다 복잡한 에피구조를 요구하게 되고 따라서 집적화의 구현에 많은 어려움이 제기되고 있다. 반면에 InP/InGaAs 기초로한 이중접합 포토트랜지스

터(HPT)의 경우 InGaAs의 좁은 에너지 밴드갭은 초고속 광통신 시스템에 이용되며 초고속 전자소자인 HBT와 집적화가 용이한 장점을 가지고 있다. HPT의 성능은 광신호와의 정렬에 의존하게 되며, 광신호 입사는 주로 후방 및 측면을 통해 이루어지므로 광신호 입사시 활성영역과의 정렬에 많은 어려움이 발생하게 되었다.[1] 이를 극복하기 위해 n+ type InGaAs 위에 Indium Tin Oxide(ITO)를 이용한 투명전극 이미터 HPT가 제안되었다. [2].

본 논문에서는 처음으로 n+ type InP 에미터 위에 Indium Tin Oxide (ITO) 투명전극을 형성하여 InP/InGaAs HPTs를 제작하였다. 제작된 소자는 프로브 스테이션을 이용하고, HP 4155 반도체 파라미터 분석기를 통해 전기적 특성을 측정하였다. 소자의 광학적 특성은 프로브 스테이션의 텅스텐 램프의 세기를 변화시켜 측정하였다.

#### III. InP/InGaAs HBT/HPT 설계 및 제작

본 연구에서 제작되어진 InP/InGaAs HPT는 결정방향 (100)인 InP 기판위에, 100 Å의 증착 InGaAs 버퍼층, 5000 Å의 n-type( $N_d=1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ) InGaAs 서브콜렉터층, 4000 Å의 n-type( $N_d=5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ ) InGaAs 콜렉

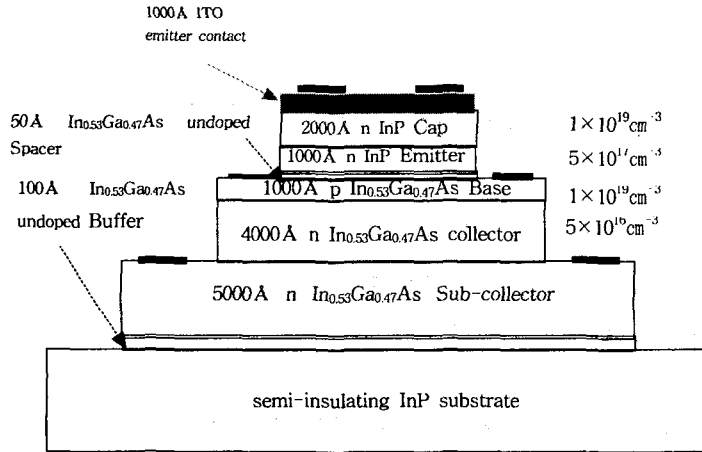


그림 1. ITO 투명전극을 갖는 InP/InGaAs HPT의 에피택셜층 구조와 단면도

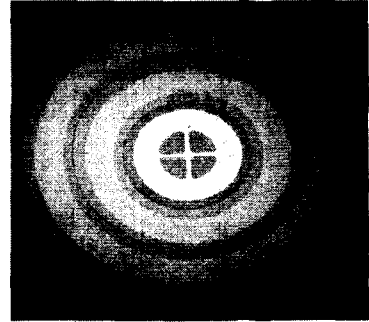


그림 2 ITO 투명전극을 갖는 InP/InGaAs HPT 상단사진

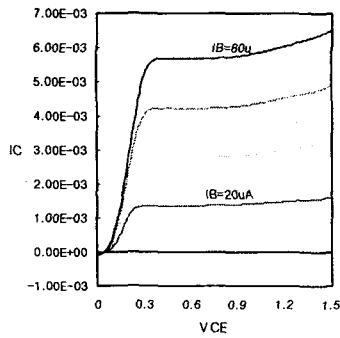


그림 3 InP/InGaAs HBTs와 DC 공통-이미터 콜렉터 전류-전압특성(IC-VCE) 특성 (IB= 0µA to 80µA step: 20µA)

