

論文2002-39SD-10-3

ITO 에미터 전극을 갖는 InP/InGaAs HPT의 DC 특성

(The DC Characteristics of InP/InGaAs HPT's with ITO Emitter Contacts)

姜旻秀*, 韓教龍**

(Min-Su Kang and Kyo-yong Han)

요 약

본 논문에서는 광학적으로 투명한 ITO를 에미터 전극을 갖는 InP/InGaAs HPT를 제작하였고 제작된 HPT의 전기적 특성을 분석하기 위해 확장된 Ebers-Moll 방정식을 이용하여 DC 모델파라미터들을 추출하였다. 또한 초고속 전자소자로서 사용되어지는 InP/InGaAs HBT를 제작하여 그 전기적 특성을 HPT와 비교하였다. 제작된 HPT의 에미터 접촉 저항(RE)값이 6.4Ω 으로 HBT와 거의 동일함은 물론 HPT의 모든 DC 모델 파라미터들이 HBT와 유사함을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, we fabricated heterojunction phototransistors(HPT's) with optically transparent ITO emitter contacts. Heterojunction transistors(HBT's) having the same device layout were fabricated to compare with HPT's. The model parameters of the devices were extracted and compared. Emitter contact resistance(RE) of the HPT was about 6.4Ω , which was very similar to that of HBT and the other DC model parameters of the InP/InGaAs HPT showed the similarities to those of the HBT.

I. 서 론

인터넷 그리고 휴대 전화의 급속한 보급에 따라 통신 네트워크의 통신 용량이 비약적으로 증가하고, 그 결과 광통신 장치용 IC의 대용량화, 소형화, 저가격화 등이 요구되어지고 있다. 이러한 요구에 부합하기 위해서는 광통신 장치용 IC를 구성하는 초고속 전자소자와 광 수신소자의 집적화를 필요로 한다.

이종접합 포토 트랜지스터(HPT)는 InP와 격자상수가 같은 InGaAs($E_g=0.75$) 베이스의 낮은 밴드갭의 특

성 때문에 광통신 시스템($1.3\mu\text{m}$ - $1.55\mu\text{m}$)의 광 수신 소자로 이용이 가능하고, 초고속 전자소자인 이종 접합 쌍극성 트랜지스터(HBT)와 소자구조 및 제작 공정이 매우 유사함으로 HBT와 집적화가 용이하다.^[1,2] 광 수신소자 HPT의 와의 패키징에 의존한다. HPT의 경우 광 신호는 후방입사 또는 광 도파관을 통한 측면 입사가 이루어져 왔다.^[3] 그러나 광 신호와 소자 활성영역과의 정렬에 많은 문제점들이 발생하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 전방입사가 가능한 투명전극 에미터 HPT가 제안되었고, n^+ -InGaAs 에미터캡 층위에 ITO를 증착하여 제작되었다.^[4]

그러나 InGaAs 층은 입사되는 광 신호를 흡수하고, 에피 구조 및 제작공정을 보다 복잡하게 한다. 보다 단순한 에피 구조 및 제작 공정을 위해, 본 연구진은 에너지 밴드갭이 상대적으로 큰 n^+ -InP 에미터캡 층위에 ITO를 증착하여 음 접촉을 형성하는 연구를 진행하여 왔으며, 이러한 투명전극의 제작공정이 HPT의 DC 특성에 미치는 영향을 Ebers-Moll의 확장된 방정식을 이

* 正會員, LG電子

(LG Electronics Industries Co. Ltd)

** 正會員, 嶺南大學校 電子情報工學部

(School. of Electrical Engineering and Computer Science Yeungnam University)

接受日字:2002年2月15日, 수정완료일:2002年9月30日

용하여 모델 파라미터를 추출하고, 비교 분석하여 왔다.

본 논문에서는 n⁻-InP 에미터캡층 위에 ITO 투명전극을 갖는 InP/InGaAs HPT를 제작하여, 그 특성을 측정하고, Ebers-Moll의 확장된 방정식을 이용하여 모델 파라미터를 추출하여, ITO 투명전극을 형성하는 제작 공정이 소자특성에 미치는 영향을 비교 분석하였다. 또한 추출된 모델의 적정성을 증명하기 위해 SPICE 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 HBT와의 집적화를 위해 동일한 에피층 구조를 가진 금속전극을 갖는 InP/InGaAs HBT를 동시에 제작하여, 그 특성을 분석함으로써, 매우 유사한 전기적 특성을 갖는 HPT와 HBT가 집적화 될 수 있음을 증명하였다.

