

외부 베이스표면을 에미터 ledge로 포장한 InGaP/GaAs HBT의 신뢰도 향상

박 재 흥*, 박 재 운**

High Reliable GaAs HBT with InGaP Ledge Emitter Structure

Jae-Hong Park* Jae-Woon Park**

요 약

외부 베이스 표면에 형성되는 표면 재결합 상태의 불안정성을 개선하기 위해 에미터 ledge 구조로 제작된 InGaP/GaAs HBT의 신뢰도 측정을 위해 고온에서 오랜 시간동안 정전류 스트레스를 인가하였다. 553K, 533K, 513K에서 콜렉터 전류 24mA로 스트레스를 인가해 전류이득의 열화를 관찰하였다. 그 결과 EA=1.97eV, MTTF=4.8×10⁸시간(140℃)을 구하였다. InGaP/GaAs HBT의 열화 원인은 베이스 도펀트인 C의 확산으로 추정된다.

Abstract

The self-aligned AlGaAs/GaAs HBTs with the mesa-etched emitter showed severe degradation in current gain under stress. The cause was identified to be due to instability of the surface states on extrinsic base. In this paper, the surface states were diminished by the hetero-passivation of the InGaP ledge emitter and the reliability was drastically improved. The activation energy of current gain degradation was extracted to be 1.97eV and MTTF to be 4.8×10⁸ at 140° C which has satisfied MIL standards.

* 동부산대학 컴퓨터정보학부 겸임교수

** 동부산대학 컴퓨터정보학부 교수

표1. InGaP/GaAs HBT의 조성표

에피층	폭(A)	도펀트	농도(cm^{-3})
n-InGaAs	500-800	Si	2×10^{19}
n-GaAs	500	Si	5×10^{18}
n-GaAs	1300	Si	3×10^{17}
n-InGaP	500	Si	3×10^{17}
p-GaAs	1400	C	1×10^{19}
n-GaAs	10000	Si	2×10^{16}
n-GaAs	6000	Si	5×10^{18}

I. 서론

AlGaAs/GaAs HBT의 상용화를 위한 신뢰도 확보에 문제점으로 지적되고 있는 외부 베이스 표면의 표면 재결합 상태의 불안정성은 스트레스 인가시 베이스 전류를 증가시켜 전류이득을 열화시킨다(1). 이러한 문제의 개선책으로 에미터를 외부 베이스 표면에 포장하는 방식으로 시도하였으나, AlGaAs와 GaAs를 선택적으로 식각하는 etchant가 아직 개발되지 않아 ledge 공정이 어렵고, 제작된 소자의 균일성 또한 확보하기 힘든 상태이다. InGaP/GaAs HBT의 경우 InGaP과 GaAs의 에너지 갭 불연속의 차이가 대부분 가전자대에 위치하고, 이로 인한 에미터 주입효율의 증가, 높은 전류이득, 온도에 대한 안정적인 특성을 가지며, 잡음 특성 또한 우수하다. 특히 InGaP과 GaAs의 선택적 식각이 가능한 etchant가 개발되어 사용 중이므로, 외부 베이스 표면을 안정적으로 포장하여 소자의 신뢰도를 향상시킬 수 있다.

실험은 553K, 533K, 513K에서 컬렉터 전류 밀도 $2 \times 104A/cm^2$ (에미터 면적= $6 \times 20\mu m$)로 정전류 스트레스를 각각 168시간, 348시간, 504시간동안 인가하였으며, 310K에서 HP4155A로 DC 파라미터를 측정하였다.

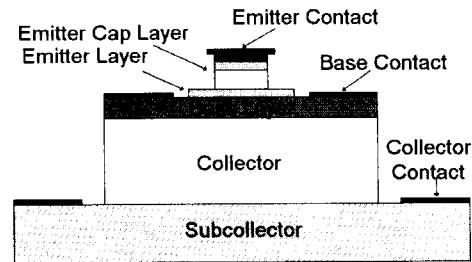


그림1. 에미터 ledge 구조로 제작된 InGaP/GaAs HBT.