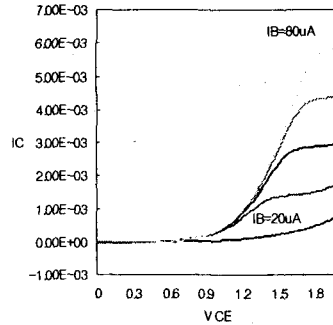


그림 4 ITO 투명전극을 갖는 InP/InGaAs HPTs와 DC 공통-이미터 콜렉터 전류-전압특성(IC-VCE) 특성 (IB= 0µA to 80µA step: 20µA)

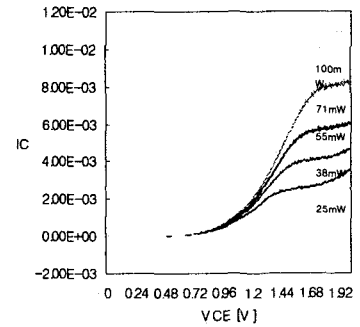


그림 5 광세기에 따른 ITO 투명전극을 갖는 InP/InGaAs HPTs와 DC 공통-이미터 콜렉터 전류-전압특성(IC-VCE) 특성 (IB= 0µA to 80µA step: 20µA)

터층, 1000Å의 P-type( $N_d=5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ) InGaAs 베이스층, 그리고 넓은 밴드갭 물질로서, 1000Å의 n-type ( $N_d=5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ) InP 에미터층 과 2000Å의 n-type( $N_d=1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ ) InP 에미터 캡층으로 영국 ICS사에서 성장하였다. 에미터의 InP층은 HPT에서  $1.3 \mu\text{m}$  장파장을 흡수하지 않기 때문에 윈도우로 사용된다. 그리고 에미터와 베이스 사이의 spacer층은 베이스 도펀트의 확산을 막아준다. 에미터 캡과 서브콜렉터는 저항성 접촉을 위해 도핑을 크게 하였다. 제작에 사용된 에피택셜 웨이퍼는 영국의 ICS사에서 제작되었다. 그림 1은 제작된 ITO 에미터 투명전극을 갖는 InP/InGaAs HPTs의 에피택셜 층구조와 단면도를 보여준다. HPT의 제작은 먼저, InP/InGaAs 기판 표면이 세척된 후,  $\text{H}_3\text{PO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}(1:2:1)$  용액에 의해 InP 표면이 약 100Å 정도 에칭되어지며,

$\text{NH}_3\text{OH} : \text{H}_2\text{O}(1:15)$  용액으로 자연산화막이 제거된다. 에미터 전극으로 사용될 ITO를 24W RF 전력으로 1시간 동안  $\text{H}_2$  분위기에서 스퍼터링하여 약 1000Å을 증착한다. 에미터, 베이스 그리고 콜렉터 영역을 형성하기 위해 습식식각을 하였다. ITO를  $\text{HF} : \text{H}_2\text{O}(1:1000)$  용액으로 에칭한다. 그리고 InGaAs와의 선택적 에칭을 위해, 상온에서 InP의 식각율이  $120 \text{Å/s}$  인  $\text{HCl} : \text{H}_3\text{PO}_4(1:1)$  용액에 1분간 에칭한다. 베이스와 콜렉터를 형성하고 있는 InGaAs 층은 InP와 선택적 에칭으로  $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}(1:8:100)$  용액에 의해 에칭된다. 에칭에 의해 형성된 에미터, 베이스 그리고 콜렉터의 mesa 구조에 저항성 금속전극을 형성한다. 먼저, 콜렉터의 n형 반도체를 위해 Au를 evaporation을 사용하여 1000Å 정도 증착한 후, lift-off 공정으로 전극을 형성한다. n형 반도체와 금속과의 보다 나은 저항성 접촉을 위해 Ar 분위기에서  $250^\circ\text{C}$ , 10분간 어닐

