

PSA-BiCMOS의 고온특성에 관한 연구

조정호, 구용서*, 안철
서강대학교 전자공학과
*서경대학교 컴퓨터공학과

Tel : 02-706-3401

E-mail : s197211@ccs.sogang.ac.kr

High Temperature Characterization of PSA-BiCMOS

Jong-Ho Cho, Yong-Seo Koo*, Chul An

Dept of Electronic Eng. Sogang Univ.

*Dept. of Computer Eng. Seokyeong Univ

Tel : 02-706-3401

E-mail : s197211@ccs.sogang.ac.kr

요약

This paper presents the characteristics of each MOS device and Bipolar device, then investigates about how these devices take effect on BiCMOS inverter from 300K to 470K. The turn-off and Logic swing characteristics of BiCMOS inverter are degraded by the electrical characteristics of the MOS to around 400K, but over that temperature enhanced by the characteristics of the Bipolar transistor.

1. 서론

1980년대 이후 반도체 집적회로의 응용분야가 항공, 자동차, 인공위성 산업 등으로 다양해지면서 회로나 시스템이 고온 환경에서 동작되어야 할 경우가 많아지고 있다. 일반적으로 CMOS 소자는 온도가 고온으로 증가함에 따라 전기적 특성이 저하되는 것으로 알려져

있다. 고온에서 MOS 소자는 subthreshold current가 증가하고 threshold voltage가 변화하며 latchup holding voltage 감소로 인해 latchup 발생이 용이해진다. 또한 T^{-1} 에 비례해서 surface mobility가 감소하여 transconductance가 줄어들게된다[1]. 이러한 CMOS circuit이 analog circuit에 사용되면 전체적인 gain이 감소되며 digital circuit에서는 switching 속도가 느려지게 된다[1]. 그러나 BiCMOS의 경우는 고온에서의 Bipolar의 특성향상에 의해 이러한 문제가 다소 해결될 수 있을 것으로 보인다. Bipolar 트랜지스터의 경우 상온에 비해 고온에서 성능이 개선되는 것으로 관찰되고 있다. 대표적인 예가 intrinsic carrier concentration 변화로 인한 전류이득의 증가이다[2]. 따라서 온도가 올라감에 따른 CMOS의 성능저하 그리고 Bipolar의 성능향상 중 어느것이 더 우세하게 BiCMOS의 특성에 영향을 주는지 고찰할 필요성이 있다고 생각된다. 본 연구에서는 온도증가에 따른 MOS 트랜지스터와 Bipolar 트랜지스터의 SPICE parameter 변화를 살펴보고 이를 기초로 BiCMOS inverter의 온도 특성을 조사해보고자 한다.

2. 소자구조 및 실험방법

실험에 사용된 소자 구조는 그림1과 같이 recessed oxide 격리 구조를 가진 PSA(Polysilicon Self-Aligned) BiCMOS 구조이다. 본 PSA 소자 제작 공정에서는 에미터 저항을 감소시키기 위해 RTA 공정으로 자연 산화막을 파괴하였다. 측정 소자의 에미터 면적은 $3 \times 3 \mu\text{m}^2$ 이고 베이스 접합 깊이는 $0.25 \mu\text{m}$, 에미터 접합 깊이는 $0.15 \mu\text{m}$, 다결정 실리콘의 두께는 3000 \AA 이다. 에피층과 에미터, 베이스 영역의 불순물 도핑농도는 각각 $N_{\text{epi}}=3 \times 10^{16}/\text{cm}^3$, $N_{\text{B}}=1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$, 그리고 $N_{\text{F}}=3 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 이다. 온도 감소에 따른 BiCMOS 특성은 그림2와 같은 inverter 회로를 사용하여 측정하였다.

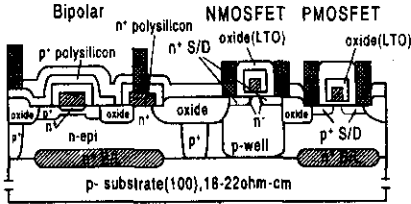


그림 1. PSA Bipolar & BiCMOS

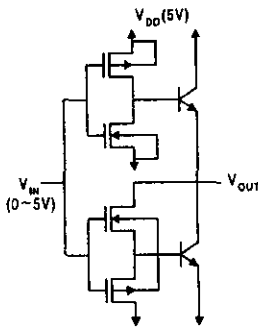


그림 2. BiCMOS inverter

고온환경 조성을 위해 hot chuck과 heat controller를

이용하였으며 Bipolar와 MOS 트랜지스터의 SPICE parameter를 추출하기 위해 HP4145B parameter analyzer를 이용하였다.