II. 실험

InP/InGaAs HPT 소자 제작은 일반적인 포토 리소 그라피 공정과 습식 에칭 공정을 통하여 제작되었다. InP/InGaAs HPT 에피택셜 웨이퍼는 영국 ICS (Integrated Compound Semiconductor, Ltd)사에서 결정 성장한 것을 사용하였다. 실험에 사용된 InP/InGaAs 웨이퍼 에피 구조의 특징을 보면, 금속 전극과의 음 접촉을 위해 InGaAs 베이스층은 $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 로 고농도로 도핑되었다. 에미터층은 $1.3 \mu\text{m}$ 파장의 빛에 투명한 InP로 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 로 도핑되었다. 그리고 ITO와 음 접촉 형성을 위해 보다 높은 도핑 농도를 갖는 2000 Å의 n⁻-type ($N_d = 1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$) InP 에미터캡 층을 성장하였다. 그림 1에서 InP/InGaAs HPT의 에피택셜층 구조를 상세히 나타내었다.

n-type InP, $1 \times e19$, 2000 Å Cap
n-type InP, $5 \times e17$, 1000 Å Emitter
Undoped $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$, 50 Å Spacer
p-type $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$, $1 \times e19$, 1000 Å Base
n-type $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$, $5 \times e16$ 4000 Å Collector
n-type $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$, $1 \times e19$ 5000 Å Sub-collector
Undoped $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ 100 Å Buffer
S-I InP Substrate

그림 1. InP/InGaAs HBT/HPT의 에피택셜층 구조
Fig. 1. Epitaxial profile of an InP/InGaAs HBT/HPT.

HPT 제작공정은 먼저, ITO를 에미터 위에 증착하기 전에 ITO와 InP 에미터 층과의 음 접촉 형성을 위하여 인듐을 열 진공증착기(evaporator)로 n⁻-type InP 표면 에 100 Å 두께로 진공 증착하였다. 순도가 99.99%인 $\text{In}_2\text{O}_3(90)\text{SnO}_2(10)\text{wt}\%$ 조성의 ITO 타겟을 사용하였으며, 챔버의 베이스 압력을 5×10^{-5} torr로 감소시키고, Ar/H₂ 혼합가스를 주입하여 챔버 압력을 5×10^{-3} torr가 되도록 하였다. 13.56 MHz의 RF-제너레이터를 이용하여 24W의 RF-파워를 인가한 후, 공정압력을 7×10^{-3} torr로 유지하면서, 상온에서 40분간 약 1000 Å 두께의 ITO를 스퍼터링 방법으로 증착하였다. ITO 전극 패턴은 HF:H₂O(1:1000) 용액에 3분 동안 에칭공정을 통하여 형성한 후, ITO와 n⁻-InP 계면의 음 접촉 형성을 위해 250°C에서 1시간 동안 전기로를 이용하여 열처리를 하였다. 에미터, 베이스, 그리고 콜렉트 영역을 형성하기 위해, 에미터의 InP는 InGaAs와 선택적 에칭 용액인 HCl:H₃PO₄(1:1) 용액에 45초간 메사에칭을 하였다. 베이스와 콜렉트 영역의 InGaAs는 H₂SO₄ : H₂O₂ : H₂O(1:8:100) 용액을 사용하여 각각 90초간 습식 메사 에칭이 이루어진다. 에미터, 베이스 그리고 콜렉터의 전극은 에미터와 콜렉트는 Au를 베이스에는 AuZn를 열 진공증착기로 증착하였고, 전극패턴은 lift-off 공정에 의해 형성하였다. 반도체와 금속물질과의 음 접촉 형성을 위해 250°C, 10분간 열처리를 하였다. 그리고 제작된 HPT의 전기적 특성을 비교하기 위해, 동일한 조건 하에서 금속을 에미터 전극으로 사용하는 HBT를 제작하였다. HBT 제작은 HPT의 인듐 진공증착과 ITO 스퍼터링 공정을 제외한 모든 공정이 HPT와 동일하게 이루어졌다. 제작된 HBT와 HPT's의 전기적 특성측정은 HP-4155A 파라미터 분석기를 사용하였다.

III. DC 특성 분석

1. 순방향 활성화 모드에서의 Gummel Plots

InP/InGaAs HPT의 공통 에미터 DC 콜렉터 전류-전압 특성을 구체적으로 기술하기 위해, 본 연구에서는 확장된 Ebers-Moll 방정식을 적용하여 HBT와 HPT의 전류 특성을 비교 분석하였다. 순방향 활성화 모드 Gummel-plots 측정에서는 베이스와 콜렉터 접합이 단락된 상태(VBC=0)에서 베이스와 에미터 전압(VBE)의 함수로써 콜렉트 전류 I_c 와 베이스 전류 I_B 를 측정한다.

베이스 전류에 기여하는 전류성분은 에미터로부터 주입된 전자들이 에미터와 베이스의 이종접합을 통과할 때, 에미터와 베이스 접합의 공간전하영역에서와 접합의 가장자리에서 겪는 재결합의 요소와 베이스 중성영역과 베이스 표면에서 겪게되는 재결합 요소의 두가지로 정의되어지며 식 (1)로 표현한다.

$$I_B = I_{SE} \exp\left(q \frac{V_{BE} - I_E R_E - I_B R_B}{N_E kT}\right) + \frac{I_S}{\beta_F} \exp\left(q \frac{V_{BE} - I_E R_E - I_B R_B}{N_F kT}\right) \quad (1)$$

재결합을 겪지 않은 전자들은 콜렉터 전류(IC)로써 베이스-콜렉터 접합에 모이게 된다. 콜렉트 전류(IC)는 식 (2)로 표현된다.

$$I_C = I_S \exp\left(q \frac{V_{BE} - I_E R_E - I_B R_B}{N_F kT}\right) \quad (2)$$

위의 전류 방정식과 관련된 N_F , N_E 는 낮은 전압영역에서 $\log I_C, I_B - V_{BE}$ plot의 기울기로부터 추출한다. I_{SE} 와 I_S 는 $\log(I_C), (I_B)$ 축과 $V_{BE}=0$ 인 값에 외삽된 선에 의해 결정한다.

