

등방성 언더컷 식각에 의한 에어-브리지 소자 격리 구조를 갖는 AlGaAs/GaAs HBT의 제작에 관한 연구

(A study of the fabrication of AlGaAs/GaAs HBT with an air-bridge isolation structure induced by isotropic undercut etching)

金演泰*, 李濟熙*, 尹相鎬*, 權五變*, 潘用瓚*, 元太映*

(Youn-Tae Kim, Jae-Hee Lee, Sang-Ho Yoon, Oh-Seob Kwon, Yong-Chan Ban, and Tae-Young Won)

요 약

본 논문에서는 차세대 이동 통신용 초고속 소자인 이중 접합 쌍극성 트랜지스터(HBT : Heterojunction Bipolar Transistor)의 고주파 특성을 향상시킬 수 있는 에어-브리지 소자 격리 방식의 AlGaAs/GaAs HBT의 설계 및 제작, 특성을 제시한다. 특히, HBT의 크기, 형태 및 구조 등이 고주파 동작 특성에 크게 영향을 미치는 것을 인식하고, HBT를 크기, 형태 및 구조 특성이 서로 다른 네가지 타입의 제조 공정을 수행함으로써, 제조 공정 상의 특징과 측정된 DC 및 AC 특성을 비교하여 분석하였다. 본 논문에서 수행한 네가지 타입의 HBT 제조 공정중, 등방성 언더컷 식각에 의한 에어-브리지 소자 격리 구조를 갖는 HBT의 경우 $\beta=56$, $V_{off-set}=0.3$ V, $BV_{CEO}=7.0$ V의 DC 특성을 얻었으며, 컬렉터 전류 밀도가 7.1×10^4 A/cm²에서 $f_T=40$ GHz, $f_{max}=45$ GHz의 고주파 특성을 얻었다.

Abstract

This paper reports the design, fabrication and characterization of an AlGaAs/GaAs HBT (Heterojunction Bipolar Transistor) with an air-bridge isolation structure which is made to improve high frequency characteristics for the application to the mobile communication system in the next generation. We found that the size, shape and structure of HBT have an effect on the high frequency operation. The measured dc and ac characteristics of the four type HBTs were compared and analyzed. An E-type HBT with an air-bridge structure by undercut etching exhibited $\beta=56$, $V_{off-set}=0.3$ V, $BV_{CEO}=7.0$ V with $f_T=40$ GHz and $f_{max}=45$ GHz at a collector current density of 7.1×10^4 A/cm².

I. 서 론

정보 통신 산업의 급격한 발달로 인하여 신뢰성 및

* 正會員, 仁荷大學校 電子電氣컴퓨터工學部 半導體 및 薄膜技術研究所

(Inha Research Institute of Semiconductor and Thin Film Technology, School of Electrical and Computer Engineering, Inha University)

接受日字:1997年7月19日, 수정완료일:1998年4月8日

경제성이 높은 초고속 정보 시스템의 개발이 요구되어지고 있는데, 이러한 초고속 정보 통신 시스템의 효과적인 운용을 위해서는 핵심 고주파 소자들의 개발이 필수적이라 할 수 있다. 초고주파용 소자로는 높은 전자 이동도와 큰 포화 속도를 갖기 때문에 차단 주파수 (Cut-off frequency, f_T)와 최대 공진 주파수 (Maximum oscillation frequency, f_{max}) 특성이 매우 높은 GaAs계의 MESFET, HBT, HEMT 등의 화합물 반도체 소자가 있다. 이중 HBT는 다른 화합

물 소자에 비해 고속 특성, 전류 구동 능력, 선형성 등이 우수한 장점을 갖고 있어 HBT에 대한 상용화 가능성이 점차 커지고 있다.^{[1], [2]} 특히, GaAs계 화합물 반도체의 반절연 기판(S.I. GaAs Substrate)은 저항률이 높아서 수동 소자와 능동 소자를 단일 기판상에 제작하는 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuits)화가 용이하므로, 미국, 일본 등에서는 이미 HBT를 이용한 전력 증폭기, 발진기, 혼합기, 저잡음 증폭기 등에 대한 연구를 수행하여 진보된 성과를 올린 바 있다.^{[3], [4]}

본 논문에서는 고속 정보 통신 및 이동 통신 등에서 요구되는 특성을 만족하는 HBT를 제작하기 위하여, HBT의 고주파 특성에 크게 영향을 미치는 HBT 소자의 크기, 설계 형태, 기하 구조 및 제조 공정 특성 등에 대해 분석하고 HBT의 기생 성분은 감소시키고 고주파 동작 특성은 향상시킬 수 있는 등방성 언더컷 식각에 의한 에어-브리지 소자 격리 구조를 갖는 AlGaAs/GaAs HBT의 설계 및 제조 공정 기술을 제시하고자 한다.