3. 측정 및 결과분석

nMOS 트랜지스터의 transconductance(gm)는 그림 3과 같이 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보인다. 이는 lattice scattering 증가에 따른 surface mobility의 감소에 의한 것이다[1].

$$\mu \propto T^{-n} \quad (1 < n < 2.5)$$

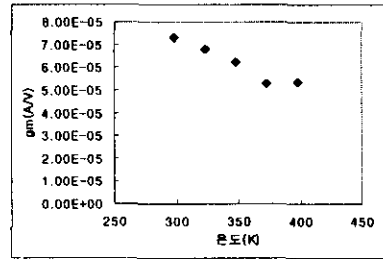


그림 3. 온도에 따른 transconductance(gm)

그림 4는 Threshold voltage(VT)가 온도가 증가할수록 감소하는 경향을 보이고 있다. Threshold voltage의 온도 의존도는 substrate doping이 낮을수록 좋아진다고 알려져 있다. 그러나 doping이 낮으면 leakage current가 증가하게 되어 power 소모가 커지는 단점을 가지게 된다[1].

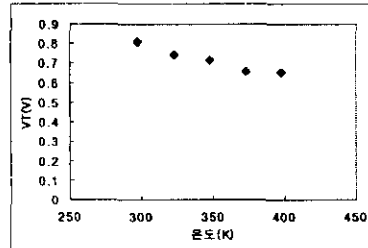


그림 4. 온도에 따른 Threshold voltage(VT)

Bipolar 트랜지스터의 전류이득(hFE)은 그림 5에서와

같이 고온으로 갈수록 증가하는 경향을 보여주고 있다.

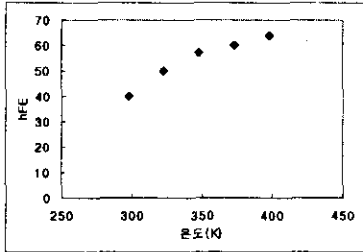


그림 5. 온도에 따른 전류이득(hFE)

Bipolar 트랜지스터는, 온도변화에 따라 intrinsic carrier concentration이 변화하여 아래식과 같이 온도가 전류이득 변화에 큰 영향을 미치게 된다.

$$\beta \propto \frac{n_{iE}^2}{n_{iB}^2} \propto \exp\left(-\frac{\Delta E_g}{kT}\right)$$

따라서 온도가 증가하면 전류이득이 지수함수적으로 증가하게 된다[2].

그림 6은 온도에 따른 saturation current의 변화이다. 고온으로 갈수록 saturation current는 급격히 증가하여 collector current를 증가시킬 것이며 이는 large capacitance 구동능력을 향상시킬 것이다.

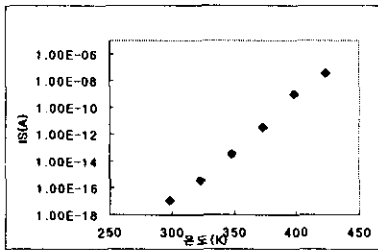


그림 6. 온도에 따른 saturation current

그림 7에 나타난 BiCMOS inverter의 최대 출력전압은, 약 400K정도까지 완만하게 감소하다 그 이상의 온도에서는 완만하게 증가하는 경향을 보여준다. 약 400K까지는 nMOS 소자의 drain-to-body leakage current의 증가에 의해 최대 출력전압이 감소하였지만, 400K 이상에서는 Bipolar 트랜지스터 전류이득의 급격한 증가가 최대 출력전압의 증가에 영향을 미친 것

로 보인다[3].

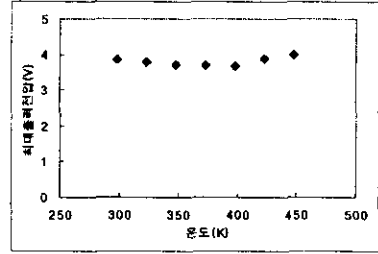


그림 7. 온도에 따른 최대 출력전압

그림 8의 Logic swing 전압은 최대 출력전압의 변화 폭보다는 다소 크게 나타났다. BiCMOS에 사용된 pMOS의 width는 nMOS의 width보다 약 2배정도 크기 때문에 leakage current도 약 2배정도 증가하여 최소 출력전압을 증가시키게 된다. 따라서 온도가 증가할수록 Logic swing 감소폭은 최대 출력전압 감소폭보다 크게 된다. 그러나 400K 이상에서는 Bipolar 트랜지스터 전류이득 증가로 인해 Logic swing 전압이 오히려 증가하고 있다[3].

