

고압의 수소 및 중수소 분위기에서 열처리된 실리콘 산화막의 전기적 특성 관찰

이재성, 백종무*, 도승우**, 장철영**, 이용현**
 위덕대학교, *대원과학대학, **경북대학교,

Electrical Characteristics of Ultra-thin SiO₂ Films experienced Hydrogen or Deuterium High-pressure Annealing

Jae-sung Lee, Jong-mu Baek*, Seung-woo Do**, Cheol-yeong Jang**, Yong-hyun Lee**
 Uiduk Univ. *Daewon Science College, **Kyungpook National Univ.

Abstract : Experimental results are presented for the degradation of 3 nm-thick gate oxide (SiO₂) under both Negative-bias Temperature Instability(NBTI) and Hot-carrier-induced(HCI) stresses using P and NMOSFETs that are annealed with hydrogen or deuterium gas at high-pressure (1~5 atm.). Statistical parameter variations depend on the stress conditions. We suggest that deuterium bonds in SiO₂ film is effective in suppressing the generation of traps related to the energetic hot electrons.

Key Words : Hydrogen, Deuterium, Gate Dielectric, Reliability, Defect

1. 서 론

현재의 CMOS 공정에서는 나노급의 두께를 갖는 실리콘 산화막(SiO₂)을 MOSFET의 게이트 절연막으로 사용하고 있다. 절연막의 두께가 얇아질수록 소자의 성능은 증가하지만 신뢰성은 매우 취약하게 된다. 실리콘 산화막의 결함 생성은 막내에 존재하는 수소 결함과 관련이 있다고 알려져 있다. 그러나 수소 관련 제조 공정(passivation 공정)은 CMOS 공정의 기본이므로, 수소 관련 다양한 실험 결과를 통해 소자의 전기적 특성과 스트레스에 의한 aging 효과의 상관관계를 밝혀야 한다. 본 연구에서는 CMOS 공정으로 제조된 나노급 크기의 MOSFET를 수소 및 중수소에서 추가적으로 열처리를 행하여 각 소자의 열화 특성을 조사하였다. 열화의 원인인 결함의 거동을 관찰하여 박막의 실리콘 산화막의 신뢰성을 높이는 방법을 모색하고자 한다.

2. 실험

기본적인 CMOS 공정을 사용하여 실리콘 산화막(SiO₂)의 물리적 두께가 약 3 nm 이고 채널 길이와 폭이 최소 0.13μm인 MOSFET 소자를 제조하였다. 게이트 산화막은 H₂-O₂ 분위기에서 성장시킨 후, NO 열처리를 통해 제조되었다. 게이트 전극 물질로는 고농도 도핑된 250 nm 두께의 다결정 실리콘을 사용하였다. 금속 배선 형성 후, 후속 열처리는 수소(H₂) 분위기에서 행하여졌다. 기본적 후속 열처리 공정을 행한 소자는 두 분류로 나누어, 추가로 수소 및 중수소 열처리를 각각 행하였다. 추가 열처리는 450℃, 및 1~5 기압의 조건에서 이루어졌다. Negative-bias Temperature Instability (NBTI) 및 Hot-Carrier-induced (HCI) 스트레스를 통해 실리콘 산화막을 열화시켰다.

3. 실험 결과

그림 1은 실험에 사용된 모든 조건에서 열처리 된 소자들의 열화 이전에 측정된 포화 전류를 나타낸다. 열처리 조건은 다르지만 MOSFET의 전기적 특성은 동일하게 나타나고 있다.

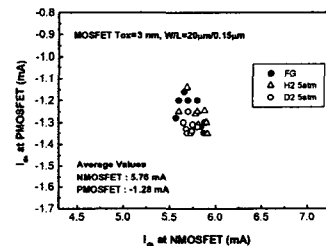


그림 1. 사용된 MOSFET의 스트레스 이전 특성.

그림 2는 NBTI 스트레스를 행함에 따라 나타나는 PMOSFET의 문턱전압 이동 및 포화 전류 감소를 보여 주고 있다. 원시료(FG)에 비해 수소 분위기의 압력이 증가할수록 실리콘 산화막의 열화가 증가되고 있다. 수소 및 중수소 열처리 효과에서는 같은 조건에서 중수소를 사용함으로써 실리콘 산화막의 열화를 다소 억제할 수 있었다(동위원소 효과). 이러한 동위원소 효과는 실리콘 산화막의 bulk 결함 생성과정에서 확인 할 수 있었다. 그림에서 추가 열처리를 하지 않은 원시료가 추가 중수소 열처리된 시료보다 열화가 적게 진행됨을 확인 할 수 있다. 이는 실리콘 산화막내에 존재하는 과도한 중수소 및 수소는 열화의 원인이 될 수 있음을 나타낸다 (bulk 결함 증가). 그림 3은 NBTI 스트레스를 행함에 따라 나타나는 NMOSFET의 최대 전달컨덕턴스 및 문턱전압의 변화를 열처리 가스 종류에 대해 나타내고 있다. 전달컨덕턴스는 선형영역에서, 문턱전압은 포화영역에서 각각 측정되었다. 문턱전압의 결과에서는 동위원소 효과가 관찰되었지만, 전달 컨덕턴스의 결과에서는 수소 및 중수소 열처리에 의한 차이가 나타나지 않았다. 그림 4는 PMOSFET를 상온

에서 HCl 스트레스 인가함에 따라 나타나는 소자 파라미터의 변화를 보여 주고 있다. 뚜렷한 중수소 열처리 효과가 나타나지 않고 있다. 그러나 같은 조건에서 실험된 NMOSFET의 경우에는 중수소에 의해 열처리된 소자가 원시료에 비해 HCl 열화가 매우 억제됨을 알 수 있었다.