그림 2는 ITO만 증착하고 열처리한 HPT(점선)와 ITO와 n⁻-type InP계면에 인듐을 증착하고, 열처리한 HPT(실선)의 순방향 활성화모드에서 측정된 Gummel plots 이고, 그림 3은 InP/InGaAs HBT(점선)와 ITO와 n⁻-type InP 계면에 인듐을 증착하고, 열처리한

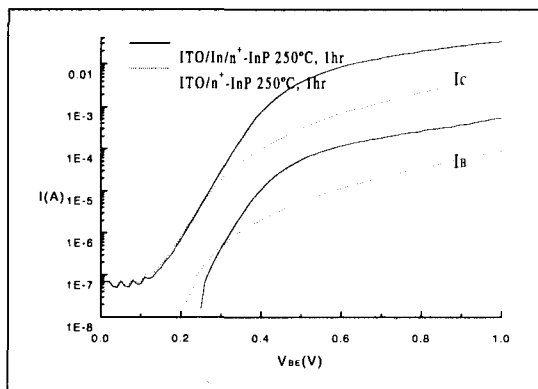


그림 2. 측정된 HPT's 순방향 활성화모드에서의 Gummel plots
Fig. 2. Measured Gummel plots for an InP/InGaAs HPT's in the forward mode.

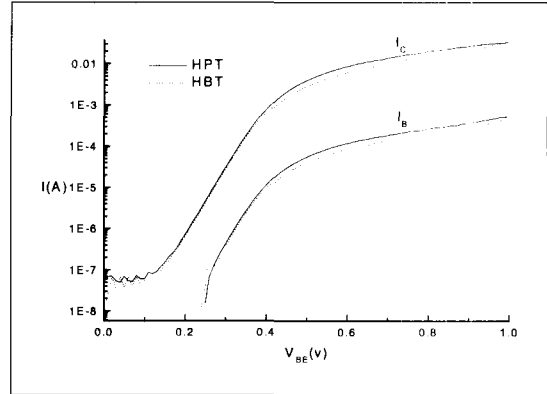


그림 3. HBT's(점선)과 HPT's(실선)의 측정된 순방향 활성화모드의 Gummel plots
Fig. 3. Measured Gummel plots for HBT's(dashed lines) and HPT's(solid lines) in the forward mode.

InP/InGaAs HPT's의 순방향 활성화모드에서 측정된 Gummel plots이다.

그림 2에서 ITO만 증착하고 열처리한 HPT's의 전류 곡선이 ITO와 n⁻-type InP 계면에 인듐을 증착하고 열처리한 HPT에 비해 약 0.3V 이상의 베이스-에미터 (V_{BE}) 전압영역에서 낮은 전류의 흐름을 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 ITO만 증착하고 열처리한 HPT의 에미터 접촉저항(R_E)이 인듐을 ITO와 n⁻-type InP 계면에 증착하고 제작된 HPT's에 비해 상당히 크다는 것을 나타낸다. Au을 에미터 전극으로 사용한 HBT's와 ITO와 n⁻-type InP 계면에 인듐을 증착하고 열처리한 HPT's의 순방향 활성화모드에서의 Gummel plots을 비교한 그림 3에서는 HPT's와 HBT's 모두 거의 동일한 전류-전압 특성을 나타내고 있다. 인듐을 ITO와 n⁻-type InP 계면에 증착하고 제작된 HPT's의 에미터 접촉 저항(R_E)이 Au을 에미터 전극으로 사용한 HBT's의 에미터 접촉 저항(R_E)과 거의 동일함을 알 수 있다.

2. 역방향 활성화 모드에서의 Gummel plots

역방향 모드에서 Gummel plot 측정에서는 베이스와 에미터 접합이 단락된 상태($V_{BE}=0$)에서 베이스와 콜렉터 전압(V_{BC}) 함수로써 에미터 전류(I_E)와 베이스 전류(I_B)를 측정한다. 베이스-콜렉트 접합의 순바이어스된 전류는 주로 고농도로 도핑된 베이스에서 콜렉트로 주입되는 정공에 의한 것이다. 콜렉트에서 베이스로 주입되는 전자가 베이스-콜렉트 접합의 순바이어스 전류에 기여하는 바는 극히 작다. 콜렉트에서 베이스로 주입되

어지는 대부분의 전자는 베이스 접촉에 의해 모인다. 그로 인해 베이스 접촉에 모여지지 않거나 베이스 영역에서 재결합 하지 않은 전자들이 에미터에 모여 에미터 전류(I_E)를 형성하게 된다. 베이스 콜렉트 전압의 함수로써 I_E 는 식(3)가 같이 표현된다.