II. 등방성 언더컷 식각에 의한 에어-브리지 소자 격리 구조의 설계

RF 소자의 고주파 동작 특성은 AC 전류 이득(H_{21})이 0 dB가 되는 차단 주파수와 최대 유효 전력 이득(MAG)이 0 dB가 되는 최대 공진 주파수로 표현되는데, 제작된 HBT 소자의 기하 구조나 크기가 차단 주파수 및 최대 공진 주파수 특성에 크게 영향을 미친다는 것은 이미 많은 국내외 논문에서 발표된 바 있다.^{[5], [6]} 소자 크기의 경우 에미터 전극의 폭이 지나치게 작으면 전류 특성을 저하시켜 고주파 특성이 나빠지지만, 대체로 $1\mu\text{m}$ 내의 정도까지는 작으면 작을수록 높은 차단 및 최대 공진 주파수 특성을 보인다고 알려져 왔다. 또한, 기하 구조면에서는 금속 배선의 측면 굴곡이나 전극의 평면 형상 굴곡과 같은 단차, 베이스 표면 재결합 전류와 관계 있는 노출된 베이스 영역, 베이스 저항 성분을 증가시키는 에미터-베이스간 거리, 베이스-컬렉터 커패시턴스(C_{bc})와 관계 있는 베이스-컬렉터간 중복(Overlap) 영역 등이 고주파 동작 특성과 밀접한 연관이 있는 것으로 알려져 왔다. 이상과 같은 소자의 크기나 기하 구조적인 요소들을 부분적으로 개선하거나 보완하기 위한 방안들에 대해 국내

의 논문에서 제안되어 왔지만, 패턴 얼라인(Align)시 매우 높은 정확도가 요구되거나, 정밀하고 복잡한 식각 방식의 채택, 고가의 장비나 구하기 쉽지 않은 재료의 선택, 공정 및 마스크 수의 증가 등으로 인해 실용화와 수율 면에서 실제 적용에 어려운 것이 많았다. 따라서, 소자의 고주파 성능 향상과 제조 공정의 용이성과의 균형(Trade-off)을 고려한 소자 설계 및 공정이 매우 중요하다.

본 논문에서는 앞서 설명한 균형을 고려한 소자 설계 및 공정을 위하여 등방성 언더컷 식각에 의한 에어-브리지 소자 격리 구조의 HBT를 제안하였는데, 외형적으로 소자의 동작 영역과 비아-홀 형성 영역이 분리된 구조를 갖는다. HBT의 고주파 동작 특성 향상을 위해 에미터 금속 전극의 폭을 $1\sim 2\mu\text{m}$ 이하로 설계할 경우, 후속 공정인 비아-홀 형성 공정시 비아-홀의 폭은 $0.5\sim 1\mu\text{m}$ 이하가 되어야 하며, 공정 여유도(Process Latitude)는 $0.25\sim 0.5\mu\text{m}$ 이하가 되어야 할 것이다. 이와 같은 공정 조건은 전자 빔 리소그래피(Electron Beam Lithography) 장비 혹은 고성능 스테퍼(Stepper)에서나 가능하며, 일반적인 콘택 얼라이너(Contact Aligner)와 같은 장비에서는 매우 어려운 공정이 될 수 있다. 에미터 금속 전극에서 일부분을 상대적으로 크게 설계하여 후속 비아-홀 형성 공정을 용이하게 유도할 수 있지만, 크게 설계된 에미터 비아-홀 형성 영역도 에미터 금속 전극의 일부가 되어, 크게 설계된 비아-홀 형성 영역으로 인한 HBT의 고주파 동작 특성 저하를 피할 수 없게 된다. 크게 설계된 비아-홀 형성 영역을 에미터 금속 전극으로부터 분리시키기 위하여 에어-브리지 구조를 생각할 수 있지만, 이에 따른 공정의 복잡성 및 마스크 수의 증가, 금속 전극의 단차 발생 등과 같은 단점을 유발시킨다. 이에 비해 본 논문에서 제안한 등방성 언더컷 식각에 의한 에어-브리지 소자 격리 구조는 단순한 메사 식각 과정중에 에어-브리지 구조를 발생시켜 이상에서 열거한 모든 문제점과 소자의 고주파 특성 저하 요소를 제거할 수 있는 특징을 지닌다.