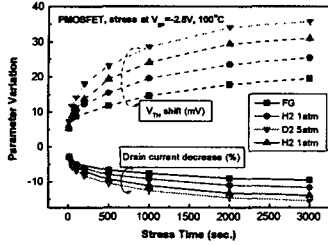


그림 2. 열처리 조건에 따른 PMOSFET 특성 열화.

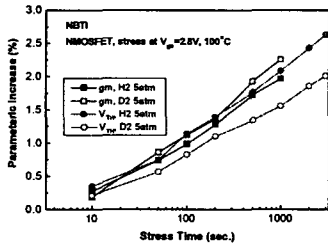


그림 3. NMOSFET의 NBTI 열화 특성.

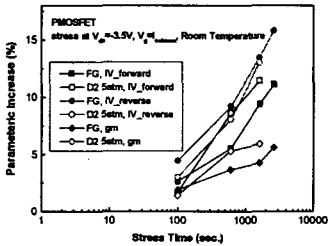


그림 4. PMOSFET의 HCl 열화(상온) 특성.

그림 5는 그림 4의 실험과 같은 조건에서 스트레스 온도를 100°C로 상승하였을 때 나타나는 실리콘 산화막의 열화를 나타낸다. 중수소 열처리 시료(D2 5atm)가 원시료(FG)에 비해 다소 열화가 억제됨을 알 수 있다. 이는 그림 5의 스트레스 조건은 HCl 뿐 아니라 NBTI (그림 2) 열화가 동시에 나타나기 조건이기 때문으로 판단된다.

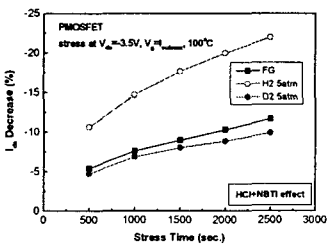


그림 5. PMOSFET의 HCl 열화(100°C) 특성.

4. 토의

본 실험은 소자의 metal 1 공정 이후에 forming gas 공정 및 추가 열처리 공정이 이루어졌기 때문에 수소나 중수소는 게이트 전극용 다결정 실리콘 및 실리콘 질화막(spacer) 등을 통과하여 게이트 산화막인 SiO₂로 확산되게 된다. 그러나 다결정 실리콘에서 수소의 확산계수가 중수소에 비해 높기 때문에 소자의 반전층 부근에는 수소 결합이 존재할 확률이 높아진다. 반면에 spacer (Si₃N₄) 부근에는 중수소 결합이 존재할 수 있게 된다(그림 6 참조). 이러한 상황에서 NBTI 스트레스는 반전층 근처의 결합생성과 관련이 있고, HCl은 spacer(드레인/소오스 overlap 부분) 근처의 결합생성과 깊은 관련이 있다.

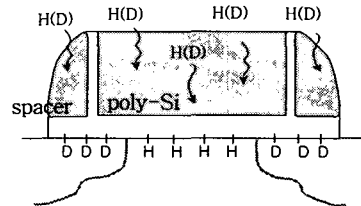


그림 6. 수소 및 중수소의 결합 모델.

5. 결론

실리콘 산화막을 게이트 절연막으로 사용한 MOSFET에 추가적으로 수소 및 중수소에서 열처리함으로써 MOSFET에서 발생할 수 있는 열화 원인을 분석하고자 하였다. NBTI 스트레스에 의한 열화는 채널 전 영역에 걸쳐 발생하며, HCl 스트레스의 경우에는 드레인 근처의 좁은 채널 영역에서 열화가 발생하게 된다. 추가 열처리에 의한 수소 및 중수소 결합은 채널 전 영역 및 드레인/소오스의 overlap 영역에서 각각 형성될 확률이 높다. 이러한 원인에 의해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 가. NBTI 스트레스는 실리콘 산화막의 계면특성 뿐아니라 bulk특성을 열화시킨다.
- 나. HCl 열화 실험을 통해 동위원소 효과는 "hot" 전자에 의한 열화 과정에서는 나타나지만, "hot" 정공에 의한 열화 과정에서는 뚜렷하게 나타나지 않음을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] I. Polishchuk, Y. Yeo, Q. Lu, T. King, and C. Hu, *IEEE Trans. Devices and Material Reliability*, vol. 1, p. 158, 2001.
- [2] K. O. Jeppson and C. M. Svensson, *J. Appl. Phys.*, vol. 48, p. 2004, 1977.
- [3] C. E. Blat, E. H. Nicollian, and E. H. Poindexter, *J. Appl. Phys.*, vol. 69, p. 1712, 1991.
- [4] S. Ogawa, M. Shimaya, and N. Shiono, *J. Appl. Phys.*, vol. 77, p. 1137, 1995.
- [5] K. Hess, A. Haggag, W. McMATHON, B. Fischer, K. Cheng, J. Lee, and J. Lyding, in *IEDM 2000*, p.93.