

접합구조에 따른 AlGaAs/GaAs HBT의 전기적 특성에 관한 연구

Electrical Characteristics of AlGaAs/GaAs HBTs

with different Emitter/Base junction structures

김광식, 안형근, 한득영

(Kwang-Shik Kim, Hyung-Kuen Ahn, Duek-Young Han)

Abstract

In this paper, we present the simulation of the heterojunction bipolar transistor with different Emitter-Base junction structures. Our simulation results include effect of setback and graded layer. We prove the emitter efficiency's improvement through setback and graded layer. In 1995, the analytical equations of electric field, electrostatic potential, and junction capacitance for abrupt and linearly graded heterojunctions with or without a setback layer was derived. But setback layer and linearly graded layer's recombination current was considered numerically. Later, recombination current model included setback layer and graded layer will be proposed. New recombination current model also will include abrupt heterojunction's recombination current model. In this paper, the material parameters of the heterojunction bipolar transistor with different Emitter-Base junction structures is introduced.

Key Words(중요용어) : HBT, Setback layer, Graded layer, recombination current, Current gain

1. 서론

Si 트랜지스터와 GaAs 전계효과 트랜지스터(Field Effect Transistor, FET)는 마이크로파 집적 회로에서 기본적인 소자로 여러 분야에 걸쳐 사용되어 왔다. 그러나 좀더 높은 주파수에 대한 요구에 따라 새로운 소자로서 이종접합구조(Heterojunction structure)의 발전에 의해 고속 전자 이동 트랜지스터(High Electron Mobility Transistor, HEMT)와 이종 접합 쌍극자 트랜지스터(Heterojunction Bipolar Transistor, HBT)가 새로운 소자로서 각광을 받게 되었으며 그 활용 분야가 점차적으로 확대되고 있다.

HBT는 1951년 Shocley에 의해 처음 제안되었으며, Kroemer에 의해 구체화 되었고[4][5], 그 뒤로 많은 연구가 수행되어져 왔고, Ebers-Moll 모델[1], Gummel-Poon 모델[2], New charge control 모델[3] 등 많은 해석적인 모델이 제시되었다. 또한 Abrupt HBT의 공핍영역 재결합 전류에 대한 해석적인 모델이 제시되었다.[10][11]

본 연구에서는 Npn AlGaAs/GaAs HBT에서 에미터-베이스 접합의 구조에 따른 전기적 특성의 변화를 살펴보았다. 에미터-베이스 접합 구조는 Al mole fraction을 변화시킨 graded layer와 undoped setback layer의 유무에 따라 달라지게 된다. 기존의 모델[8][9]은 graded layer와 undoped setback layer의 재결합 전류를 수치해석적으로 모델링함으로써 완벽한 해석적인 모델을 제시하지 못하였다.

본 연구의 목적은 graded layer와 undoped setback layer의 효과를 에너지 밴드차원에서 가시화

* 건국대학교 전기공학과
(서울 특별시 광진구 화양동 1번지 건국대학교,
Fax: 02-447-9186
E-mail : tbontb@pof.konkuk.ac.kr

시키고, 공핍영역의 폭 및 물질변수를 분석하는데 있다.

2. Model equation

2.1 Setback layer의 효과

그림 1은 분석에 사용되어진 HBT의 단면도를 나타낸다. Abrupt HBT에 graded layer와 setback layer가 추가되어, 에미터-베이스 접합은 4개의 공핍 영역과 2개의 벌크영역으로 구분된다.

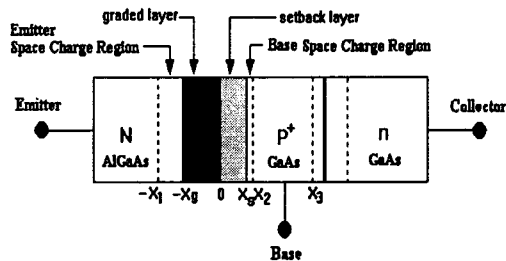


그림 1. N/p/n HBT의 단면도

각각 영역의 전계와 전위는 Yuan에 의해, 해석적으로 모델링되었다. 이를 통해 Setback layer 효과를 분석하였다. 그리고, 그림 2는 이것을 보여준다.

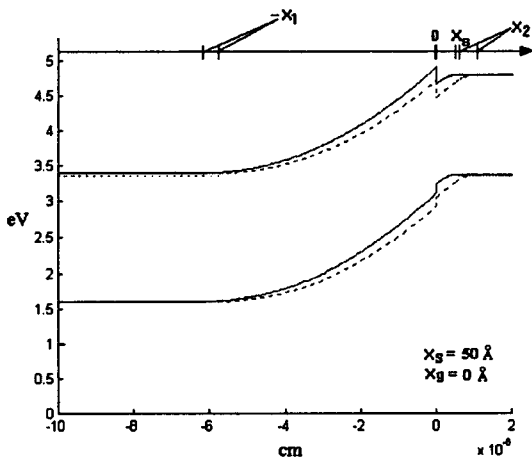


그림 2. setback layer를 포함한 Abrupt HBT의 에너지 밴드 다이어그램

그림 2에서 보여주는 것과 같이, Undoped setback layer를 베이스층에 추가함으로써 Spike의 상대적 높이

를 감소시켜 전자의 주입 효율을 개선함을 알 수 있다. 또한 베이스쪽에서 바라본 Spike의 높이는 setback layer의 두께를 증가 시킴에 따라 감소하므로, 준페르미 준위의 Spilliting은 감소함을 예측할 수 있다.