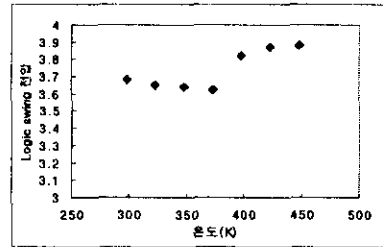


그림 8. 온도에 따른 Logic swing 전압

그림 9는 BiCMOS inverter의 turn-off 기율기이다. turn-off 기율기는 400K까지 감소하다 그 이상에서는 증가하는 경향을 나타냈다. CMOS inverter의 경우 rise time, fall time은 mobility에 의해 영향받는다[4].

$$t_{r,f} \propto \frac{1}{\beta_{p,n}}$$

$$\beta_{p,n} = \mu_{p,n} C_{OX} \left(\frac{W}{L} \right)$$

그런데 온도가 증가하면 mobility가 감소하므로 rise time, fall time이 증가하여 switching speed가 느려지

게 된다. 그러나 Bipolar 트랜지스터의 경우 온도가 증가하면 diffusion capacitance 값이 줄어들어 base에서의 storage time이 감소하게 된다[5]. 이때문에 switching speed가 향상되는 것으로 보인다. 따라서, 약 400K 이하에서는 MOS에 의해, 그 이상의 온도에서는 Bipolar에 의해 turn-off 기율이 결정되는 것으로 생각된다.

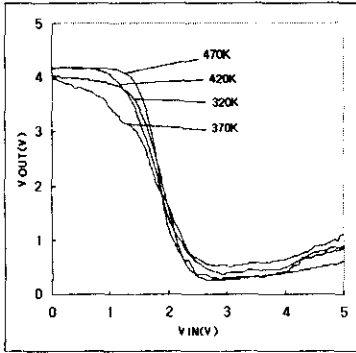


그림 9. 온도에 따른 BiCMOS inverter 특성곡선

4. 결론

300K에서 470K까지의 고온 환경에서 MOS와 Bipolar의 개별 소자 특성을 살펴보고, 이러한 특성들이 BiCMOS의 성능에 어떠한 영향을 미치는지를 분석하였다. 고온에서 MOS는 transconductance와 Threshold voltage가 감소하고, Bipolar는 전류 이득과 saturation current가 증가하였다. BiCMOS의 경우 약 400K까지는 MOS 소자의 특성저하로 인해 turn-off 특성과 Logic swing 특성이 저하되었으며 그 이상의 온도에서는 Bipolar 소자의 영향이 우세하게 되어 BiCMOS inverter 성능이 향상되었다. 고온에서 MOS 트랜지스터의 mobility degradation에 의한 BiCMOS inverter 특성저하는, (W/L) 또는 Body-bias를 적절히 조절하여 개선할 수 있다. 그러나 이렇게 할 경우 leakage current가 증가할 수 있으므로, BiCMOS 회로가 400K까지 성능저하없이 동작되도록 하기 위해선 MOS 소자의 성능 개선이 더 필요할 것으로 생각된다.

5. 참고문헌

- [1] M. L. Willander, H. L. Hartnagel, "High Temperature Electronics," Chapman & Hall, 1997
- [2] Kenneth R. Laker, Willy M. C. Sansen, "Design of Analog Integrated Circuits and Systems," McGraw-Hill, 1994
- [3] F. S. Shoucair, Wei Hwang, Prem Jain, "Electrical Characteristics of Large-Scale Integration Silicon MOSFET's at very High Temperatures, Part III: Modeling and Circuit Behavior," IEEE, Trans. Component, Hybrid, and Manufacturing Technology, Vol. CHMT-7, pp.146-153, 1984
- [4] Neil H. E. Weste, Kamran, Eshraghian, "Principles of CMOS Design," Addison Wesley, 1994
- [5] Edwards. Yang, "Microelectronic Devices," McGraw-Hill, 1988