

Passivation Ledge를 이용한 SiGe HBT의 Current Gain Modulation

유 병성, 조 회엽, *구 용서, 안 철.

서강대학교 전자공학과

*서경대학교 전자공학과

A SiGe HBT of Current Gain Modulation By using Passivation Ledge

Byoungsung You, Heeyup Cho, Younseo Ku, Chul Ahn.

Sogang University Electronic Engineering Department

*Sogyeong University Electronic Engineering Department

Abstract

Passivation Ledge's device is taken possession on one-side to the Emitter in this Paper. contact used in this paper Pt as Passivation Ledge of device to use Schottky Diode which has leitmotif. It is accomplished Current Modulation that we wish to do purpose using this device. Space Charge acts as single device which is becoming Passivation to know this phenomenon. This device becomes floating as well as Punched-through. V_L (Voltage for Ledge) = - 0.5V ~ 0.5V variable values, PD(Partially Depleted; $\Lambda > 0$), as seeing FD(Fully Depleted; $\Lambda = 0$) maximum electric current gains and Gummel Plot of I-V characteristics ($V_L = 0.1 / V_L = - 0.1$). Becomming Degradation under more than $V_L = 0.1$, less than $V_L = -0.05$ and Maximum Gain(= 98.617076 A/A) value in the condition $V_L = 0.1$. A Change of Modulation is electric current gains by using Schottky Diode and Extrinsic Base PN Diode of Passivation Ledge to Emitter Depletion Layer in HBT of Gummel-Poon I-V characteristics and the RF wide-band electric current gains change the Modulation of CE(Common-Emitter) amplifier description, and it had accomplished Current Gain Modulation by Ledge Bias that change in high frequency and wide bands.

I. 서론

최근의 무선통신 서비스는 GPS, PCS, IMT-2000, WLAN, Bluetooth, RFIC 등의 수요가 증가하고 있다. 따라서, GaAs의 성능을 유지하면서 저가 및 공정에 대한 높은 신뢰성을 얻을 수 있는 SiGe 소자를 이용한 HBT를 이용하는데 많은 중점을 두고 있는 것이 실정이다. IBM 계열사인 Comm-Quest Technologies가 97년 9월 중순에 SiGe 칩을 최초로 선보인 이후, IBM은 98년 10월 중 제 2의 새로운 제품군을 발표하여 지금은 SiGe은 이제 단일의 기판상에서 RF 기능들을 추가의 디지털 로직과 섞을 수 있는 새로운 SiGe BiCMOS 공정에 대한 신뢰성이 더욱더 늘어나고 있다. 본 논문에서는 이러한 SiGe HBT의 Current Gain을 Biased-Ledge의 장치를 이용하여 초고주파에서 전류이득 값을 변화시킴을 목적으로 하고 있다. 그리고, Passivation Ledge로 Depletion Region이 Device에서 Current Gain에 어떤 영향을 주는 것을 주 서술점으로 잡고 있다. 이를 이용하여 초고주파에서 AGC(Automatic-Gain-Control)증폭기를 설계할 수 있다.

II. HBT 의 Passivation Ledge 를 이용한 Device 구조

그림 1 에 보이는 NPN-SiGe/Si HBT 의 단면을 보여주 고 있는데, Emitter 한쪽 부분 크기가 $(0.05 \times 0.01) \mu\text{m}^2$ 에 P_1 전극 V_L 을 달았다. V_L 값에 따라서 차이가 있지만, P_1 전극의 역할은 Schottky Diode 의 역할을 하고, Emitter 의 Ledge 의 Depletion 영역이 변함에 따라서 Current Gain 이 변하게 된다. V_L 에 전압은 $-0.5 \sim 0.5$ [Volt] 사이에서 변 화 시키고, HBT 의 CE(Common Emitter)의 구조에서 전 류이득과 I-V 특성을 보면서 목적인 대로 값을 얻어 낼 수 있다. Emitter 의 두께는 $0.025 \mu\text{m}$ 으로 본 논문에서는 PD(Partially Depletion: $\lambda > 0$)인 경우는 ($V_L > V_{be}$) 인 조건이 기 때문에 Degradation 현상이 나타난다. FD(Fully Depletion: $\lambda = 0$)인 경우를 고려하였는데 가장 적절한 값으로 수렴시켜 갈 수 있다. 여기서, P_1 전극은 등전위 를 갖는다. 그때, P_1 전극 바로 아래의 Space Charge 를 고려하여 전류이득의 변화를 보았다.