$$I_E = I_{SR} \exp\left(q \frac{V_{BC} - I_C R_C - I_B R_B}{N_R k T}\right) \quad (3)$$

베이스 전류 성분은 식(4) 표현되었다.

$$I_B = I_{SC} \exp\left(q \frac{V_{BC} - I_C R_C - I_B R_B}{N_C k T}\right) + \frac{I_{SR}}{\beta_R} \exp\left(q \frac{V_{BC} - I_C R_C - I_B R_B}{N_R k T}\right) \quad (4)$$

그림 4는 ITO만 증착하고 열처리한 HPT(점선)와 ITO와 n⁺-type InP계면에 인듐을 증착하고 열처리한 HPT(실선)의 역방향 활성화모드에서 측정된 Gummel plots 이고, 그림 5는 InP/InGaAs HBT(점선)와 ITO와 n⁺-type InP계면에 인듐을 증착하고 열처리한 InP/InGaAs HPT의 순방향 활성화모드에서 측정된 Gummel plots이다.

그림 4와 5에서 ITO만 증착하고 열처리한 HPT와 인듐 증착 공정을 한 HPT 그리고 Au을 에미터 전극으로 사용한 HBT 모두 거의 동일한 전류-전압 특성 곡선을 나타내고 있다. HPT's의 제작공정에서 에미터 전극으로 사용한 ITO가 역방향 활성화모드 Gummel plots의 전류흐름에 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

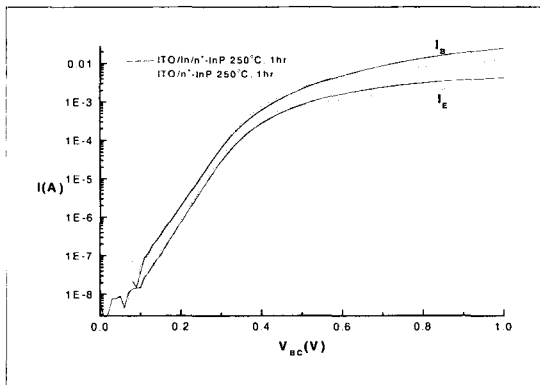


그림 4. 측정된 HPT's의 역방향 활성화모드에서의 Gummel plots

Fig. 4. Measured Gummel plots for InP/InGaAs HPT's in the reverse mode.

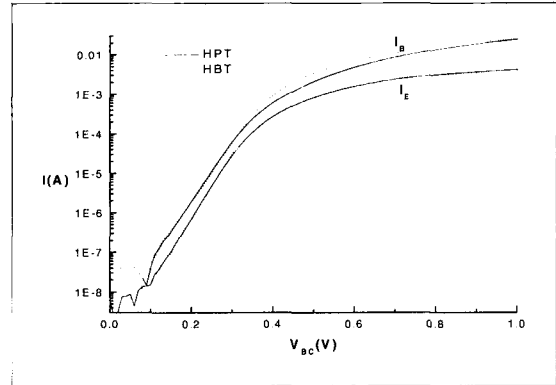


그림 5. HBT's(점선)과 HPT's(실선)의 측정된 Gummel plots

Fig. 5. Measured Gummel plots for HBT's(dashed lines) and HPT's(solid lines) in the reverse mode.

3. 콜렉트 전류-전압 특성

여기서 우리는 3.1절과 3.2절에서 설명했던 모델 파라미터들이 어떻게 공통 에미터 콜렉터 전류-전압 특성을 계산하는데 사용되는지를 나타낸다. 낮은 콜렉터-에미터 전압영역에서는 베이스-에미터 접합과 베이스-콜렉터 접합이 모두 순방향으로 바이어스 되어있다. 콜렉터-에미터 전압이 증가함에 따라 베이스-콜렉터 접합에 순 방향으로 바이어스된 전압은 점차로 감소하고, 베이스-에미터 접합에 순 방향으로 바이어스된 전압은 점차로 증가하면서 콜렉터 전류는 빠르게 증가하게 된다. 이러한 구간을 포화영역이라 한다. 포화영역에서 콜렉터 전류 I_C 는 식(5)와 같다.

$$I_C = I_S \exp\left(q \frac{V_{BE} - I_E R_E - I_B R_B}{N_F k T}\right) - I_{SC} \exp\left(q \frac{V_{BC} - I_C R_C - I_B R_B}{N_C k T}\right) - I_{SR} \exp\left(q \frac{V_{BC} - I_C R_C - I_B R_B}{N_R k T}\right) \quad (5)$$

식(5)에서 오른쪽 첫 번째 항은 에미터로부터 주입된 캐리어에 의한 전류를 나타낸다. 그리고 두 번째, 세 번째 항은 순방향으로 바이어스된 콜렉터-베이스 접합의 총 전류를 나타낸다.