본 논문에서 제안한 HBT 소자의 제조 공정 방법은 습식 식각의 등방 식각 특성을 이용한 것으로 상층 금속 배선 밑의 양쪽으로 언더컷이 진행되어 최종적으로는 완전히 관통되어 소자 동작 영역과 비아-홀 형성 영역이 분리되게 설계하였다. 이때 사용된 습식 식각액은 $1\text{H}_3\text{PO}_4:1\text{H}_2\text{O}_2:25\text{H}_2\text{O}$ 로 AlGaAs 및 GaAs

의 식각시 특정한 방향성이 없이 모든 식각면에 대해 등방 식각 특성을 보였으며, 식각율은 1500~1700 Å/min 정도를 나타내었다. 그림 1과 그림 2에 소자 동작 영역 분리를 위한 식각 실험에 대해 도시하였는데, 그림에 보인 바와 같이 에미터 금속 전극에서 비아홀 생성 영역이 크게 형성되도록 하였으며, 실제 동작 영역 상의 에미터 금속 전극의 크기가 $2 \times 10 \mu\text{m}^2$ 이하가 되도록 설계하였다. 2 μm 의 에미터 금속 전극 폭을 갖는 HBT의 경우, 소자 동작 영역과 비아홀 형성 영역을 분리하기 위하여 1.0 μm 이상의 메사 식각 조건이 필요한데, 본 논문에서 사용한 에피 구조는 0.25 μm (에미터 메사 식각), 0.09 μm (베이스 메사 식각), 0.8 μm (컬렉터 메사 식각), 0.5 μm (소자 격리 식각) 등 최종적으로 1.64 μm 의 깊이를 식각하게 되므로, 그림 1에서와 같이 에미터 금속 전극의 양쪽으로 언더컷이 1.64 μm 씩 발생하여 최종적으로 3.28 μm 정도 식각될 수 있게 하였다. 따라서, 등방 식각 특성에 의해 에미터 금속 전극의 폭이 3 μm 까지는 본 논문에서 제안한 공정이 충분히 가능할 수 있을 것으로 예상하였다.

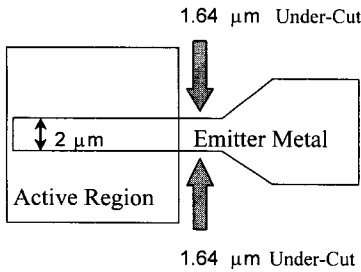


그림 1. 등방성 습식 식각 공정시 언더컷 식각의 진행
Fig. 1. Progress of undercut by isotropic wet etching.

등방성 습식 식각 공정후, SEM 장비를 이용하여 상층의 금속 배선이 주저앉거나 끊어지지 않았는지 혹은 양방향에서의 언더컷이 에미터 금속 배선 밑으로 완전히 관통되게 진행되어 소자 동작 영역과 비아홀 형성 영역이 확실히 분리되었는지에 대해 관찰하였다. 그림 3에 보인 SEM 사진은 언더컷 식각이 완료된 후에 측정된 것인데, 그림 3(a)는 측면에서 측정된 사진으로 식각 후에도 상층 금속 배선의 형상이 그대로 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 그림 3(b)는 상부의 금속 전극을 제거한 후 측정된 사진으로 금속 배선 밑이 언더컷에 의해 완전히 관통되어 소자의 동작 영역과 비아홀 형성 영역이 분리되었음을 확인하

였다. 이상과 같은 단위 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 공정 방식이 실제 HBT 제조 공정에 적용 가능하다는 것을 검증하였다.

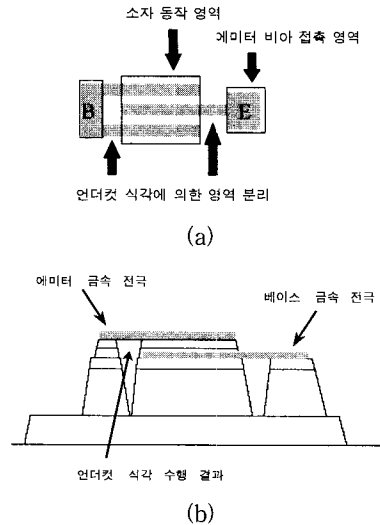


그림 2. 언더컷에 의해 유도된 에어-브리지 구조.
(a) 평면도, (b) 측면도

Fig. 2. Air-bridge structure of HBT made by undercut. (a) Top view, (b) Side view

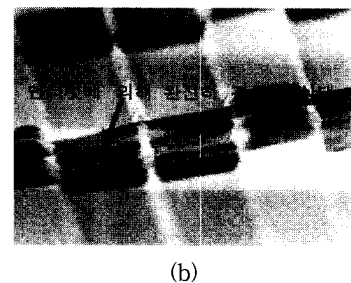


그림 3. 등방성 습식 식각에 의한 언더컷 실험 결과
(a) 습식 식각후 측정된 금속의 단면 SEM 사진
(b) 상부의 금속 배선을 제거한 후 측정된 SEM 사진
Fig. 3. The results of undercut experiment by isotropic wet etching. (a) A schematic picture measured by SEM after wet etching (b) A SEM picture measured after removing the metal line.

