

Hafnium Oxide를 Trapping Layer로 적용한 Fin-Type SOHOS 플래시 메모리 특성연구

박정규¹, 오재섭², 양승동¹, 정광석¹, 김유미¹, 윤호진¹, 한인식¹, 이희덕¹, 이가원^{1,a}

¹ 충남대학교 전자전파정보통신공학과

² 나노종합팩센터 나노패턴팀

Analysis of Fin-Type SOHOS Flash Memory using Hafnium Oxide as Trapping Layer

Jeong-Gyu Park¹, Jae-Sub Oh², Seung-Dong Yang¹, Kwang-Seok Jeong¹, Yu-Mi Kim¹, Ho-Jin Yun¹, In-Shik Han¹, Hi-Deok Lee¹, and Ga-Won Lee^{1,a}

¹ Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

² Nano Patterning Process Team, National Nanofab Center, Daejeon 305-806, Korea

(Received May 10, 2010; Revised May 17, 2010; Accepted May 20, 2010)

Abstract: In this paper, the electrical characteristics of Fin-type SONOS(silicon-oxide-nitride-oxide-silicon) flash memory device with different trapping layers are analyzed in depth. Two kinds of trapping layers i.e., silicon nitride(Si_3N_4) and hafnium oxide(HfO_2) are applied. Compared to the conventional Fin-type SONOS device using the Si_3N_4 trapping layer, the Fin-type SOHOS(silicon-oxide-high-k-oxide-silicon) device using the HfO_2 trapping layer shows superior program/erase speed. However, the data retention properties in SOHOS device are worse than the SONOS flash memory device. Degraded data retention in the SOHOS device may be attributed to the tunneling leakage current induced by interface trap states, which are supported by the subthreshold slope and low frequency noise characteristics.

Keywords: HfO_2 , SOHOS, SONOS, Flash memory, Retention, Low frequency noise

1. 서론

현재 광범위하게 사용되고 있는 플로팅 게이트 구조의 플래시 메모리는 data retention 특성을 보장하기 위해 상대적으로 두꺼운 산화막을 사용한다. 그러나 소자의 크기를 줄이고자 할 때 터널 산화막의 두께가 얇아져야 하며 이 경우 터널 산화막을 통해 저

장된 전하의 누설에 의해 소자 신뢰성에 문제를 일으킬 수 있다. 더욱이 플래시 메모리는 다양한 휴대형 기기의 저장매체로 활용이 증가하고 있으며, 저장용량의 증가 및 성능 개선이 필수적이다. 이를 위해서는 메모리 셀의 크기를 줄여야 하지만, 이로 인해 단 채널 효과 (short channel effect) 가 나타나게 된다. 최근 SONOS 플래시 메모리는 이러한 플로팅 게이트 구조의 메모리를 대체할 수 있는 소자로 관심을 모으고 있다. SONOS 구조의 경우 전자가 부도체인 실리콘

a. Corresponding author: gawon@cnu.ac.kr

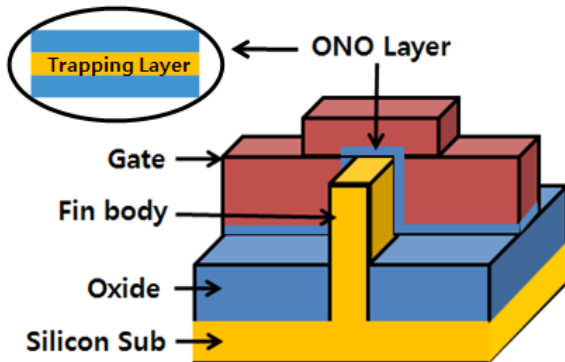


Fig. 1. FinFET SONOS flash memory structure.