활성영역에서의 공통 에미터-콜렉트 전류-전압 특성은 에미터-콜렉트 전압(V_{CE})이 계속 증가함에 따라, 어떤 에미터-콜렉트 전압구간에서 베이스-콜렉트 접합의

전압이 역방향으로 바이어스 되어진다. 이때 컬렉트 전류(I_c)는 식(5)의 첫 번째 항으로만 나타내어 진다.

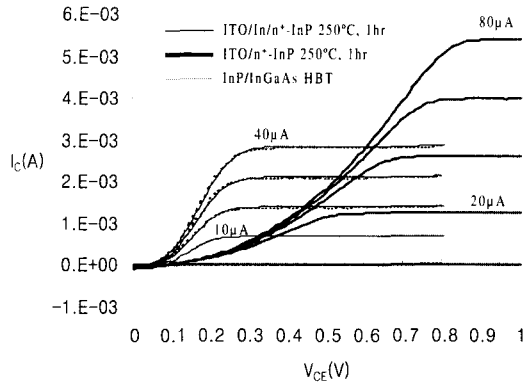


그림 6. ITO를 에미터 전극으로 사용한 InP/InGaAs HPT's와 InP/InGaAs HBT's의 공통 에미터-컬렉트 전류-전압 특성 곡선

Fig. 6. Collector I-V characteristics of the measured InP/InGaAs HPT's with ITO contacts and InP/InGaAs HBT's

그림 6은 ITO만 증착하고 열처리한 HPT(굵은 실선)와 ITO와 n'-type InP 계면에 인듐을 증착하고 열처리한 HPT(실선), 그리고 InP/InGaAs HBT(점선)의 공통 에미터 컬렉트 전류-전압 특성곡선을 나타낸 것이다. 그림 6에서 HBT's와 인듐 증착 공정을 한 HPT는 거의 동일한 전류-전압 특성을 나타내고 있으며, 인듐 증착 공정을 하지 않고 제작된 HPT's는 포화영역에서 기울기가 상당히 완만하다는 것을 알 수 있다. 이러한 포화영역에서 전류-전압특성의 기울기는 N_E , N_E , N_R 그리고 N_C 또한 R_E 와 R_C 에 의존한다. 여기서 인듐 증착 공정을 하지 않고 제작된 HPT의 포화영역에서 기울기가 완만한 것은 3.1절과 3.2절에서 설명했듯이 에미터 접촉 저항(R_E)이 상당히 크기 때문이다. 즉 ITO만 증착하고 열처리한 HPT는 ITO와 n'-type InP간에 음 접촉이 형성되지 않았기 때문이다. 측정된 순방향 활성모드와 역방향 모드에서 Gummel plots에서 추출된 모델 파라미터 값들은 IV장에서 다루었다.

IV. 결과 및 토의

II장에서 설명되어진 모델 파라미터 추출 과정은 InP/InGaAs HBT와 ITO를 투명전극으로 하는

InP/InGaAs HPT의 DC 특성 분석하는데 사용되어진다.

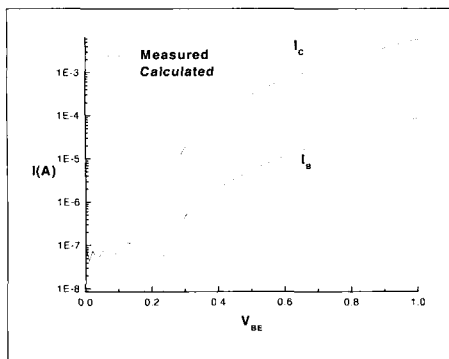
표 1. HBT's 와 ITO를 투명전극으로 하는 HPT's의 DC 파라미터

Table 1. Values of model parameter for InP/InGaAs HBT's and InP/InGaAs HPT's with emitter contacts.

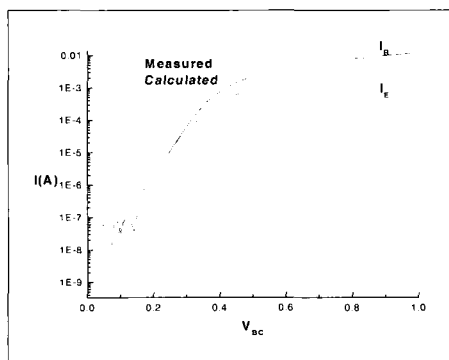
DC 파라미터	InP/InGaAs HPT's with ITO contact	InP/InGaAs HPT's with ITO/In contacts	InP/GaAs HBT's with Au contacts
I_S	4.08E-10	4.73E-10	4.38E-10
N_F	1.07	1.047	1.05
N_R	1.04	1.05	1.02
I_{SE}	2.38E-10	8.52E-11	6.72E-11
N_E	1.7	1.65	1.62
I_{SC}	6.32E-9	6.91E-9	1.75E-9
N_C	1.65	1.66	1.65
β_F	74	74	74
β_R	0.45	0.461	0.55
R_E	90	6.4	7
R_B	11	4.6	5
R_C	9	4.4	4

표 1은 순방향 모드 Gummel plots과 역방향 모드 Gummel plots에서 추출되어진 InP/InGaAs HBT 와 ITO를 투명전극으로 하는 InP/InGaAs HPT의 모델 파라미터들이다. 순방향 활성모드의 측정된 Gummel plots에서 InP/InGaAs HBT/HPT의 베이스-에미터 접합에 관련된 모델 파라미터들 I_{SE} , I_S , N_E , N_F , 그리고 R_B 와 R_E 가 추출되었다. 역방향 활성모드에서는 베이스와 컬렉트에 관련된 모델 파라미터 I_{SR} , I_{SC} , N_R , N_C 그리고 R_C 를 추출했다.