2.2 Graded layer의 효과

에미터와 베이스의 접합면에 Al의 mole fraction의 변화에 따른 Graded layer를 추가시킬 때, Setback layer와의 경향이 다른, 전자의 주입효율을 향상시킬 수 있다. 그림 3과 4는 Graded layer가 추가된 HBT의 에너지밴드를 시뮬레이션 한 것이다.

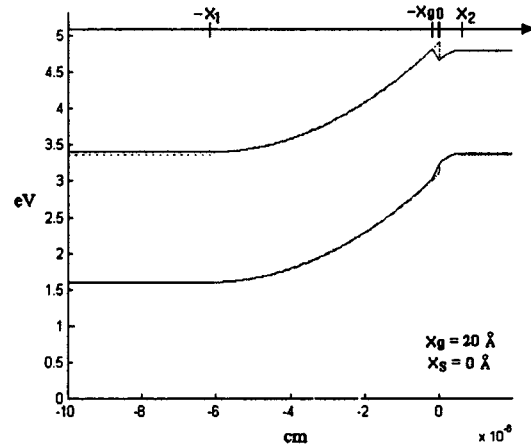


그림 3. Graded layer를 추가시킨 HBT의 에너지 밴드 다이어그램

그림 3은 에미터와 베이스 접합사이에 graded layer를 추가시켰을 때, 나타나는 에너지 밴드의 구조이다. Setback layer의 추가와 다르게 에미터부분의 공핍영역의 두께는 변하지 않음을 알 수 있다.

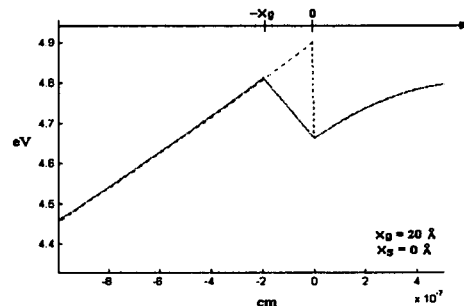


그림 4. Graded layer로 인한 Spike의 감소의 가시화

그림 4는 Spike의 변화를 좀 더 자세하게 알아본 것이다. Linearly graded layer를 추가시킴으로써 그 두께와 비례해 Spike의 높이는 감소함을 알 수 있다. 그리고 이를 통해 에미터의 주입효율은 향상됨을 예측할 수 있다. 그리고 이때의 준페르미준위의 Spilliting은 Graded layer의 두께에 반비례하여 나타남을 알 수 있다. 하지만, Setback layer와 Graded layer를 동시에 추가 시킬 때, 나타나는 준페르미 준위의 Spilliting은 지금까지의 논문에서 모델링되지 않았고, 이는 후에 Recombination current의 모델링에 반드시 필요한 물질변수로 나타날 것이다. 그림 5는 이와 같은 준페르미 준위의 Spilliting을 simulation 한 것이다.

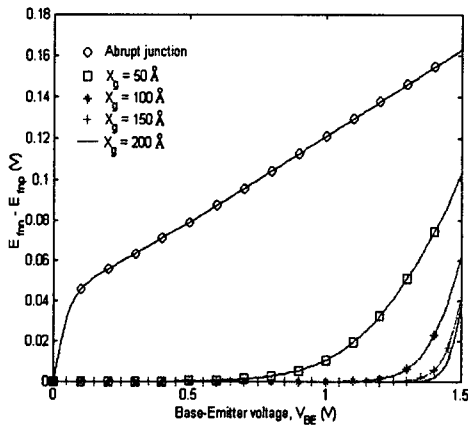


그림 5. 전압과 Graded layer 두께의 변화에 대한 준페르미준위의 변화

2.3 에미터-베이스 공핍영역의 변화

그림 5는 Abrupt HBT에서 전압과 X_S 에 따른 에미터 공핍영역의 두께의 변화를 시뮬레이션한 것이다. 이것을 통해 setback layer의 증가를 통해 에미터 공핍영역의 두께는 감소함을 알 수 있다. 이는 setback layer의 증가를 통해 베이스 쪽의 공핍영역의 전하량이 줄어, 에미터와 베이스 전하의 평형으로 인한 결과이다.

그림 6은 전압과 setback layer의 두께에 따른 베이스 공핍영역의 두께를 시뮬레이션한 것이다. 그림 6에서 보이는 것과 같이 베이스 공핍영역의 두께는 setback layer의 두께의 변화에 민감한 것으로 나타난다. Setback layer의 증가는 베이스 공핍영역의 증가를 유도한다. 하지만, abrupt HBT에서의 베이스 공핍영역보다 높은 setback layer의 증가는 공핍영역

의 전압 변화율을 일정하게 만든다. 이는 setback layer의 증가를 통해 setback layer를 뺀 베이스의 공핍영역의 폭이 감소됨을 예측할 수 있게 한다. 즉, Setback layer는 도핑이 되지않았으므로, setback layer의 증가는 베이스 공핍영역의 전압 변화율(전기적 특성)을 감소시킴을 알 수 있다.