III. HBT 소자의 제작

HBT는 우수한 저잡음 특성, 높은 전류 및 전력 밀도, 미세 패턴 공정에서의 여유도 등의 장점이 있는 반면, 소자의 고주파 특성을 고려한 얇은 베이스 층의 정확한 식각 제어, 각 전극의 식각을 통한 정의로 인해 발생하는 큰 표면 단차, 기타 기생 성분의 효과로 인한 누설 현상 등의 공정 기술상의 어려움도 적지 않다. 따라서, 우수한 특성을 갖는 HBT를 제작하기 위해서는 에피 설계에 따라 정확한 농도와 두께를 갖도록 에피 웨이퍼를 성장시키는 것 외에 소자의 기하 구조, 레이 아웃 설계 및 제조 공정 등에 대한 사항들을 신중히 검토하여 최적의 조건을 선택하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 HBT 소자의 크기, 기하 구조, 레이 아웃 형태 및 공정 방식 등의 조건이 다른 네가지 형태의 HBT를 설계하고 제작하여 제안한 HBT와 그 특성들을 비교하였다. 표 1에는 HBT 제작에 이용된 AlGaAs/GaAs 에피 구조를 도시하였다.

표 1. HBT 제작에 이용된 AlGaAs/GaAs 에피 구조

Table 1. AlGaAs/GaAs epi structure used in the fabrication of HBT.

Layer	Type	Material	Thickness	Concentration	Dopant
Emitter Cap	n+	GaAs	0.1 μm	$5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$	Si
Emitter	n	$\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$	0.15 μm	$5 \times 10^{17}/\text{cm}^3$	Si
Base	p+	GaAs	0.09 μm	$4 \times 10^{19}/\text{cm}^3$	C
Collector	n	GaAs	0.8 μm	$5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$	Si
Sub Collector	n+	GaAs	0.5 μm	$5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$	Si
S.I. GaAs Substrate					

1) 에어-브리지 소자 격리 구조의 HBT 제작

제안한 HBT(이하 E-type HBT) 공정은 언더컷에 의한 소자의 동작 영역과 비아-홀 영역 분리 방식을 통해 소자의 유효 동작 영역을 축소하고, 후속으로 진행되는 1차 금속 전극과 2차 패드 금속을 연결하는 비아-홀 형성 공정을 용이하게 하는 특징을 갖는다. 완성된 E-type HBT의 구조는 에어-브리지 구조와 매우 유사해 보이지만, 에어-브리지 공정과는 달리 단순히 식각 공정만으로 용이하게 제작할 수 있을 뿐 아니라, 에어-브리지 형성을 위한 단계적인 감광 패턴링 작업을 요구하지 않기 때문에 부가적인 마스크 제작도 필요하지 않은 장점이 있다. 등방성 언더컷 식각에 의

한 에어-브리지 소자 격리 구조의 HBT 제조 공정 과정과 설계된 레이 아웃 형태를 그림 4에 도시하였다.

그림에서와 같이 베이스 영역 정의를 위한 메사 식각 공정후, 에미터 전극을 포함한 베이스 영역 전면엔 전자-총 증착기(E-gun Evaporator)로 p-형 금속을 증착하여, 에미터-베이스 전극간에 자기 정렬 구조를 이루도록 하였다. 이는 수직 성분으로만 증착되는 전자-총 증착기의 증착 특성을 이용한 것으로 E-type HBT의 경우 에미터-베이스간 간격을 0.2 μm 이하로 감소시키고, 외부로 노출되는 베이스 영역을 크게 줄일 수 있어 최대 공진 주파수 특성을 향상시킬 수 있다. E-type HBT 제조 공정중 에미터 및 컬렉터 금속 전극은 Ni/Ge/Au/Ni/Ag/Au의 합금 형태를 이용하였으며, 베이스 금속은 주로 이용되는 Ti/Pt/Au 계열에서 제조 공정의 경제성 등을 고려하여 내화 금속(Refractory Meal)이면서 상당히 가격이 높은 Pt을 제외한 Ti/Au의 합금만을 선택하여 증착하였다. 에미터, 베이스 및 컬렉터 금속 전극을 모두 증착하고 나서, RTA 장비를 사용하여 수소 가스 분위기에서 380 $^{\circ}\text{C}$, 15초간 동시 어닐링을 수행하여 각 전극의 저항성 접촉을 동시에 형성하였다. S.I. GaAs 기판은 절연성이 우수하므로, 어닐링후 소자의 동작 영역을 제외한 나머지 부분을 습식 식각으로 제거하여 손쉽게 소자 분리(Device Isolation)을 이룰 수 있었으며, 소자 분리 공정후에는 전극 금속과 패드 금속을 절연시키기 위하여 폴리이미드를 이용하였다. 액상화되어 있는 폴리이미드를 4,300 rpm의 속도로 스핀 코팅 처리한 후, 오븐에서 250 $^{\circ}\text{C}$, 30분간 큐어링(Curing)을 수행하였다. 큐어링된 폴리이미드 상에 비아-홀을 형성하기 위한 RIE용 마스크로 Ti/Al=500/1500 \AA 을 이용하였는데, 이는 Ti 금속만을 폴리이미드 상에 증착할 경우, 폴리이미드와 Ti 금속간의 열팽창 계수의 차이가 커서 전자총 증착기로 증착한 후, RIE용 마스크로 사용될 Ti의 표면이 갈라지는 현상이 발생하기 때문이다.

