

# 온도 증가에 따른 nMOSFET의 Hot carrier effect 변화

원명규, 김도형, 안철  
서강대학교 전자공학과

## Hot carrier effect of nMOSFET's at elevated temperatures

won@eesemil.sogang.ac.kr

MyoungKyu-Won, DoHyung-Kim, Chul-An  
Dept. of Electronic Eng. Sogang Univ.

### 요약

25℃에서 120℃까지 온도를 증가시키면서 hot carrier effect에 의한 nMOSFET의 degradation을 drain current와 transconductance의 변화를 통해 알아보았다. 온도가 증가할수록 hot carrier에 의한 degradation이 전체적으로 줄어드는 것을 볼 수 있었다. stress를 가한 후 reverse mode로 측정하였는데 saturation 영역보다 linear 영역에서 drain current의 degradation이 크게 나타났으며 온도가 증가할수록 이러한 경향이 유지되면서 degradation이 감소하였다. transconductance는 linear 영역과 saturation 영역에서 각각 측정하였는데 온도가 증가할수록 linear 영역의 degradation이 많이 감소하였다.

### 1. 서론

VLSI 기술이 발달하여 MOSFET의 채널길이가 서브마이크론으로 감소됨에 따라 채널 전기장의 증가로 short channel effect가 크게 중요해 졌다. 그중 hot carrier effect에 의한 degradation이 가장 큰 문제가 되고 있다. nMOSFET의 경우 hot electron effect에 의해 substrate current가 증가하고, 문턱전압이 증가하며, transconductance가 감소하며 소자의 수명이 감소하는 현상이 나타난다[1]. 이러한 현상은 온도에 따라

달라지는데 저온에서는 hot carrier effect가 상온보다 증가하게 된다[2]. 상온과 저온에서의 hot carrier effect는 여러 논문에서 연구가 이루어졌으나 고온 특성에 대한 연구는 거의 없었다. 소자의 집적도가 높아질수록 단위 면적당 전력 소비가 증가하여 칩의 온도가 증가하게 된다. 동작온도가 증가하게 되면 mobility 감소로 인해 전류가 줄어들고 hot carrier effect에 의한 영향도 상온과 다를 것으로 예상된다. 이러한 영향은 소자의 동작 특성에 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 특히 상온에서 고온으로 온도를 올리면서 hot carrier effect에 의한 degradation을 비교하였다.

### 2. 측정

실험에 사용된 소자는 gate가  $L=0.5\mu\text{m}$ ,  $W=20\mu\text{m}$ ,  $t_{ox}=100\text{\AA}$ , 문턱전압은 0.5V, spacer의 폭이  $0.12\mu\text{m}$ 이고 P를 20keV로  $3 \times 10^{13}/\text{cm}^2$ 의 dose로 이온 주입한 LDD 구조를 갖는 nMOSFET이다. stress는 maximum substrate current condition  $V_{gs} \approx 0.5V_{ds}$  ( $V_{gs}=3V$ ,  $V_{ds}=6V$ )으로 하였고[3], stress를 10000초까지 가하면서 drain current와 transconductance를 측정했다. 온도는 각각 25℃, 80℃, 120℃로 했으며, 측정은 reverse mode로, 즉 stress를 가한 후 drain과 source의 단자를 바꾸어 측정하였고 측정 장비로 4145B를 사용했다.

### 3. 결과 및 분석

그림 1, 2, 3은 25°C, 80°C, 120°C에서 stress를 가하기 전과 후의 Id-Vd 그래프이다. 온도가 증가할수록 전류의 크기가 줄어들고 degradation도 줄어드는 것을 볼 수 있다. Vgs=3V 인 경우 최대 전류가 각각 13.5%, 8.0%, 4.8% 감소했다. reverse mode로 측정하였으므로 saturation 영역에서도 degradation이 현저하게 나타나고 있다.

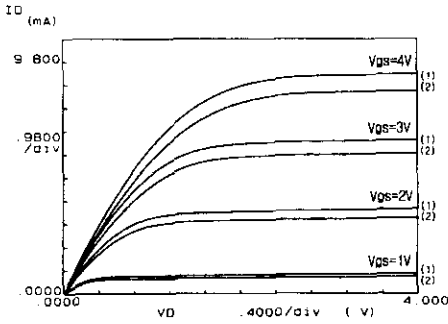


그림 1 Id-Vd 특성곡선 (25°C)  
 (1)stress 0초, (2)stress 10000초  
 (Vgs=3V인 경우 I<sub>max</sub> 13.5% 감소)