II. 소자제작과 실험

표1과 같이 성장시킨 웨이퍼를 사용하였으며, n-GaAs는 H3PO4:H2O2:H2O 용액으로, p-InGaP은 HCl:H2O 용액으로 각각 선택적 식각하여 그림1과 같은 구조로 제작하였다.

III. 결과 및 검토

553K에서 168시간동안 정전류 스트레스를 인가한 후의 Gummel 도표를 그림2에 나타내었다.

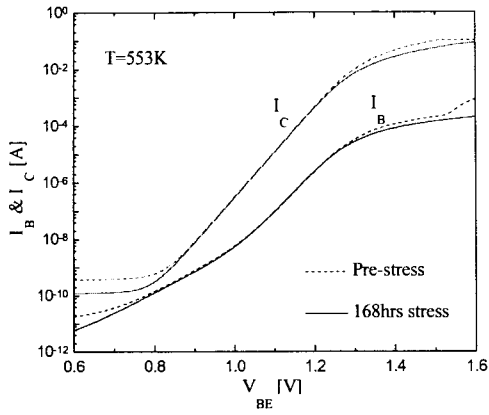


그림 2. T=553K에서 $J_c=2 \times 10^4 \text{A/cm}^2$ 의 정전류 스트레스를 인가한 후의 Gummel 도표.

533K, 513K 역시 그림2와 유사한 형태를 보였으며, 고온에서 오랜 시간동안 정전류 스트레스를 인가한 후에도 전류 변화가 거의 없는 좋은 특성을 보이고 있다. 하지만, 비교적 낮은 전압과 높은 전압에서 열화가 관찰되었으며, 이는 표면 재결합 전류의 증가로 인한 전류이득의 열화를 나타내던 mesa 구조로 제작된 AlGaAs/GaAs HBT와 다른 열화 메커니즘을 보여주고 있다.

베이스 전류보다 컬렉터 전류가 더욱 큰 폭으로 감소하는 이러한 열화형태는 베이스 C 도펀트가 큰 에너지 갭을 갖는 에미터로 확산하면서 에미터 내부에 pn 접합을 형성하고, 이로 인한 역방향 포화전류의 감소와 내부 전위의 증가로 베이스 및 컬렉터 전류가 감소한 것으로 판단된다. 이는 그림3에서의 시뮬레이션한 결과와도 일치한다.

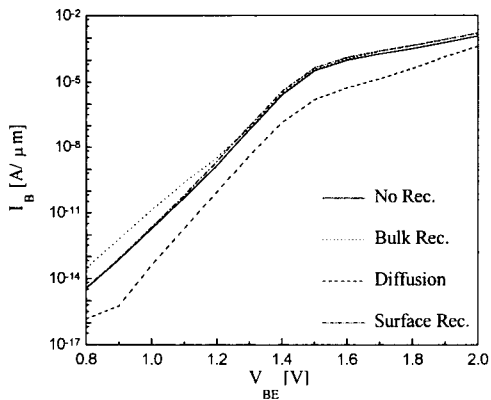
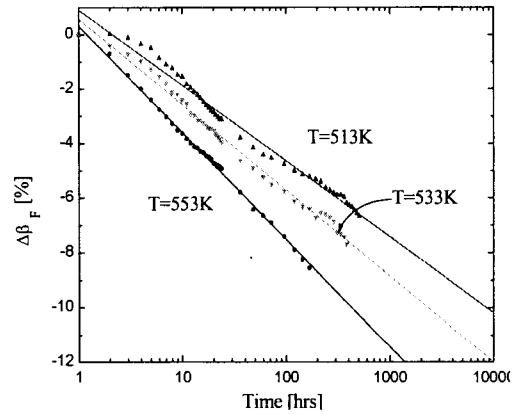
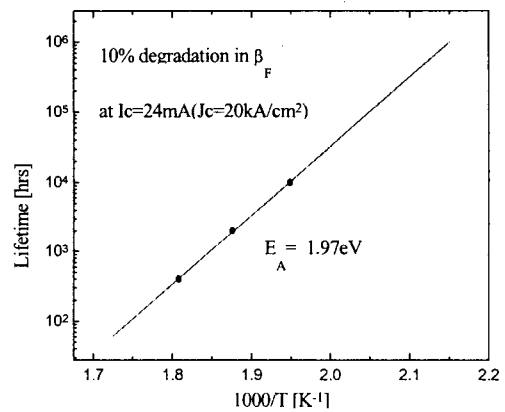