그림 7은 ITO만 증착하고 열처리하여 제작된 HPT의 순방향, 역방향 모드의 Gummel-plots을 표 1의 모델 파라미터를 적용하여 계산한 값과 측정값을 비교한 것이다.



(a)



(b)

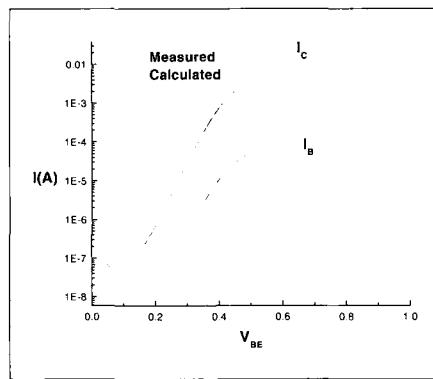
그림 7. ITO만 증착하고 열처리한 InP/InGaAs HPT's 의 순방향 모드(a), 역방향 모드(b)에서의 Gummel Plots을 측정된 값(실선)과 계산된 값
Fig. 7. Measured (solid lines) and calculated (dashed lines) Gummel plots for InP/InGaAs HPT's with ITO emitter contacts in forward mode(a) and reverse mode(b).

그림 7에서 ITO만 증착하고 열처리하여 제작된 HPT의 순방향 모드에서 추출되어진 N_E 값은 이상적인 값 1에 가까운 값을 가졌고, 베이스 에미터 누설 방출 계수, N_E 값이 1.7로 이중 접합 HPT/HBT 소자의 허용된 범위 안의 값이 추출되어졌다. N_E 는 동종 접합의 경우 1의 값을 가지나, 일반적인 이중 접합 HPT/HBT 소자의 경우 1.4에서 2사이의 값을 가지게 된다.^[7,8] 그러나 순방향 모드 Gummel plots에서 높은 베이스-에미터 전압 영역에서 추출된 에미터 접촉 저항(R_E)이 90 Ω 으로 제작된 HBT의 에미터 접촉저항에 비해 상당히 크다. 이것은 ITO와 n⁻InP간에 옴 접촉이 형성되지 않았기 때문이다. 또한 그림 7의(a)에서 중간 전압영역 부근에서 측정된 값과 계산된 값의 차이는 에미터 접촉 저항이 처음 낮은 전압 영역에서는 상당히 높다가

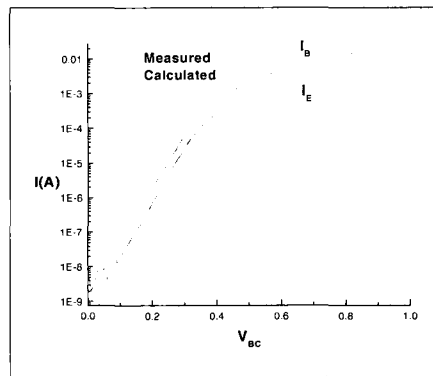
전압이 증가함에 따라 에미터 접촉 저항이 줄어드는 쇼트키 접촉이 형성되었기 때문이다. 계산된 에미터 접촉 저항값은 높은 전압영역에서 추출된 상수값이다.

역방향 모드 Gummel plots과 관련된 모델 파라미터 들은 HBT의 것과 비교했을 때 큰 차이값을 이루지는 않았다.

그림 8은 ITO와 n⁻InP 계면에 인듐을 증착하고 열처리하여 제작된 HPT의 순방향, 역방향 모드의 Gummel plots을 계산한 값과 측정된 값을 비교한 것이고, 그림 9는 HBT의 순방향, 역방향 모드의 Gummel plots을 계산한 값과 측정된 값을 나타내고 있다.



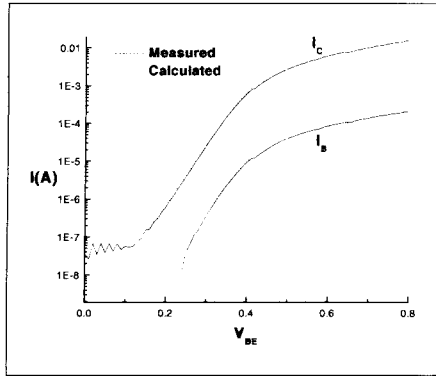
(a)



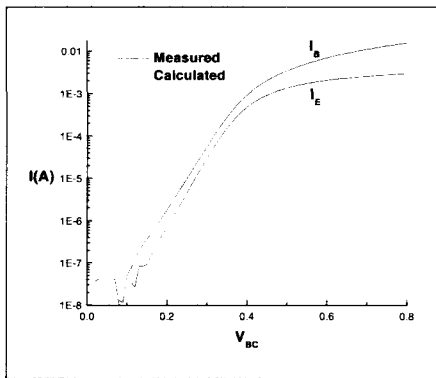
(b)

그림 8. ITO와 n⁻InP 계면에 Indium을 증착하고 열처리한 HPT's의 순방향 모드(a), 역방향 모드(b)에서의 Gummel plots을 측정된 값(실선)과 계산한 값

Fig. 8. Measured (solid lines) and calculated (dashed lines) Gummel plots for InP/InGaAs HPT's with ITO/In emitter contacts in forward mode(a) and reverse mode(b).