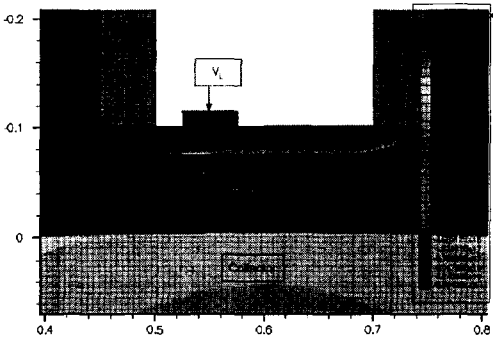


그림 1. Passivation Ledge 를 이용한 HBT 단면도

III. Ledge Bias 에 의한 Depletion Region 변화

우선적으로 ($V_L > V_{be}$)인 경우와 ($V_L \leq V_{be}$) 경우의 두 가지 경우를 고려해 볼 수 있다. 두 가지의 조건에 따라서 Depletion Region 의 영역변화를 가시적으로 볼 수 있고 V_L 의 값이 Device 의 가장 적절한 값을 가질 수

있다. 즉, 전류이득이 최대의 값을 이끌어 낼 수 있는 값은 위의 두 조건 사이에서 후자의 경우에 해당하고, 그림 2,3 에서 보듯이 V_L 이 Device 의 Space Charge 의 밀도가 적은 곳의 변화를 볼 수 있다. [1,4]

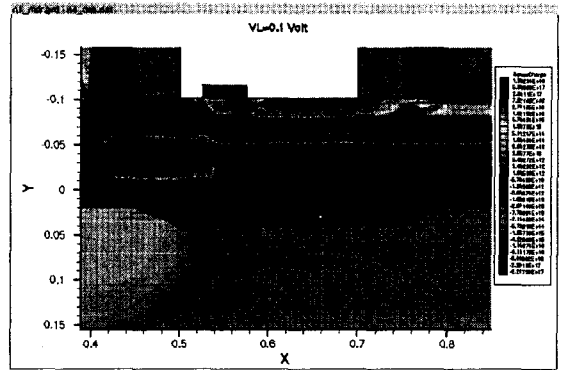


그림 2. $V_L = 0.1$ Passivation Ledge

그림 2 에서 Device 의 Passivation 현상이 확연하게 드러 난다. 그러나, 그림 3 의 경우에는 Passivation 의 현상이 일 어 나지만 Base 영역의 Depletion Layer 를 침범하게 된 다.

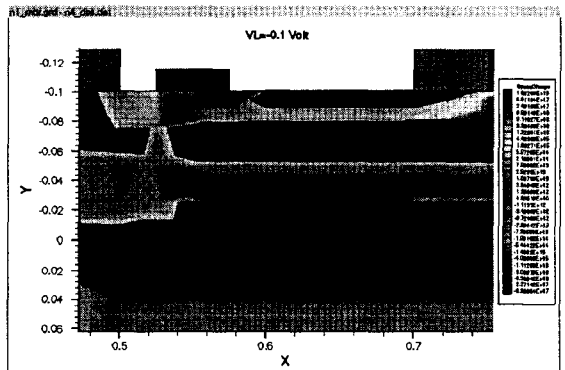


그림 3. $V_L = -0.1\text{V}$ Depletion Region 침범

또한 $V_L = -0.5\text{V}$ 의 RB 가 강해질 경우는 Passivation 이 존재하지만, Base Space Charge 의 부분에 연결되어 Degra-dation 현상이 강해진다. (그림 4)

또한 강한 FB($V_L = 0.25\text{V}$) 일 경우는 또한 Passivation 이 사라지면서 Degradation 현상이 일어 나게 된다. (그림 5)

