

상압 화학 기상 증착기를 이용한 고출력 SiGe HBT 제작  
(Fabrication of the High Power SiGe Heterojunction Bipolar Transistors using APCVD)

한 태현\* 한국전자통신연구소, 화합물반도체연구부  
이 수민 "  
조 덕호 "  
염 병렬 "

Tae-Hyeon Han\* Compound Semiconductor Research Dept., ETRI  
Soo-Min Lee "  
Deok-Ho Cho "  
Byung Ryul Ryum "

Abstract

A high power SiGe HBT has been fabricated using APCVD(Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition) and its performance has been analyzed. The composition of Ge in the SiGe base was graded from 0% at the emitter-base junction to 20% at the base-collector junction. As a base electrode, titanium disilicide(TiSi<sub>2</sub>) was used to reduce the extrinsic base resistance. The SiGe HBT with an emitter area of 2x8μm<sup>2</sup> typically has a cutoff frequency(f<sub>T</sub>) of 7.0GHz and a maximum oscillation frequency(f<sub>max</sub>) of 16.1GHz with a pad de-embedding. The packaged high power SiGe HBT with an emitter area of 2x8x80μm<sup>2</sup> typically shows a cutoff frequency of 4.7GHz and a maximum oscillation frequency of 7.1GHz at I<sub>C</sub> of 115mA.

I. 서 론

최근, 800MHz - 2.5GHz 대역의 무선 통신 시스템(wireless communication system) 시장이 활성화되면서 고성능을 갖는 저가의 RF 소자에 대한 수요가 급증하고 있다. 이러한 요구에 부응하여 기존의 화합물 반도체 소자와 성능을 견줄 수 있는 대표적인 실리콘 소자로 SiGe HBT(Heterojunction Bipolar Transistor)를 들 수 있다.

'80년대 후반부터 SiGe를 베이스층으로 사용하는 SiGe HBT 연구<sup>[1]</sup>가 시작된 이후 최근에는, Gas-Source MBE (GSMBE), Ultra High Vacuum/Chemical Vapor Deposition (UHV/CVD)등을 이용한 110GHz대의 차단 주파수(f<sub>T</sub>)를 갖는 초고속 SiGe HBT<sup>[2,3]</sup> 소자뿐 아니라, 20Gbps급 광통신기용 IC<sup>[4]</sup> 및 40GHz급 VCO<sup>[5]</sup>등의 IC 제작이 보고되고 있다. 특히, SiGe HBT는 잡음 특성, 선형성 및 전력 효율이 우수<sup>[6,7]</sup>하여 저잡음 증폭기, VCO 및 전력 증폭기등 RF 소자에 대한 응용 가능성이 한층 높아지고 있다.

본 논문에서는 800MHz - 2GHz대역에 이용 가능한 고출력 SiGe HBT를 제작하기 위해 LOCOS(LOCAl Oxidation of Silicon) 산화막이 성장된 기판 상에 SiGe 베이스 박막을 성장하였고, 베이스 저항을 줄여 전력 이득을 증가시키기 위해 티타늄 실리사이드로 베이스 전극을 형성하였다. SiGe 베이스 박막은 양산성을 고려하여 수율이 높은 상압 화학 기상 증착기를 사용하였다.

II. 소자 제작

비저항이 18-22Ω·cm인 p형 Si 기판에 비소(As)를 이은 주입하고 열처리하여 불순물 농도가 2x10<sup>19</sup>/cm<sup>3</sup>인 n<sup>+</sup>

매몰층(buried layer)을 형성한 다음, 웨이퍼 전면에 비소가  $5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 으로 도핑된 n 컬렉터를 상압 화학 기상 증착기로 성장하였다. LOCOS 산화막과 n<sup>+</sup> 컬렉터 싱커(sinker)를 형성한 다음, 웨이퍼 전면에 상압 화학 기상 증착기로 650°C에서 SiGe 베이스 박막을 성장하였다. SiGe 베이스 박막의 붕소(B) 농도는  $2 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ , Ge량은 0-20%로 컬렉터쪽을 높게 성장하였다. 에미터-베이스 접합 형성을 위한 열처리시 베이스 박막내의 붕소 외확산(outdiffusion)에 의한 베이스-컬렉터 계면의 기생 전위 장벽(parasitic potential barrier)의 형성<sup>8)</sup>과 에미터-베이스간의 터널링 전류<sup>3)</sup>의 증가를 막기 위하여 컬렉터 접합면과 에미터 접합면에 불순물이 첨가되지 않은 SiGe과 Si 박막을 베이스 박막 성장전 후에 각각 성장하였다.