그림3. 재결합과 베이스 도펀트의 확산이 베이스 전류에 미치는 영향을 시뮬레이션한 결과.

그림4a는 정전류 스트레스를 1시간 인가한 후의 전류이득 값을 기준으로 $I_c=24\text{mA}$ 에서 전류이득의 열화를 시간에 따라 나타내었다. 온도가 낮을수록 열화가 둔화되는 경향이 균일함을 알 수 있다. 전류이득의 열화가 10% 일어나는데 소요되는 시간이 553K, 533K, 513K에서 각각 약 400시간, 2000시간, 10000시간으로 조사되었다. 그림4b의 Arrhenius 도표로부터 $E_A=1.97\text{eV}$ 를 얻을 수 있었으며, 이는 Bahl이 구한 0.64eV [2]보다 크게 향상된 값이며, Takahashi가 구한 2.0eV [3]과 유사한 값이다. 그리고 평균실패시간(MTTF)은 140°C 에서 약 4.8×10^8 로 MILS(140°C 에서 106시간)를 만족한다.



(a)



(b)

그림 4. (a) 전류이득의 열화 (b) Arrhenius 도표.

IV. 결론

InGaP/GaAs HBT에서 GaAs 베이스 표면을 InGaP 에미터로 포장하여 베이스 표면 재결합 전류를 감소시킴으로써 신뢰도를 향상시켰다. 스트레스 인가 1시간 후의 전류이득을 기준으로 전류이득이 10% 감소하는 시간을 기판 온도 553K, 533K, 513K에서 각각 약 400시간, 2000시간, 10000시간을 측정하였고, Arrhenius 도표로부터 활성화 에너지(EA) 1.97eV를 구할 수 있었다. 140°C에서 평균실패시간(MTTF)은 4.8×10^8 시간으로 MILS(140°C, 106시간)를 충분히 만족하고 있다.

이러한 신뢰도의 개선은 HCl계 식각용액을 사용하여 InGaP의 선택적 식각이 가능해짐으로써 안정된 에미터 ledge를 제작할 수 있었기 때문이다.

참고문헌

- [1] Duk-Young Kim, Jea-Hong Park and Chung-Kun Song, "Degradation of AlGaAs/GaAs HBT due to the constant current stress", 제4회 한국 반도체 학술대회, p. 95-96, 1997.
- [2] Sandeep R. Bahl, Lovell H. Camnitz, Denny Houng and Marek Mierzwinski, "Reliability investigation of InGaP/GaAs heterojunction bipolar transistors", IEEE Electron Device Letters, vol. 17, no. 9, pp. 446-448, 1996.
- [3] T. Takahashi, S. Sasa, A. Kawano, T. Iwai and T. Fujii, "High-reliability InGaP/GaAs HBTs fabricated by self-aligned process", IEDM 94, pp. 191-194, 1994.

저자 소개



박재훈
 1960년 7월 24일생
 1988년 2월 동아대학교 전자공학
 학과(공학사)
 1992년 2월 동아대학교 전자공
 학과(공학석사)
 2000년 12월 현재 동아대학교
 전자공학과 박사과정
 관심분야 : 회로 모델링 및 광
 전 집적회로



박재운
 1981년 동아대학교 전자공학과
 학사
 1983년 동아대학교 전자공학과
 석사
 1994년 동아대학교 전자공학과
 박사
 1985년-현 동부산대학 전자계
 산과, 사무자동화과,
 정보통신과 교수
 200년-현 사단법인 한국OA학
 회 감사