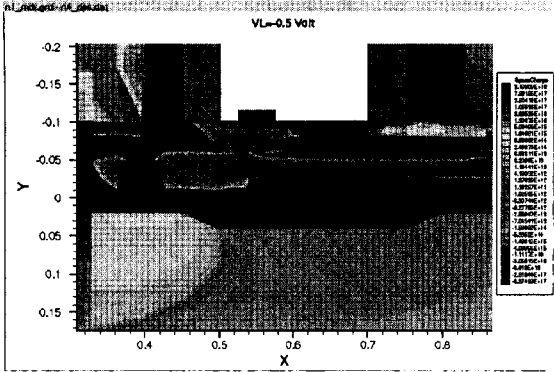


그림 4. $V_L = -0.5$ Depletion Region Degradation

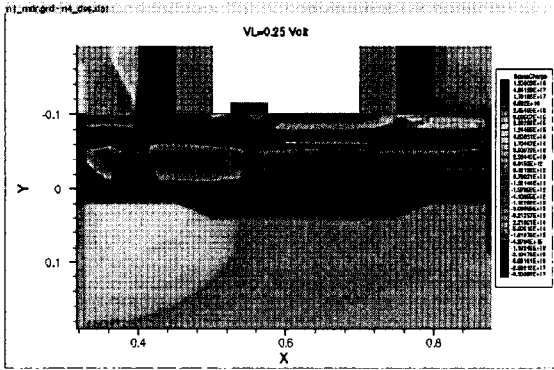


그림 5. $V_L = 0.25$ Passivation 소거 및 Degradation

IV. 등가모델과 결과분석

1. 등가모델

등가모델에 의해서 전류변조에 대한 수식적이고 회로적인 분석을 한다. 본 논문에서 FD, PD의 값은 V_L 의 값에 따라서 Device의 Passivation 변화에 따라서 전류변조를 이뤄냄을 그림 6과 같은 등가 모델로 설명할 수 있다. [1,3]

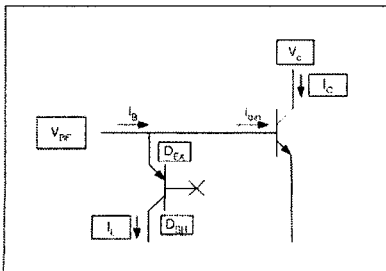


그림 6. FD HBT의 등가모델

기본적으로 제안된 HBT의 등가회로 모델에서 찾을 수 있는 전류 이득의 수치적 해석은 다음과 같다.

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\beta_0}{1 + (I_L + I_L^*) / I_{Bin}} \quad (1)$$

$$\beta_0 = I_C / I_{Bin}, \text{ 여기서 } I_L \gg I_L^*$$

I_L, I_L^* 은 Collector, Base를 각각 흐르는 누설 전류이다.

FD인 경우에 Punch-through이 되어진다. PD인 경우에는 Parasitic Multi-Emitter가 연결되어진다. [1]

좀더 상세한 변조에 대한 메커니즘을 이해하기 위해서 I_L 의 값과 $V_{be} - V_L$ 의 상관 관계에서 FD인 경우에서 완전히 Punch-Through된 경우에 누설전류 I_L 이 흐르게 되고 FB(Forward-Bias)와 RB(Reverse-Bias)에서 쉽게 전류 이득변조가 이뤄진다. 또한 기생적으로 존재하는 이중접합 다이오드(D_{EX})와 쇼트키 다이오드(D_{SH})에 의해서 I_L 과 $V_{be} - V_L$ 의 함수로서 특정 범위에서 전류 이득 변조를 쉽게 이뤄 낼 수 있다. 따라서, FD보다는 PD에서 변조를 좀더 쉽게 이뤄 낼 수 있다. [2]

그림 7에서 좀더 자세한 물리적 모델로 분석할 수 있는데, 이러 한 값을 얻어 내기 위해 V_{BE} 를 적용해서, V_{ledge} 에 의한 HBT Lateral Current를 구하면 [1]

$$\frac{d^2 J_L(x)}{dx^2} + \frac{\rho}{V_L} \cdot \frac{dJ_L}{dx} \cdot J_L(x) = 0 \quad (2)$$

공핍층을 형성하지 않는 $d_1 - d_2$ 에서 Λ 를 가정하면

$$J_L(x)|_{x=d_2} = J(d_2), \quad \left. \frac{dJ_L(x)}{dx} \right|_{x=d_1} = -\frac{dE(d_1)}{\Lambda} \quad (3)$$

d_2 에서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I(d_2) = I_{EX2} + I_{SH} \quad (4)$$

$$I_{SH} = (V_{BE} - V_{Ledge}) / R_d \quad (5)$$

그리고, 쇼트키 전류도 (5)식과 같이 나타낼 수 있다. [2]

2. 결과분석

그림 8, 그림 9 Gummel Plot I-V 곡선은 앞에서 언급했듯이 Depletion Ledge가 Base로 침범하여 Collector의 전류 값이 적어 짐으로써 Gain의 값을 악화시킴을 그림 8에서 보여주고 있다. 즉 HBT의 Base쪽의 Space Charge층이 반전이 된다.

Passivation된 경우로써 Current Gain의 영향을 Base쪽에서 줄이고 Emitter쪽의 Space Charge의 변화에 의한다.

즉, Base 공핍층이 늘어나고, Emitter의 공핍층도 늘어난다.