질화막 안에 포획된다. 따라서 터널 산화막의 결함을 통한 방전 위험이 줄어들게 되어 data retention 특성이 우수하며 기존의 플로팅 게이트 소자에 비해 공정이 간단한 장점을 가지고 있다 [1,2]. 하지만 이러한 SONOS flash memory도 data retention 특성을 확보하기 위해선 터널 산화막을 3 nm 이상으로 가져가야 한다. 이 경우 터널 산화막이 두꺼워짐으로서 FN (fowler-nordheim) 지우기 속도는 느려지는데 이를 개선시키기 위한 방법 중 하나로 BE (bandgap-engineered) SONOS 플래시 메모리 구조가 발표되었다 [3,4]. BE ONO 장벽의 경우 data retention 특성 및 hole tunneling erase 특성을 개선하는 데에 효과적이다. 또 다른 방법으로 charge trapping layer를 high- k 로 대체하는 연구도 활발히 이루어지고 있다 [5,6]. charge trapping layer를 high- k 를 사용했을 경우 program/erase 속도를 빠르게 가져갈 수 있으며, 높은 conduction band offset으로 인해 data retention 특성이 우수하다는 장점이 있다. 향후 SONOS 구조의 경우도 앞서 플로팅 구조의 플래시 메모리에서 언급한 바와 같이 저장용량의 증가를 위해서는 메모리 셀의 크기를 계속 감소시켜야 할 것이다. 이를 위해 3차원 구조 연구들이 진행되고 있으며, 그림 1에 나타난 바와 같은 Fin-type 구조의 경우를 예로 들 수 있다 [7].

본 논문에서는 단채널 효과를 줄이기 위한 방법으로 Fin-type 구조의 SONOS 플래시 메모리를 제작하였으며, data retention 특성과 함께 우수한 program/erase speed 특성 확보를 위해 BE SONOS 플래시 메모리 구조를 사용하는 대신 charge trapping layer를

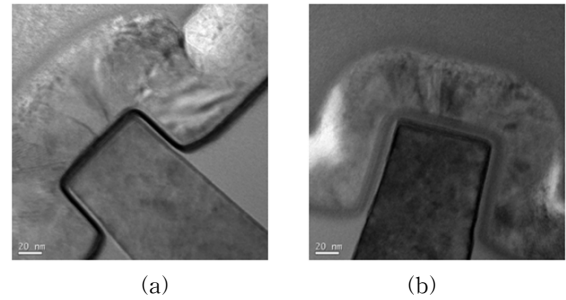


Fig. 2. TEM images of fabricated FinFET SONOS flash memory - trapping layer (a) Si_3N_4 (b) HfO_2 .

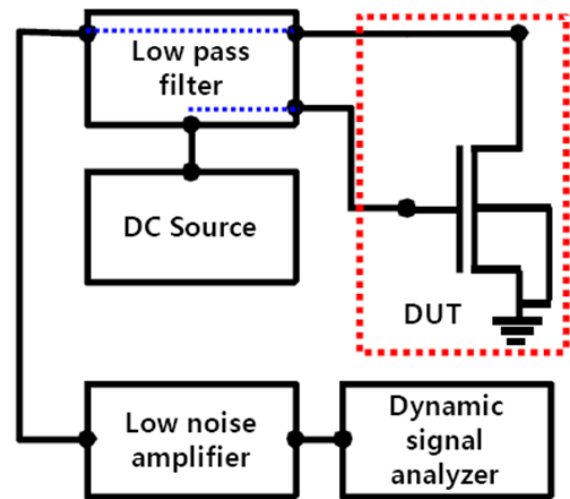


Fig. 3. Low frequency noise measurement system used for experiment.

high- k (HfO_2) 로 대체한 소자를 제작하여 비교 고찰하였다. 특히 low frequency noise 측정 시스템을 이용하여 Fin-type SONOS/SOHOS 플래시 메모리의 trapping layer에 대한 flicker noise 특성을 비교 분석하였다.

2. 실험 방법

Fin-type 플래시 메모리 소자 제작을 위하여 p-type (100) 웨이퍼 위에 Fin 모양으로 패터닝 후 HDP로 SiO_2 를 증착하고 CMP를 하였다. 이후 wet each를