RIE용 Ti/Al 마스크를 증착한 후, 비아-홀 형성을 위하여 O_2 플라즈마(Plasma)를 이용한 반응성 이온 식각 공정을 수행하였다. 패드 금속의 증착시 비아-홀 식각 공정으로 생긴 폴리이미드의 단차로 인해 증착될 패드 금속이 끊길 수 있기 때문에, 이를 방지하기 위하여 폴리이미드의 식각되는 면이 완만한 경사를 가져야 한다. 폴리이미드의 식각면이 경사를 갖기 위해 1

차 RIE 공정 조건을 $O_2=50$ sccm, 압력=1.5 torr, RF 출력=70 W, 시간=15분과 같이 설정하였으며, 언더컷에 의해 비아-홀이 지나치게 커지는 것을 막기 위하여 2차 RIE 공정 조건을 $O_2=50$ sccm, 압력=50 mtorr, RF 출력=180 W, 시간=2분과 같이 설정하여 2단계 식각을 수행하였다.

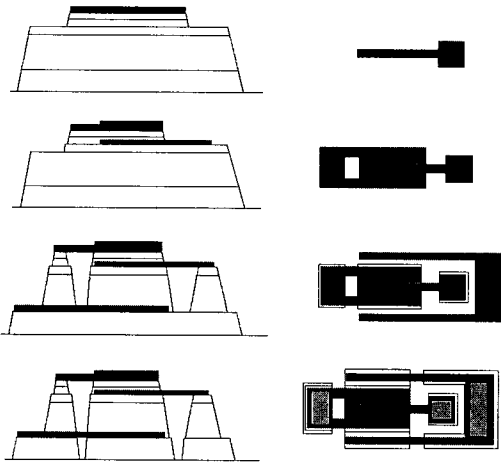


그림 4. E-type HBT의 제조 공정 과정
Fig. 4. Process of E-type HBT.

비아-홀 형성후, HBT 제조 공정의 마지막 공정인 패드 금속 형성 공정을 수행했는데, 이때 접착 특성이 우수한 Ti를 Au 밑에 500 Å 정도 증착하여 패드 금속이 일어나거나, 공정 완료후 HBT소자의 특성 측정 시 패드 금속이 프르브에 의해 밀리는 것을 방지하고자 하였다. 이상과 같이 본 논문에서 제안한 HBT 공정 방식은 생성된 에어 브리지 구조의 에미터 전극 형상이 최종 공정이 진행될 때까지 끊어지거나 주저앉지 않게 유지하는 것이 매우 중요하므로, HBT 제조 공정시 언더컷에 의해 발생된 에어-브리지 구조를 단계적으로 관찰할 필요가 있다.

2) 특성 비교를 위한 다른 형태의 HBT 소자 제작

본 논문에서 제안한 E-type HBT와 형태가 다른 첫번째 HBT(이하 A-type HBT)는 에미터 금속 전극을 증착 후, 후속 공정인 베이스 메사 식각시 베이스 영역 정의를 위한 추가적인 사진 공정 작업 없이 에미터 금속 전극 자체를 마스크로 베이스 영역까지 식각하는 특징이 있다. 이와 같은 공정 방식은 습식 식각의 등방 식각 특성에 의해 메사 식각된 깊이만큼 에미터 금속 전극 밑으로 언더컷이 진행되어 실제 에

미터 금속 전극의 크기를 축소시키는 효과를 가져올 수 있을 뿐 아니라, 베이스 영역 정의를 위한 사진 공정을 생략하여 HBT의 제작 공정을 단축케 하고, 후속 베이스 금속 전극의 정렬을 용이하게 하여 높은 수율을 얻을 수 있는 특징이 있다. 또한, 에미터 금속 전극과 베이스 금속 전극간의 거리는 짧을수록, 접하는 면적은 넓어질수록 소자의 특성이 우수해지므로, 베이스 금속 전극이 에미터 금속 전극을 둘러싸는 핑거(Finger) 형태를 취하도록 설계하였다. 하지만, 에미터 전극중 크게 형성된 비아-홀 형성 영역을 분리하지 않고, 비자기 정렬 구조를 취하기 때문에 본 논문에서 제안한 HBT에 비해 기생 요소나 누설 성분의 영향이 많을 것으로 예상되는 구조이다.