(a)



(b)

그림 9. InP/InGaAs HBT's의 순방향 모드(a), 역방향 모드(b)에서 측정된 결과(실선)와 계산(점선)된 Gummel plots

Fig. 9. Measured(solid lines) and calculated(dashed lines) Gummel plots for InP/InGaAs HBT's in forward mode(a) and reverse mode(b).

표 1에서 ITO와 n⁺-InP 계면에 인듐을 증착하고 열처리한 HPT 와 HBT의 순방향, 역방향 모드 Gummel plots에서 추출된 모델 파라미터들은 거의 동일함을 알 수 있고, 그림 8과 9에서는 이렇게 추출된 모델 파라미터들을 가지고 계산한 결과와 측정된 결과가 매우 일치함을 알 수 있다. 특히 이렇게 제작된 HPT의 에미터 저항(R_E)이 6.4Ω으로 HBT's와 거의 동일하였고, 인듐을 증착하지 않고 제작된 HPT에 비해 에미터 접촉저항이 크게 개선되었음을 알 수 있었다. 또한 그림 8의 (a)에서 에미터 접촉 저항의 영향을 받는 중간 전압영역에서의 측정된 전류값과 계산된 전류값이 거의 동일하였다. 이것은 HPT 제작에서 ITO와 n⁺-InP 간의 옴 접촉특성을 나타냄을 알 수 있다.

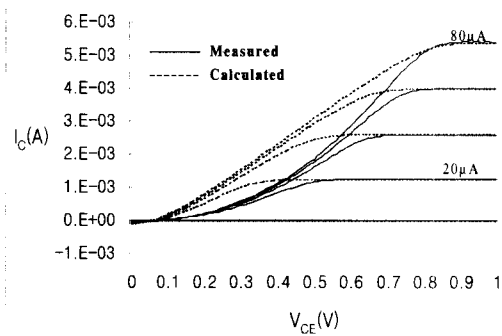
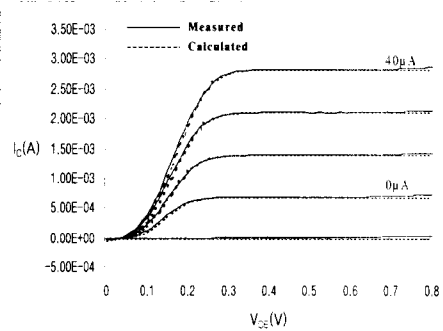
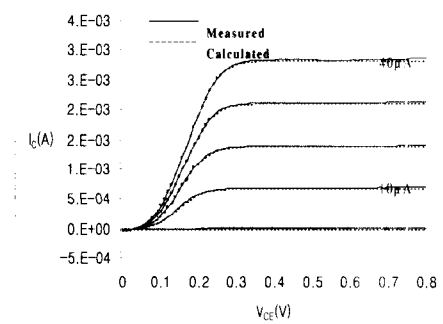


그림 10. ITO만 증착하고 열처리한 HPT's의 컬렉트 전류-전압 특성곡선의 측정된 결과와 계산된 결과

Fig. 10. Collector I-V characteristics of the measured(solid lines) and the calculated (dashed lines) HPT's with ITO emitter contacts.



(a)



(b)

그림 11. HBT's(a) 와 ITO와 n⁺-InP 계면에 Indium을 증착하고 열처리한 HPT's(b)의 컬렉트 전류-전압 특성곡선의 측정된 결과와 계산된 결과

Fig. 11. Collector I-V characteristics of the measured(solid lines) and the calculated (dashed lines) HBT's(a)/HPT's with ITO/In emitter contacts(b).

그림 10은 ITO만 증착하고 열처리한 HPT의 측정된 콜렉트 공통 에미터-콜렉트 전류 전압 특성과 계산된 값을 비교한 것이다.

그림 10에서 포화영역에서 측정된 결과와 계산된 결과의 불일치는 그림 7의 (a)에서 설명한 ITO와 n⁺-InP의 shottky 접촉 특성에 의한 결과이다. 그림 11는 HBT와 인듐 증착을 한 HPT의 측정된 공통 에미터-콜렉트 전류 전압 특성을 계산된 값과 나타내었다. 계산된 결과와 측정된 결과가 거의 동일하다는 것을 알 수 있다. 본 논문에서 ITO와 n⁺-InP 계면에 인듐을 증착하고 제작된 HPT는 HBT와 거의 동일한 DC특성을 나타내었다. 이것은 ITO와 n⁺-InP 에미터와 음 접촉형성이 성공적으로 이루어진 결과로 볼 수 있다.