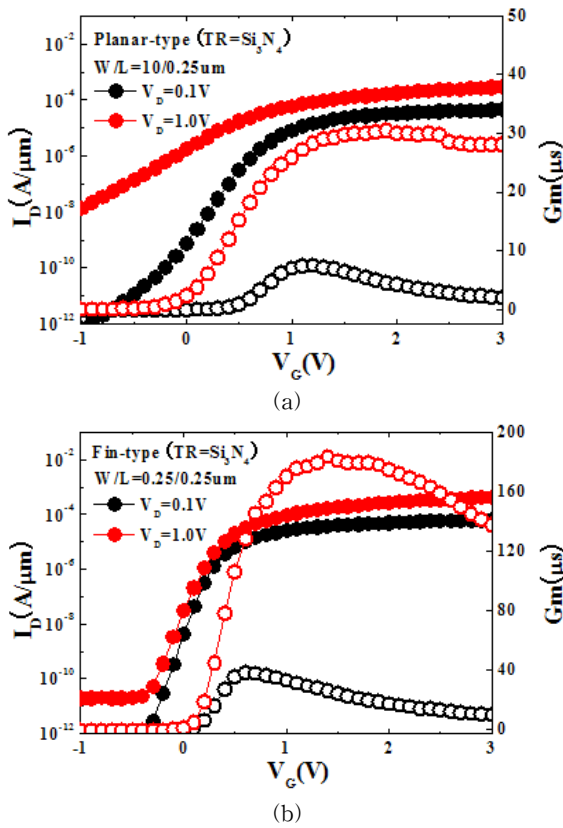


Fig. 4. V_G - I_D characteristics at $W/L = 0.25 \mu\text{m}/0.25 \mu\text{m}$.

진행하였고 oxide/trapping layer/oxide를 순서대로 증착하였다. 이 때 trapping layer에 따른 소자 특성의 비교를 위해 trapping layer를 silicon nitride로 사용한 경우 ONO를 각각 3/8/6 nm을 증착하였고, hafnium oxide의 경우 각각 3/3/6 nm을 증착하였다. 이후 gate patterning과 source/drain implantation 및 activation을 진행하였다. 그림 2는 구현된 FinFET SONOS의 TEM 이미지를 나타낸다. 메모리 특성 평가를 위한 program/erase (P/E) 방법은 fowler-nordheim (FN) 방식을 이용하였고 전압 조건은 $|V_G - V_t|/V_d/V_s = |7,10|/0/0 \text{ V}$ 로 하였다. 또한, 실온에서 각각의 trapping layer에 대해 endurance, retention 특성을 관찰하였다. Endurance의 경우 1000 cycle 까지 관찰하였고, retention의 경우 문턱전압 변화가 가장 큰 3시간 동안의 경향성을 관찰하였다. 또한 low frequency noise 특성 분석을 위해 그림 3에서와 같이 측정 시스템을 이용하여 실험을 진행하였다.

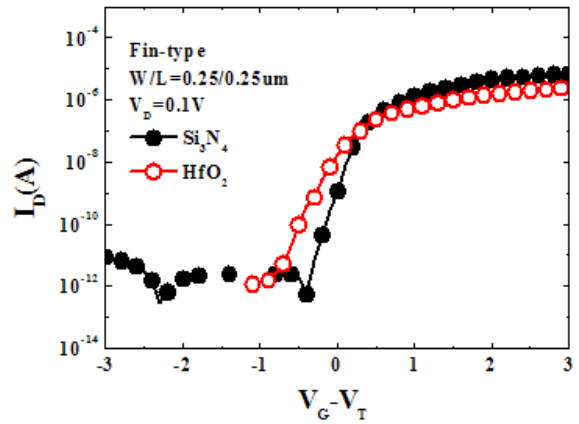


Fig. 5. Comparison of I-V characteristics for each trapping layer.

3. 결과 및 고찰

제작된 소자의 전기적 특성은 그림 4와 같으며 Fin-type SONOS는 기존에 보고된 바와 같이 DIBL (drain induced barrier lowering) 현상이 현저히 감소되는 경향을 보인다 [8,9].

그림 5는 trapping layer로 Si_3N_4 를 사용한 소자와 HfO_2 를 사용한 소자의 V_G - I_D 특성을 비교한 것이다. Trapping layer로 HfO_2 를 적용한 소자의 경우 subthreshold slope(SS)이 207(mv/dec.)로 Si_3N_4 를 적용한 소자의 경우 147(mv/dec.) 보다 subthreshold slope(SS)이 크게 나타난다.

그림 6은 각 trapping layer에 따른 P/E speed를 비교한 결과이다. HfO_2 를 적용한 소자가 Si_3N_4 적용 소자 보다 동일한 동작 전압에서 빠른 P/E speed 특성을 보이며 HfO_2 를 trapping layer로 사용할 경우 보다 낮은 전압에서 동작이 가능하다는 것을 보여준다. 이는 높은 유전 상수를 갖는 HfO_2 의 장점이 그대로 나타난 결과라 할 수 있다.