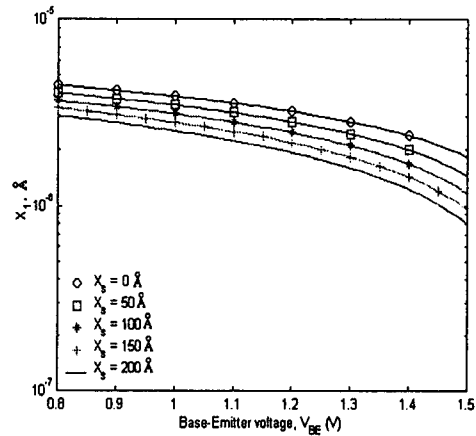


그림 6. Abrupt HBT에서 전압과 X_S (setback layer 두께)에 따른 X_1 의 변화

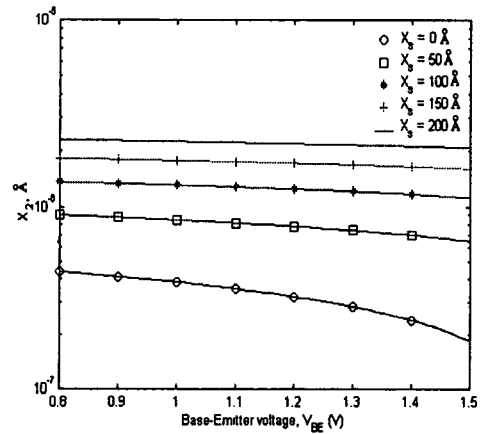


그림 7. 전압과 X_S 의 변화에 의한 X_2 의 변화

4. 결론

1. 본 연구에서는 Graded layer와 Setback layer를 시뮬레이션을 통해 가시화시켜, 그 효과를 분석하였다.

2. 본 연구에서는 Graded layer와 Setback layer의 변화에 따른 기본적인 물질변수를 분석하였다.

참고 문헌

- [1]. Lundstorm, M.S., "An Ebers-Moll Model for the Heterostructure Bipolar Transistor", Solid-State Electron., Vol. 29, 1986, pp.1173-1179
- [2]. Ryum, B. R. and Abdel- Motaleb, I. M., "A Gummel-Poon Model for Abrupt and Graded Heterojunction Bipolar Transistor(HBT's)", Solid-State Electron., Vol. 33, 1990, pp.869-880
- [3]. Parikh, C.D. and Lindholm, F. A., "A New Charge-Control Model for Single and Double-Heterojunction Bipolar Transistor", IEEE Trans. Electron Device, Vol. 39, 1992, pp.1303-1311.
- [4]. Kroemer, H., "Heterojunction Bipolar Transistor and Integrated Circuits", Proc. IEEE, Vol. 70, 1982, pp.13-25
- [5]. Kroemer, H., "Theory of a Wide-Gap Emitter for Transistors", Proc. IRE, Vol. 45, 1957, pp.1535-1537
- [6]. Grinberg, A. A., Shur, M.S., Fisher, R.J. and Morkoc, H., "An Investigation of the Effect of Graded Layers and Tunneling on the Performance of AlGaAs/GaAs Heterojunction Bipolar Transistor", IEEE Trans. Electron Device, Vol. ED-31, 1984, pp.1758-1764
- [7]. Yang, K., East, J. R. and Haddad, G. I., "Numerical Modeling of Abrupt Heterojunctions Using a Thermionic-Field Emission Boundary Condition", Solid-State Electronics, Vol. 36, 1993, pp.321-330
- [8]. Liou, J.J., Ho, C.-S., Liou, L. L. and Huang, C. I., "An Analytical Model for Current Transport in AlGaAs/GaAs Abrupt HBTs with a Setback Layer", Solid-State Electron., Vol. 36, 1993, pp.819-825
- [9]. J. S. Yuan and J. Ning, "Analysis of abrupt and linearly graded heterojunction bipolar transistors with or without a setback layer", IEEE Proc G, 142, 252 (1995)
- [10]. C. D. Parikh and F. A. Lindholm, "Space-charge region recombination in heterojunction bipolar transistors", IEEE Trans. Electron Devices, ED-39, 2197 (1992)
- [11]. S. Searles and D. L. Pulfrey, "An Analysis of space-charge-region recombination in HBTs", IEEE Trans. Electron Devices, ED-41, 476 (1994)
- [12]. D. L. Pulfrey and S. Searles, "Electron quasi-Fermi level splitting at the base-emitter junction of AlGaAs/GaAs HBT", IEEE Trans. Electron Devices, ED-40, 1183 (1993)
- [13]. S. M. Sze, Physics of Semiconductor Devices, 2nd ed., Wiley, New York (1981)