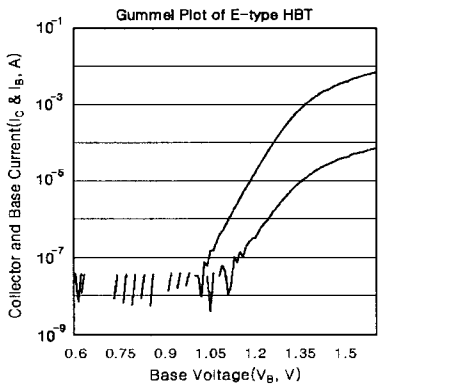
두번째 HBT(이하 B-type HBT) 공정은 앞서 설명한 A-type HBT의 공정 방식을 제조 공정의 근간으로 하면서 베이스 금속의 증착시 인위적인 정렬에 의하지 않고, 에미터-베이스간 자기 정렬 방식으로 증착되는 것을 특징으로 한다. B-type HBT는 에미터 금속 전극을 증착시킨 후, A-type HBT와는 달리 에미터 금속 전극을 중심으로 베이스 영역을 정의하는 감광 마스크를 패터닝하였는데, 이때 베이스 메사 식각용 마스크를 AZ5214E와 같은 감광제를 사용하여 오버-행(Over-hang) 구조로 형성시키고, 베이스 영역 정의를 위한 식각을 수행한다. 메사 식각후, 식각용 마스크로 사용되었던 감광제를 제거하지 않고, 후속 공정인 p형 금속 전극 증착을 위한 패턴으로 그대로 이용하여 Ti/Au의 합금을 증착하였다. 이와 같은 방식으로 HBT를 제작한 결과, 2~3 μm 이상 노출되었던 베이스 외부 영역을 0.4 μm 정도로 크게 줄일 수 있었으며, 이에 따른 베이스 저항 및 기생 성분을 크게 감소시킬 수 있었다. 세번째 HBT(이하 D-type HBT)는 언더컷에 의한 에어-브리지 소자 격리 구조는 가지면서, 에미터-베이스간은 비자기 정렬 구조를 이루는 공정이다. D-type HBT 공정 방식은 E-type HBT에서의 에미터-베이스간 자기 정렬이 소자의 고주파 동작 특성에 얼마나 영향을 미치는지 가늠할 수 있는 공정 방식이라 할 수 있다.

IV. 제작된 HBT 소자의 DC 및 AC 특성

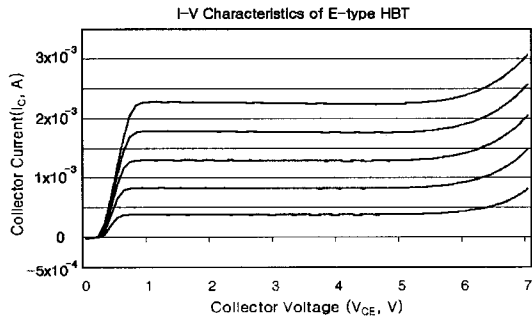
최종 공정인 패드 금속 공정이 완료된 후, 제작된 HBT 소자의 전기적 특성을 측정하였다. HBT의 DC

특성을 측정하기 위하여 HP4155와 DC 측정용 프로브 스테이션(Probe Station)을 사용하였으며, AC 특성을 측정하는 데는 HP8510C 네트워크 어날라이저(Network Analyzer)와 Cascade사의 프로브 스테이션을 이용하였다. 네트워크 어날라이저로부터 추출된 HBT의 s-파라미터를 이용하여 HP EEsof상에서 AC 전류 이득 곡선과 최대 전력 이득 곡선을 시뮬레이션하여 차단 주파수 및 최대 공진 주파수 특성을 추출하였다. 본 논문에서 제안한 등방성 언더컷 식각에 의한 에어-브리지 소자 격리 구조와 에미터-베이스간 자기 정렬 구조를 갖는 E-type HBT중 에미터 전극의 크기가 $2 \times 10 \mu\text{m}^2$ 인 소자의 DC 특성 측정 결과, 그림 5(a)의 Gummel 곡선으로부터 $\beta = 56$ 을 얻었으며, 그림 5(b)의 전류 및 전압 특성 곡선으로부터 $BV_{CEO} = 7.0 \text{ V}$, $V_{off-set} = 0.3 \text{ V}$ 등의 특성을 얻었다. 그림 6에는 AC 특성을 도시하였는데, 컬렉터 전류 밀도가 $7.1 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ 일 때 차단 주파수는 40 GHz를 얻었으며, 최대 공진 주파수는 45 GHz의 특성을 보였다.