그림 7은 각 trapping layer에 따른 1000 cycle 동안의 endurance 결과이다. 비슷한 메모리 윈도우에서의 비교를 위하여 trapping layer를 Si_3N_4 를 사용한 소자의 경우 program /erase시 게이트 전압과 시간을 (12 V, 50 ms)/(-12 V, 100 ms)로 HfO_2 를 사용한 소자의 경우는 (10 V, 50 ms)/(-10 V, 100 ms)로 인가하였다. Endurance cycle 동안에 HfO_2 의 경우 문턱전압

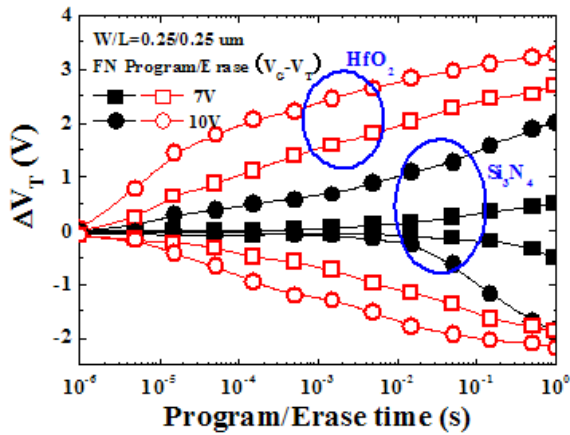


Fig. 6. Comparison of P/E characteristics for each trapping layer.

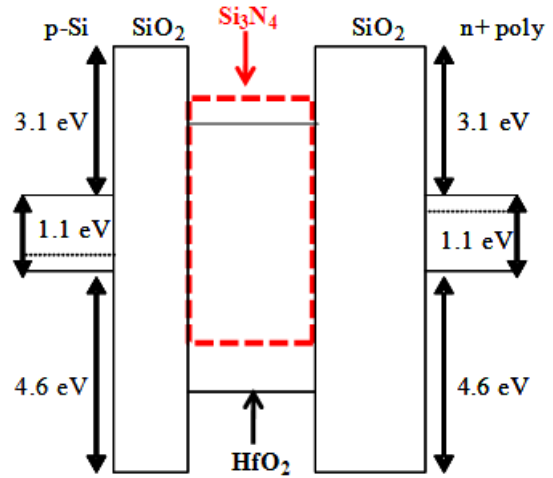


Fig. 8. Energy band diagram for each trapping layer.

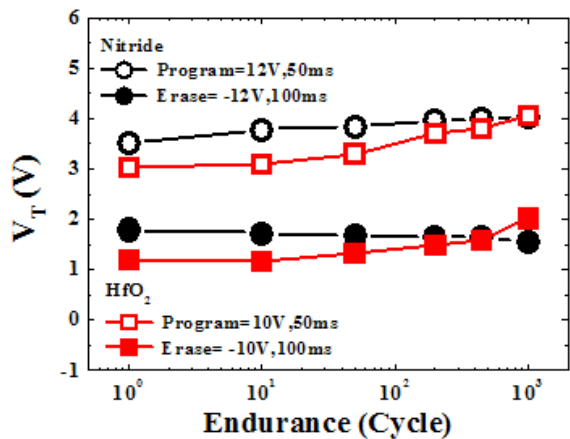


Fig. 7. Comparison of endurance characteristics for each trapping layer.

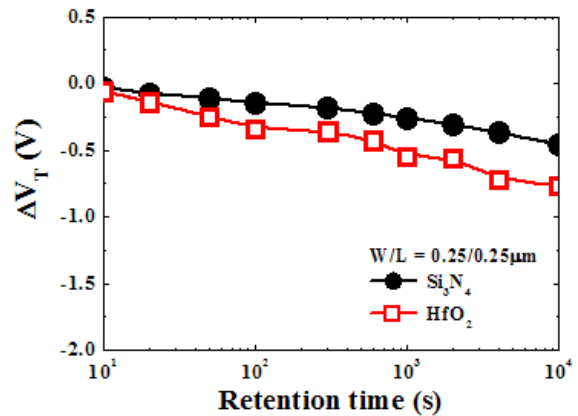


Fig. 9. Comparison of retention characteristics for each trapping layer.