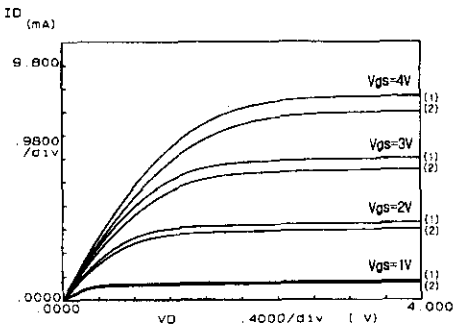


그림 2 Id-Vd 특성곡선 (80°C)  
 (1)stress 0초, (2)stress 10000초  
 (Vgs=3V인 경우 I<sub>max</sub> 8.0% 감소)

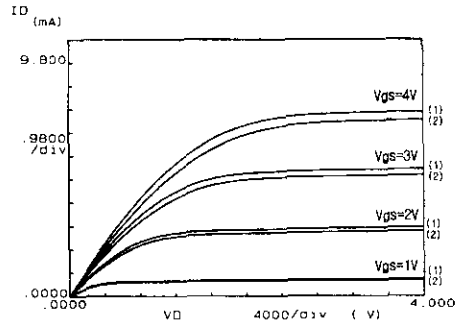


그림 3 Id-Vd 특성곡선 (120°C)  
 (1)stress 0초, (2)stress 10000초  
 (Vgs=3V인 경우 I<sub>max</sub> 4.8% 감소)

그림 4는 saturation 영역에서 drain current가 stress 시간에 따라 degradation되는 정도를 보여 주고 있다. current는 Vds=4V, Vgs=3V에서 측정했고 stress 전과 10000초 stress 후를 비교했는데 degradation이 온도가 증가할수록 감소하는 것을 볼 수 있다.

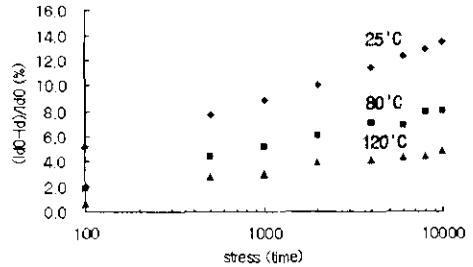


그림 4 saturation 영역에서의 Id의 degradation  
 (Vds=4V, Vgs=3V, stress 10000초)

그림 5는 상온과 고온에서 drain current의 degradation이 drain voltage에 대한 의존성을 보여주고 있다. 같은 온도일 때 linear 영역의 degradation이 saturation 영역에서보다 크고 이러한 drain voltage에 대한 의존성은 온도가 증가해도 유지되는 것을 볼 수 있다.

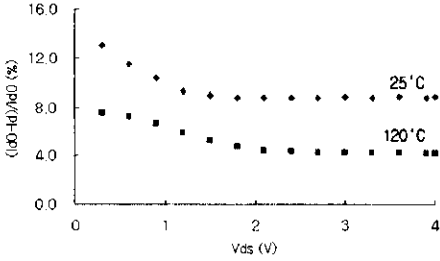


그림 5 상온과 고온에서 Vds에 따른 Id의 degradation (Vgs=3V, stress 10000초)

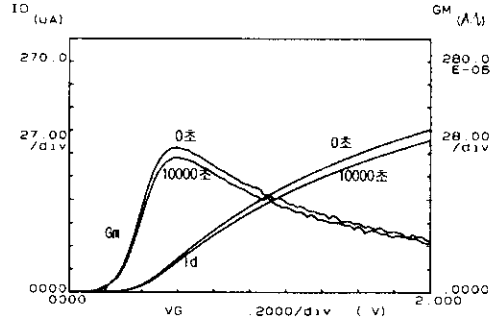


그림 8 gm-Vgs 그래프 (gm<sub>max</sub> 6.9% 감소) (120°C, Vds=0.05V, stress 10000초)

그림 6, 7, 8은 각각 25°C, 80°C, 120°C에서 Id와 gm의 Vgs에 대한 그래프이다. 온도가 증가할수록 Id와 gm의 크기와 degradation이 감소하는 것을 볼 수 있다. 최대 gm이 각각 14.7%, 10.7%, 6.9% 감소했다.

transconductance의 degradation은 온도가 높아질수록 linear 영역과 saturation 영역에서 모두 감소했으며 linear 영역에서 더 많이 감소하는 것을 볼 수 있다. 10000초인 경우 온도가 25°C와 120°C로 증가했을 때 saturation 영역은 10.6%에서 4.5%로, linear 영역은 16.0%에서 7.8%로 각각 degradation이 감소했다(그림 9, 10).