이에 비해 등방성 언더컷 식각에 의한 에어-브리지 소자 격리 구조와 에미터-베이스간 자기 정렬 구조가 모두 적용되지 않은 A-type HBT중 에미터 전극의 크기가 $2 \times 10 \mu\text{m}^2$ 인 소자의 경우, $\beta = 87$, $BV_{CEO} = 7.5 \text{ V}$, $V_{off-set} = 0.2 \text{ V}$, $f_T = 40 \text{ GHz}$, $f_{max} = 27 \text{ GHz}$ 의 특성을 얻었으며, 에어-브리지 소자 격리 구조는 갖지 않고 자기 정렬 구조만 갖도록 제작된 B-type HBT중 에미터 전극의 크기가 $2 \times 10 \mu\text{m}^2$ 인 소자의 경우, $\beta = 81$, $BV_{CEO} = 7.5 \text{ V}$, $V_{off-set} = 0.3 \text{ V}$, $f_T = 38 \text{ GHz}$, $f_{max} = 31 \text{ GHz}$ 의 특성을 얻었고, 에어-브리지 소자 격리 구조는 가지지만 자기 정렬 구조는 갖지 않는 D-type HBT중 에미터 크기가 $2 \times 10 \mu\text{m}^2$ 인 소자의 경우, $\beta = 52$, $BV_{CEO} = 7.0 \text{ V}$, $V_{off-set} = 0.3 \text{ V}$, $f_T = 40 \text{ GHz}$, $f_{max} = 32 \text{ GHz}$ 의 특성을 얻었다.



(a)



(b)

그림 5. E-type HBT 소자의 DC 특성 (a) Gummel 곡선 (b) 전류-전압 특성 곡선
Fig. 5. DC characteristics of the E-type HBT. (a) Gummel plot, (b) I-V characteristics curve

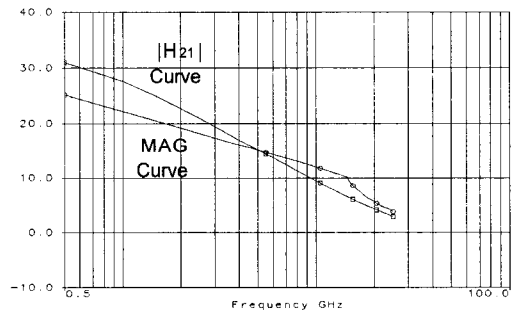


그림 6. 컬렉터 전류 밀도가 $7.1 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$ 일 때 AC 특성 $f_T = 40 \text{ GHz}$, $f_{max} = 45 \text{ GHz}$
Fig. 6. AC characteristics of HBT at $J_c = 7.1 \times 10^4 \text{ A/cm}^2$. $f_T = 40 \text{ GHz}$, $f_{max} = 45 \text{ GHz}$

이상과 같은 측정 결과, 에어-브리지 소자 격리 구조와 에미터-베이스간 자기 정렬 구조가 모두 적용되지 않은 A-type HBT보다 E-type HBT의 최대 공진 주파수가 18 GHz 이상 증가하였으며, 에어-브리지 소자 격리 구조는 적용되지 않고 자기 정렬 구조만 갖는 B-type HBT보다는 차단 주파수가 2 GHz 이상 증가하고, 최대 공진 주파수는 14 GHz 이상 증가하였으며, 에어-브리지 소자 격리 구조만 적용한 D-type HBT보다는 최대 공진 주파수가 13 GHz 이상 증가하였다. 동일한 크기 HBT 소자의 AC 특성 비교를 수행한 결과, E-type HBT의 고주파 특성이 가장 높게 측정되었는데, 이는 E-type HBT가 단순한 습식 식각 공정만으로 에어-브리지를 형성하기 때문에 고주파 성능을 저하시키는 금속 배선의 심한 굴곡이나 단차의 발생을 피할 수 있었으며, 에미터-베이스간 자

기 정렬 구조를 취해 베이스의 지연 성분들을 제거하고, 소자의 동작 영역으로부터 비어-홀 형성 영역을 완전히 분리하여 소자의 크기가 커짐에 따라 증가하는 기타 기생 지연 성분과 비어-홀 형성 영역 및 패드 영역에서 발생하는 기생 성분들을 최소화하였기 때문이라고 사료된다.

V. 결 론

초고속 정보 통신 시스템에서 요구하는 고속 특성을 만족하는 AlGaAs/GaAs 구조의 HBT 소자를 제작함에 있어서, HBT의 크기, 형태 및 기하 구조 등이 소자의 고주파 동작 특성에 크게 영향을 미치는 것을 인식하고, 기생 성분을 제거하고 고주파 특성을 향상시킬 수 있는 제조 공정을 개발하고자 HBT를 A, B, D 및 E-type으로 나누어 설계 및 제작하였다. 에미터 전극의 크기가 $2 \times 10 \mu\text{m}^2$ 인 각 type별 HBT의 특성을 측정된 결과, 에어-브리지 소자 격리 구조와 자기 정렬 구조가 모두 적용되지 않은 A-type HBT의 경우 $f_T=40 \text{ GHz}$, $f_{\text{max}}=27 \text{ GHz}$ 의 특성을 얻었으며, 에어-브리지 소자 격리 구조는 적용하지 않고 베이스 영역 정의를 위한 감광 마스크를 이용하여 자기 정렬 구조만을 가지는 B-type HBT의 경우 $f_T=38 \text{ GHz}$, $f_{\text{max}}=31 \text{ GHz}$ 의 특성을 얻었고, 에어-브리지 소자 격리 구조는 갖지만 비자기 정렬 구조를 갖는 D-type HBT의 경우 $f_T=40 \text{ GHz}$, $f_{\text{max}}=33 \text{ GHz}$ 의 특성을 얻었고, 에어-브리지 구조에 에미터-베이스간 자기 정렬 구조를 갖는 E-type HBT의 경우 $f_T=40 \text{ GHz}$, $f_{\text{max}}=45 \text{ GHz}$ 의 특성을 얻었다. 이상과 같이 제조 공정과 기하 구조가 각기 다른 HBT의 고주파 동작 특성의 측정 결과, E-type HBT가 가장 우수함을 알 수 있었다. 따라서, E-type HBT의 레이아웃 형태, 기하 구조 및 제조 공정 과정이 초고주파에서 고속 동작하는 HBT 소자의 제작에 가장 적합함을 알 수 있었으며, 이와 같은 HBT의 레이아웃 형태 및 기하 구조와 제조 공정에 관한 연구가 고주파 특성이 우수한 초고속 소자를 연구, 개발하는데 기여할 것으로 사료된다.