링하였다. 그러나 p형 반도체의 금속으로 사용되는 Au/Be 은 Be의 확산으로 인한 베이스-에미터 접합과 베이스-컬렉터 접합의 파괴를 막기위해 금속 증착후, 어닐링 공정은 진행하지 않았다. 또한 lift-off 공정으로 베이스 금속 전극이 형성되었다. ITO 에미터 전극으로 인한 InP/InGaAs HPT의 공통 에미터 컬렉터 전류-전압특성 변화를 관찰하기 위해 동일한 에피층 구조를 가지는 InP/InGaAs HBT를 동시에 제작하여 그 특성을 비교하였다. 그림 2은 실제로 제작된 ITO 투명전극 HPT의 사진을 보여주고 있다.

### III. 실험적 결과 및 고찰

InP/InGaAs HPT의 전기적인 특성을 HP-4155A를 사용하여 측정하였고, 텅스텐 램프를 이용하여 ITO 투명전극을 통한 빛의 전방 입사로 HPT의 광학적 특성을 측정하였다. 그림 3 은 InP/InGaAs HBT의 공통 에미터 컬렉터 전류-전압 특성을 나타내고 있다. 컬렉터 전류가 증가하기 시작하는 오프셋 전압 ( $V_{CEoffset}$ ) 은 0.07 V이고 전류이득은 컬렉터-에미터 전압  $V_{CE} = 0.6V$  에서 고정된 베이스전류  $60\mu A$  일때 70을 얻었다.

그림 4 는 n형 InP 에미터위에 ITO 투명전극이 형성된 HPT를 나타낸다. 오프셋 전압이 0.6V 까지 증가한 것을 나타내고 있다. 또한 ITO 증착후 소자의 전류이득은 고정된 베이스 전류  $60\mu A$ ,  $V_{CE} = 1.9V$ 에서 HPT의 순방향 전류이득은 71을 얻을수 있었다. 그림 5은 ITO 이미터 투명전극 InP/InGaAs HPT의 광세기에 따른 공통 이미터 전류-전압 특성을 보여주고 있다. 텅스텐 램프의 빛이 5가지의 세기로 입사되어지고 베이스 전류는 인가하지않았다. 광이 입사됨에 따라 베이스에서 빛이 흡수되어 전자-정공쌍이 형성되고 생성된 전자-정공쌍이 베이스의 전위를 증가 시켜 트랜지스터 특성을 나타내고 있다. 입사되는 빛의 세기가 증가함에 따라 흡수되는 광자수가 증가하고 베이스에서 더 많은 전자-정공쌍을 생성하여 전류 증가에 기여하므로써 높은 광학적 이득이 일어짐을 볼수 있다.[3] 그림 6 (a) 와 (b)는 InP/InGaAs HBT와 ITO 투명전극을 갖는 InP/InGaAs HPT의 에미터와 베이스 접합의 전류-전압특성을 나타내고 있다. turn-on 전압이 HBT에 비해 HPT의 값이 약 0.4V 정도에서 1V까지 상당히 증가하였음을 보여준다. 이것은 InP 에미터와 InGaAs 베이스의 접합에서보다 n형 InP 에미터와 ITO의 계면에서 트랜지스터 동작에 더 큰 영향을 미치는 장벽이 형성되었다고 생각된다. [4]-[6]

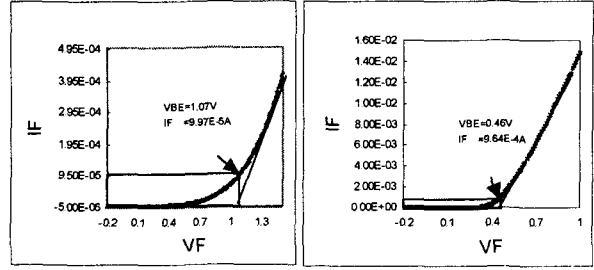


그림. 6 (a) , (b) InP/InGaAs HBTs와 ITO 투명전극을 갖는 InP/InGaAs HPTs 의 베이스-에미터 접합의 전류-전압 특성(I-V) 특성