(그림 1)은 SiGe 베이스 박막을 분석한 RBS(Rutherford Back Scattering)스펙트럼이며, RBS Yield는 10.3%로 bare 웨이퍼상에 성장된 박막(4~5%) 보다 큰 값을 나타냈다.

기존의 방법<sup>9)</sup>과 달리 베이스 박막이 성장된 웨이퍼 전면에 베이스 전극용 티타늄 실리사이드를 스퍼터링하고 베이스 전극이외 부분의 티타늄 실리사이드를 식각하여 베이스 전극을 형성하였다<sup>10)</sup>. 저온 산화막으로 에미터와 베이스를 격리시키고, 에미터 영역의 산화막을 식각한 후 저압 화학 기상 증착기로 에미터 전극용 다결정 실리콘을 증착하고 비소를 이온 주입한 다음, 에미터 접합 형성을 위해 확산로에서 840°C, 20분간 열처리를 하였다. SiGe 베이스 박막 성장 후 SiGe 내의 붕소의 재분포를 막기 위해 가능한 한 열처리를 하지 않았으며 에미터 접합 형성 및 비활성 베이스 영역에 이온 주입된 붕소의 활성화를 위해 유일하게 열처리를 하였다.

### III. 소자 특성 분석

본 논문에서는 컬렉터 전류(I<sub>C</sub>)를 증가시키기 위해 에미터 면적이  $2 \times 8 \mu\text{m}^2$  인 트랜지스터를 80개 병렬로 연결하였다. (그림 2)는 트랜지스터를 80개 병렬로 연결한 트랜지스터의 전류-전압 특성곡선이다. Early 전압은 120V를 얻었으며, 항복 전압은 18V로 측정되었다. (그림 3)은 V<sub>CB</sub>=0V에서 측정한 Gummel plot으로 이상적인 베이스

및 컬렉터 전류 특성을 보여 주고 있다. (그림 3)으로 부터 상압 화학 기상 증착기로 성장한 Si 컬렉터 박막과 SiGe 베이스 박막이 양질의 박막임을 알 수 있으며, 에미터 영역에 스퍼터링되었던 티타늄 실리사이드 박막이 효과적으로 제거되었음을 알 수 있다. (그림 4)는 컬렉터 전류 변화에 대한 전류 이득 특성을 보여 주고 있다. 전류 이득은 최대 160을 나타내었으며, 컬렉터 전류 변화에 대해 변화 폭이 적은 선형적인 특성을 보였다. 전류 이득이 100 mA 이상에서 급격히 감소하는 것은 측정 장비의 허용 전류 제한 때문이다.

트랜지스터의 고주파 특성을 고찰하고자 HP8510B network analyzer를 사용하여 산란 계수(S-parameter)를 측정하고 전력 이득(power gain)과 소신호 전류 이득(h<sub>21</sub>)을 분석하여 차단 주파수와 최대 진동 주파수(f<sub>max</sub>)을 구하였다. (그림 5)는 에미터 면적이  $2 \times 8 \mu\text{m}^2$  인 트랜지스터의 컬렉터 전류 변화에 대한 주파수 특성이다. 전류 이득이 1이 되는 차단 주파수는 컬렉터 전류가 2.0mA에서 6.0GHz이었고, 전력 이득이 1이 되는 최대 진동 주파수는 2.37 mA에서 8.1GHz이었다. 트랜지스터의 패드(pad)나 금속 배선등에 의한 기생성분을 제거한 경우, 차단 주파수와 최대 진동 주파수는 각각 7.0GHz, 16.1GHz로 증가하였다. (그림 6)은 에미터 면적이  $2 \times 8 \mu\text{m}^2$  인 트랜지스터를 80개 연결한 트랜지스터를 패키징한 후 측정된 컬렉터 전류 변화에 따른 주파수 특성을 나타낸다. 트랜지스터의 차단 주파수와 최대 진동 주파수는 V<sub>CE</sub>가 7V 일때 115mA의 컬렉터 전류에서 각각 4.7GHz, 7.1GHz로 최대값을 갖는다.