감사의 글

※ 본 연구는 1997년도 인하대학교 교내 연구비의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Takumi NITTONO, "Fabrication of Small AlGaAs /GaAs HBT's for Integrated Circuits Using New Bridged Base Electrode Technology," IEICE TRANS. ELECTRON, vol. E17-C, no. 9, pp. 1455~1463, 1994. 9.
- [2] Yutaka Matsuoka, "IC-Oriented Self-aligned High-performance AlGaAs/GaAs Ballistic Collection Transistors and Their Applications to High-Speed ICs," IEICE TRANS. ELECTRON, vol. E76-C, no. 9, pp. 1392~1401, 1993. 9.
- [3] 변상기, 박인식, 민정동, "10 Gbps급 고속 IC의 기술 동향 및 국내 현황," 전자공학회지, 제22권 제2호, pp. 24~35, 1995년 2월
- [4] F. Ali, et al., "A 25 Ohm, 2 W, 8-14 GHz HBT Power MMIC with 20 dB Gain and 40% Power Added Efficiency," 1994 IEEE Microwave and Millimeter-wave Monolithic Circuits Symposium Digest, pp. 113~115, 1994. 5.
- [5] G. Gao et al., "Design study of AlGaAs/GaAs HBT's," IEEE Trans. on Electron Devices, vol. 37, no. 5, pp. 1199~1208, 1990. 5.
- [6] 김일호, 이태우, 정준오 외, "Emitter structure dependence on the performance of AlGaAs /GaAs HBT's," 제 4 회 반도체 학술대회 논문집, pp. 87~88, 1997. 2.

— 자 자 소 개 —



金 演 泰(正會員)

1970년 4월 16일생. 1994년 인하대학교 전자공학과(공학사). 1996년 인하대학교 전자재료공학과(공학석사). 1996년 ~ 현재 인하대학교 전자재료공학과 박사과정. 주관심 분야는 반도체 공정, HBT 및 MMIC 설계

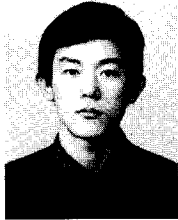
등임



李 濟 熙(正會員)

1968년 10월 5일 생. 1992년 인하대학교 응용물리학과(공학사). 1994년 인하대학교 전자재료공학과(공학석사). 1994년 ~ 현재 인하대학교 전자재료공학과 박사과정. 주관심 분야는 반도체 소자 및 공정, 시뮬레이션

등임



尹 相 鎰(正會員)

1969년 11월 20일생. 1995년 인하대학교 전자재료공학과(공학사). 1997년 인하대학교 전자재료공학과(공학석사). 1997년 ~ 현재 인하대학교 전자재료공학과 박사과정. 주관심 분야는 반도체 공정 물리, 시뮬레이션

등임



權 五 燮(正會員)

1972년 9월 18일생. 1997년 인하대학교 전자재료공학과(공학사), 1997년 ~ 현재 인하대학교 전자재료공학과 석사과정, 주관심 분야는 반도체 공정 물리, 시뮬레이션 등임



潘 用 瓊(正會員)

1974년 7월 7일생. 1997년 인하대학교 전자재료공학과(공학사), 1997년 ~ 현재 인하대학교 전자재료공학과 석사과정, 주관심 분야는 반도체 공정 물리, 시뮬레이션, MMIC 설계 등임



元 太 映(正會員)

1959년 2월 21일생. 1981년 서울대학교 전자공학과(공학사). 1983년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사). 1989년 미국 University of Illinois at Urbana-Champaign 전자공학과(공학박사). 1989년 ~

1990년 미국 State University of New York 조교수. 1990 ~ 1991년 삼성전자(주) 수석 연구원. 1991년 ~ 현재 인하대학교 공과대학 전자전기컴퓨터공학부 부교수. 주관심 분야는 반도체 소자 및 공정 등임