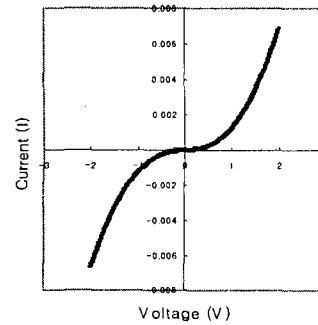


그림. 7 ITO 와 n+ InP 에미터 접합의 전류 전압특성

이것을 설명해주는 그림 7은 ITO와 n형 InP 에미터 접합에서의 전류-전압특성을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 ITO와 n형 InP 에미터 접합은 정류성 접촉형성을 보여주고 있다.

### IV. 결론

제작된 InP/InGaAs HBT/HPT의 전기적 특성을 측정 한 결과 HBT와 HPT의 전류이득은 각각 70, 71 로써 큰 차이를 나타내지않았다. 그러나, InP/InGaAs HBT의 0.07V 비해 상당히 증가하였다. 그 값은 오프셋 전압이 0.6V를 나타내었으며, 이것은 n형 InP 에미터와 ITO 계면에 정류성 접촉이 이루어졌기 때문에 나타난 결과라 생각된다. ITO의 증착으로 인한 에미터 직렬저항의 증가로 인해 컬렉터 - 에미터 전압이 활성 영역에 이르기 위한 포화전압( $V_{CESat}$ )이 1.8V 까지 증가하였다. 또한 에미터에 ITO 투명전극을 통하여 입사된 광에 의한 HPT의 공통 에미터 컬렉터 전류-전압 특성에서 컬렉터 전류가 증가하였다.

본 연구에서는 ITO와 에너지 밴드갭이 넓은 n형 InP

에미터 계면에 저항성 접촉을 형성시킨다면 광전집적 회로에서의 초고속 전자소자로써의 역할과 우수한 광 수신소자로써 응용될 수 있다고 생각한다.

참고문헌

- [1] H. Fukano, Member, IEEE, Y. Takanashi, Member, IEEE, and M. Fujimoto, Member, IEEE " High-Speed InP-InGaAs Heterojunction Phototransistors Employing a Monalloyed Electrode Metal as a Reflector". IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 30. No. 12. December 1994
- [2] Shabbir A. Bashar and Ali A. Rezadeh, Member, IEEE "Optically Transparent ITO Emitter Contacts in the Fabrication of InP/InGaAs HPT's". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. Vol 43, No. 9, September 1995
- [3] A. Bandyopadhyay, S. Subramanian, Member, IEEE, S. Chandrasekhar, Member, IEEE, Andrew G. Dentai, Fellow, IEEE, and Stephen M. Goodnick, Senior Member, IEEE "Degradation of DC characteristics of InGaAs/InP Single Hetrojunction Bipolar Transistors Under Electron Irradiation" IEEE Transactions on Electron Devices. Vol. 46 No. 5 May 1999
- [4] David Caffin, A.-M. Duchenois, F. Heliot, C. Besombes, Jean-Louis Benchimol, and P. Launay " Base-Collector Leakage Currents in InP/InGaAs Double Heterojunction Bipolar Transistors." IEEE Transactions on Electron Devices Vol.44, No. 6, June 1977
- [5] A. Salehi "Effects of thermal treatment in ITO/GaAs contacts" Electronics Letters 20th August 1998 Vol. 34 No. 17
- [6] M. R. Park, W. A. Anderson, M. Jeon, H. Luo " Ohmic contacts to n-type and p-type ZnSe". Solid-State Electronics 43 (1999) 113-121