V. 결 론

n⁺-InP 에미터 위에 ITO 투명전극을 갖는 InP/InGaAs HPT와 동일한 에피층 구조를 갖는 HBT를 동시에 제작하고, Ebers-Moll의 확장된 방정식을 이용하여 모델 파라미터를 추출하였다. 추출된 모델 파라미터를 이용하여, ITO 투명전극을 형성하는 제작 공정이 소자특성에 미치는 영향을 비교 분석하였다. 또한 추출된 모델의 적정성을 증명하기 위해 SPICE 시뮬레이션을 수행하였다. HPT 제작은 ITO만 n⁺-InP(에미터 영역)에 증착하고 열처리한 HPT와 ITO와 n⁺-InP 계면에 인듐을 증착하고, 열처리한 HPT를 제작하였다. ITO만 증착하고 열처리한 HPT와 ITO와 n⁺-InP 계면에 인듐을 증착하고 열처리한 HPT의 모델 파라미터를 비교했을 때, 순방향 활성모드에서 추출한 에미터 접촉 저항(RE)이 전자는 90Ω, 후자는 6.4Ω으로 가장 큰 차이를 이루었다. 인듐을 ITO와 n⁺-InP 계면에 증착함으로써 음 접촉이 성공적으로 형성되고, 접촉 저항이 상당히 개선되어짐을 알 수 있었다. 후자의 경우로 제작된 HPT를 HBT와 비교했을 때, 오픈 전압이 모두 0.04V, 에미터 저항(R_E)의 값이 7Ω에 가까운 값을 가졌다. 전체적인 DC특성이 HBT와 거의 동일한 경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있었다. 따라서 ITO를 투명전극으로 한 HPT는 초고속 전자소자인 HBT와 집적화가 가능하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] U. Eriksson, P. Evaldsson, J. Wallin, B. Stalnacke, S. Lourduoss, and B. Willen, "Vertical integration of an InGaAs/InP HBT and a 1.55μm strained MQW p-substrate laser", IEE Proc.-Optoelectron., Vol. 143, No 1, pp 107~109, February 1996.
- [2] H. Fukano, Y. Takanashi, and M. Fujimoto, "High-Speed InP-InGaAs Heterojunction Phototransistors Employing a Nonalloyed Electrode Metal as a reflector", IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 30, No. 12, pp. 2889~2895, December 1994.
- [3] P. Freeman, X. Zhang, I. Vurgaftman, J. Singh, and P. Bhattacharya "Optical control of 14 GHz MMIC oscillators based on InAlAs/InGaAs HBT's with monolithically integrated optical waveguides", IEEE trans. Electron Devices, Vol. ED-43, No. 3, pp. 373~379, March 1996.
- [4] S. A. Basher et al, "Fabrication and spectral response analysis of AlGaAs/GaAs and InP/InGaAs HPTs with transparent ITO emitter contacts", IEE proc.-Optoelectron, Vol. 143, No.1, pp. 89~93 February 1996.
- [5] 황용한, 한교용, "III-V 광소자 제작을 위한 ITO/n⁺-InP 음 접촉 특성연구", 전기전자재료학회 논문지, 제15권, 제5호, 449~454쪽, 2002년 5월
- [6] 장은숙, 최병진, 신주선, 성광수, 한교용, "ITO 투명전극을 갖는 InP/InGaAs HPTs 모델링", 대한전자공학회 추계학술대회 논문집, 제23권, 제2호, 9~12쪽, 안산, 한국, 2000년 11월
- [7] A. Bandyopadhyay, S. Subramanian, Member, S. Chandrasekhar, Andrew G. Dentai, and Stephen M. Goodnick, "Degradation of DC Characteristics of InGaAs/InP Single Heterojunction Bipolar Transistors Under Electron Irradiation", IEEE Transactions on Electron Devices Vol. 46, No. 5, pp 840~849, May 1999.
- [8] Madjid E. Hafizi, Clarence R. Crowell, and Matthew E. Grupen, "The DC Characteristics of GaAs/AlGaAs Heterojunction Bipolar Transistors with Application to Device

[1] U. Eriksson, P. Evaldsson, J. Wallin, B.

Modeling”, IEEE Transactions On electron
Devices, Vol. 37, No. 10, pp October (1990).

 저 자 소 개



姜旻秀(正會員)

1996년 영남대학교 금속공학과 학사.
2002년 영남대학교 전자공학과 석사.
2002년 9월~현재, LG전자 기술원
유기 EL사업담당 모델 개발 그룹



韓敎龍(正會員)

1959년 11월생. 1982년 2월 성균관
대학교 전자공학과(학사). 1986년 5
월 Univ. of Massachusetts,
Amherst, Dept. of Electrical and
Computer Engineering(석사). 1992
년 5월 Colorado State Univ. Dept
of Electrical Engineering(박사). 1992년~현재 영남대
학교 전자정보공학부 교수. <주관심분야 : III-V 소자
및 공정, smart pixels, 광전 집적회로 등임>