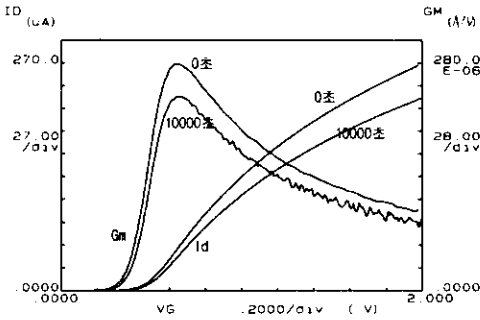


그림 6 gm-Vgs 그래프 (gm<sub>max</sub> 14.7% 감소) (25°C, Vds=0.05V, stress 10000초)

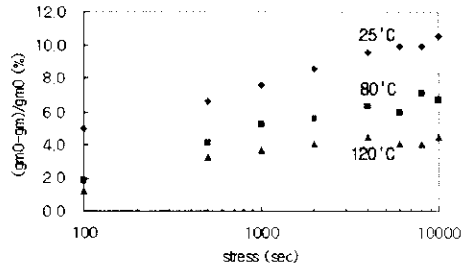


그림 9 saturation 영역에서 gm의 degradation (Vds=4V, Vgs=3V)

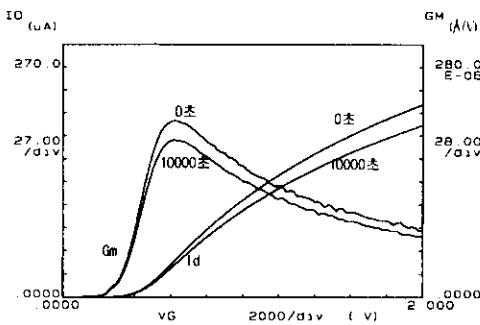


그림 7 gm-Vgs 그래프 (gm<sub>max</sub> 10.7% 감소) (80°C, Vds=0.05V, stress 10000초)

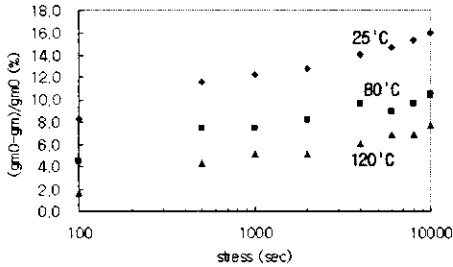


그림 10 linear 영역에서 gm의 degradation  
(Vds=1V, Vgs=3V)

hot carrier effect는 특히 short channel MOSFET에서, 증가한 전기장에 의해 channel을 이동하는 carrier가 큰 에너지를 얻어 channel과 인접한 drain 영역과 gate oxide 층에 충돌에 의해 injection되거나 interface state를 형성하여[4] drain current 및 trans conductance가 감소하고, 문턱전압이 증가하는 등의 degradation을 초래하게 된다. 전자의 유효질량이 정공보다 작으므로 이러한 효과는 nMOSFET에서 더 현저하게 나타난다. 그러나 온도가 증가하게되면 격자 진동이 증가하므로 phonon scattering이 증가하고 mobility와 saturation velocity는 감소한다. 따라서 hot carrier의 생성이 줄어들게 되고 hot carrier에 의한 interface charge density의 변화와 interface state의 생성이 줄어들게 된다[5]. 그러므로 hot carrier effect에 의한 degradation이 감소하는 것으로 생각된다..

#### 4. 결론

25°C, 80°C, 120°C에서 각각 stress를 10000초까지 가한 후 reverse mode로 drain current와 trans conductance의 degradation을 측정했다. 고온에서 hot carrier effect에 의한 degradation은 상온에 비해서 모두 감소하는 경향을 보였다. 같은 온도일 때 drain current는 saturation 영역에서보다 linear 영역에서 degradation이 더 크고 이러한 경향은 온도와는 무관했다. transconductance의 degradation도 온도가 올라갈수록 감소했으며 linear 영역에서 그 정도가 더 크게 나타났다.

#### 5. 참고 문헌

- [1] 김재영, "LDD nMOSFET에서 유효채널길이의 증가로 해석한 Hot Carrier 열화", 서강대학교 박사학위 논문, 1997
- [2] C. Yao, J. Tzou and R. Cheung, "Temperature Dependence of CMOS Device Reliability", IEEE IRPS-86, Tech Dig., pp.175-182, 1986
- [3] C. Hu, Advanced MOS Physics, VLSI Electronics, Vol. 18, Academic Press Inc., 1989
- [4] Toshiaki Tsuchiya, Toshio Kobayashi and Shigeru Nakajima, "Hot-Carrier-Injected Oxide Region and Hot-Electron Trapping as the Main Cause in Si nMOSFET Degradation", IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. ED-34, No. 2, pp.386-391, 1987
- [5] Yoshihiro Satoh, Kazutoshi Miyamoto and Heihachi Matsumoto, "The Effect of Temperature on Hot Electron Trapping in MOSFET's", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 22, No. 4, pp.L221-L222, 1983
- [6] H.S. Hwang, JS Goo, H Kwon and HS Shin, "Anomalous Hot Carrier Degradation of nMOSFET's at Elevated Temperatures", IEEE Electron Device Lett. Vol. 16, No. 4, pp.148-150, 1995