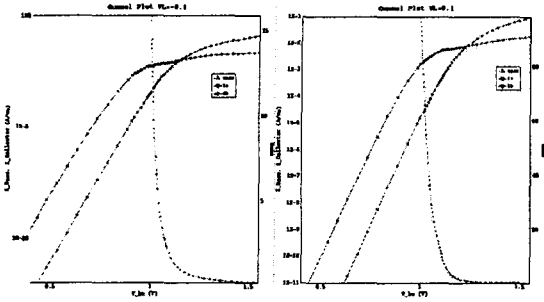


그림 8. $V_L = -0.1$ Gummel Plot 그림 9. $V_L = 0.1$ Gummel Plot

I-V 곡선은 앞에서 언급했듯이 Depletion Ledge가 Base로 침범하여 Collector의 전류 값이 적어 짐으로써 Gain의 값을 악화시킴을 그림 8에서 보여주고 있다. 즉 HBT의 Base 쪽의 Space Charge 층이 반전이 된다.[5] Passivation 된 경우로써 Current Gain의 영향을 Base 쪽에서 줄이고 Emitter 쪽의 Space Charge의 변화에 의한다. 즉, Base 공핍층이 늘어나고, Emitter의 공핍층도 늘어난다.

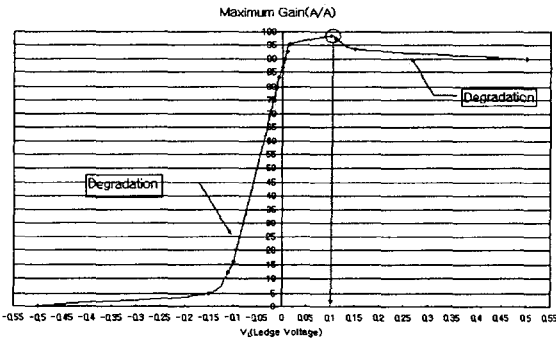


그림 10. Maximum Gain Curve

V_L (Voltage for Ledge) = $-0.5V \sim 0.5V$ 변화값이 PD(Partially Depleted; $\Delta > 0$), FD(Fully Depleted; $\Delta = 0$)를 보면서(1(c)) 최대 전류이득은 $V_L = 0.1$ 에서 Maximum Gain(=98.617076A/A) 값을 갖고 $V_L = 0.1$ 이상과 $V_L = -0.05$ 이하에서는 Degradation 된다.

V. 결론

Passivation Ledge를 통해서 Current Gain Modulation을 이뤄냄을 Ledge Voltage($V_L = -0.5 \sim 0.5$) 변화에서 최대 전류이득 값의 변화를 보았다. 즉, 그림 2,3,4,5에서 보이는 Ledge 아래의 공핍층과 그로 인해 Collector의 전류값이 변함으로써 결과를 얻을 수 있었다. 또한 $V_L = +0.1$ 에서 Maximum Gain(=98.617076A/A)을 얻을 수 있었는데, 이것은 공핍층과 전류이득의 값을 갖는데 적절한 최대점을 갖는다. 본 논문에서는 HBT Gain 변조를 같은 맥락으로 유사하게 higher Current Stress 이후 Gummel-Poon 특성으로 볼 수 있다. 전류이득의 변조를 Emitter에 Passivation Ledge라는 Schottky Diode와 Extrinsic Base PN Diode를 이용함으로써 Depletion Layer가 HBT의 Gummel-Poon I-V 특성과 그에 대한 RF 대역에 CE(Common-Emitter)증폭기의 전류 이득 변조를 기술하고, 고주파 대역에서의 변화하는 Ledge Bias에 의한 Current Gain Modulation을 이뤄 낼 수 있었다.

VI. 참고문헌

- [1] "Modulating HBT's Current Gain by Using Externally Biased On-Ledge Schottky Diode"
Pingxi Ma, Member, IEEE, Yuefei Yang, Peter Zampardi, R. T. Huang, and M. F. Chang, Fellow, IEEE
- [2] "Determining the Effectiveness of HBT Emitter Ledge Passivation by Using an On-Ledge Schottky Diode Potentiometer"
Pingxi Ma, Member, IEEE, Peter Zampardi, Liyang Zhang, and M. F. Chang, Fellow, IEEE
- [3] "Diode ideality factor for surface recombination current in AlGaAs/GaAs heterojunction bipolar transistors"
William Liu Member, IEEE, and James S. Harris, Jr, Fellow, IEEE.
- [4] "Reliability of AlGaAs/GaAs heterojunction bipolar transistors an overview"
Electrical and Computer Engineering Dept. University of Central Florida, Orlando, Florida, USA
- [5] ISE-Dessis manual, pp. 12-288, Ver.7.5 .