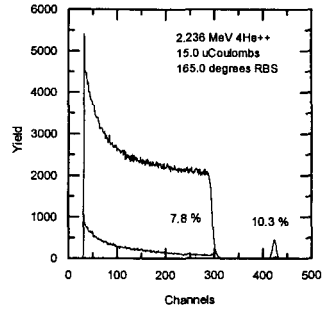
### IV. 결론

상압 화학 기상 증착기를 이용하여 고효율 SiGe HBT를 제작하고 전기적 특성을 분석하였다. 에미터 면적이  $2 \times 8 \mu\text{m}^2$  인 트랜지스터를 80개 연결한 고효율 트랜지스터를 제작한 결과, 최대 전류이득, Early 전압 및 항복 전압은 각각 160, 120V, 18V를 얻었으며, 차단 주파수와 최대 진동 주파수는 각각 4.7GHz와 7.1GHz의 최대값을 얻었다. 본 논문에서는 양산에 적합한 상압 화학 기상 증착

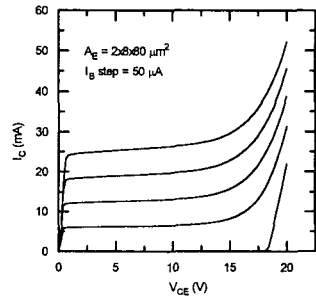
기로 SiGe 베이스 박막을 성장하여  $2 \times 8 \times 80 \mu\text{m}^2$ 의 에미터 면적을 갖는 고효율 트랜지스터를 누설 전류없이 제작 하였으며, 특성 분석 결과 RF대역의 전력 증폭기에 활용 이 가능하다.

參考文獻

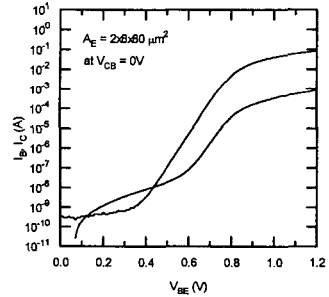
[1] S.S. Iyer, G.L. Patton, et al., IEEE IEDM Tech. Dig., pp. 874-876, Dec., 1987.  
 [2] A. Schüppen, A. Gruhle et al., Electronics Letters vol. 30, pp. 1187-1188, 1994.  
 [3] E. Crabbé, B. Meyerson et al., DRC, IIA-3, 1993.  
 [4] M. Soda, H. Tezuka, et al., BCTM, pp. 82-88, 1995.  
 [5] A. Gruhle, A. Schüppen et al., IEEE IEDM Tech. Dig., pp. 725-728, 1995.  
 [6] C. Kermaerrec, G. Dawe, et al., IEEE MW & MMW Circuit Symposium, Digest, pp. 1-4, 1994.  
 [7] H. Schumacher, U. Erben, et al., IEEE MW & MMW Circuit Symposium, Digest, pp. 213-216, 1994.  
 [8] E.J. Prinz and J.C. Sturm, IEEE IEDM Tech. Dig., pp. 853-856, 1991.  
 [9] D.L. Haraime, E.F. Crabbé, et al., IEEE IEDM Tech. Dig., pp. 19-22, 1992.  
 [10] B.Y. Ryum, T.-H. Han, and S.-C. Lee, ESSDERC '94, pp. 59-62, 1994.



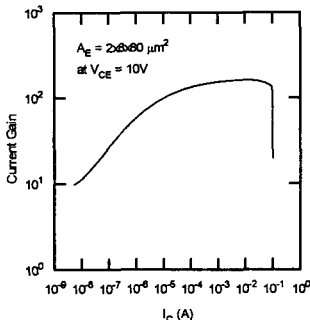
(그림 1) SiGe 베이스 박막의 RBS 스펙트럼



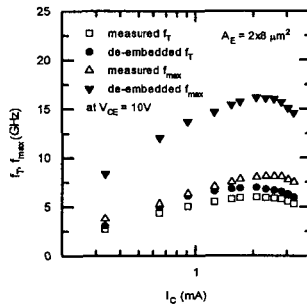
(그림 2) 고효율 트랜지스터의 전류-전압 특성곡선



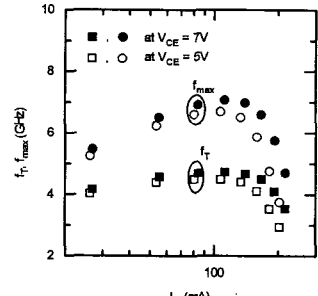
(그림 3) 고효율 트랜지스터의 Gummel plot



(그림 4) 고효율 트랜지스터의 컬렉터 전류 변화에 대한 전류 이득 특성곡선



(그림 5) 에미터 면적이  $2 \times 8 \mu\text{m}^2$  인 트랜지스터의 컬렉터 전류 변화에 대한  $f_T, f_{max}$



(그림 6) 고효율 트랜지스터의 컬렉터 전류 변화에 대한  $f_T, f_{max}$