증가 및 메모리 윈도우의 감소가 나타나지만 nitride에 비해 그 차이가 크지는 않다.

그림 8은 Si_3N_4 및 HfO_2 를 trapping layer로 사용했을 경우의 band-diagram을 보여주고 있다. HfO_2 trapping layer를 적용하였을 경우 Si_3N_4 보다 터널 산화막과의 높은 conduction band offset으로 우수한 retention 특성이 예상된다. 그러나 그림 9에서와 같이 예상과는 달리 상온에서의 retention 특성이 Si_3N_4 trapping layer를 적용한 소자가 더 우수한 특성을 보였다. 이의 원인을 분석하기 위해서 trapping layer에

따른 flicker noise 특성을 측정 비교하였다. 그림 10에 나타난 바와 같이 noise level이 HfO_2 trapping layer의 경우가 Si_3N_4 보다 2 order 정도 높게 나타나며, 이는 HfO_2 의 경우 더 많은 계면 트랩이 있음을 의미한다. 따라서 HfO_2 소자에서 trapping된 전하들의 trap를 통한 누설 경로를 제공하므로 HfO_2 를 적용한 소자에서의 데이터 보존 능력이 감소된 것으로 판단된다. 이는 앞서 그림 4의 V_G - I_D 특성 곡선에서 HfO_2 소자의 subthreshold slope이 더 크게 나타나고 있는 특성과 일치한다. 일반적으로 high-k (HfO_2)

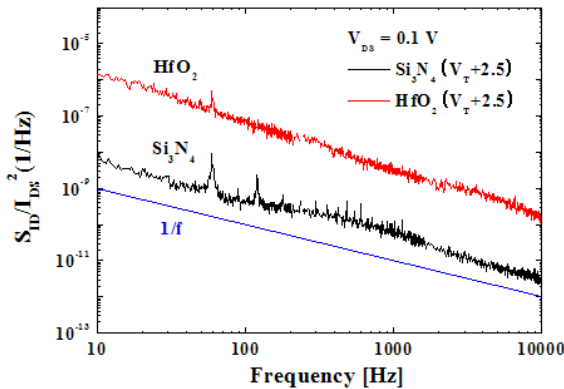


Fig. 10. Flicker noise characteristic of SONOS and SOHOS devices.

계면 특성이 Si-SiO₂ 계면 특성에 비해 좋지 않은 것으로 알려져 있으며, 이를 개선시키기 위해 silicon 표면에 SiO₂ 를 얇게 증착하지만, 이 또한 Si-SiO₂ 계면 특성보다는 좋지 않은 것으로 보고된 바 있다 [10,11].

4. 결론

본 논문에서는 FinFET SONOS 구조에서 trapping layer에 따른 메모리 특성을 비교 분석하였다. HfO₂ trapping layer가 nitride에 비해 P/E speed가 빠르고 낮은 전압에서도 동작이 가능한 장점을 보인 반면에, retention에서는 nitride trapping layer에 비해 좋지 않은 특성을 보였는데, 이는 계면 트랩을 경유한 leakage current의 증가가 원인으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 충남대학교 학술연구비의 지원에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- [1] Y. S. Shin, M. Div, and S. E. Co, *VLSI Circuits, Symposium on VLSI Symp. Tech. Dig.* (VLSI, Kyoto, Japan, 2005), p. 156.
- [2] H. J. Park, S. J. Park, D. W. Nam, B. C. Kim, and K. Y. Seo, *J. KIEEME* **13**, 914 (2000).
- [3] T. H. Hsu, H. T. Lue, S. C. Lai, Y. C. King, K. Y. Hsieh, R. Liu, and C. Y. Lu, *VLSI Technology, Systems, and Applications* (VLSI, Taiwan, 2009) p. 154.
- [4] T. H. Hsu, H. T. Lue, Y. C. King, J. Y. Hsieh, K. Y. Hsieh, R. Liu, and C. Y. Lu, *IEEE Electron. Device Lett.* **28**, (2007).
- [5] G. Zhang, X. P. Wang, W. J. Yoo, and M. F. Li, *IEEE Trans. Electron. Devices* **54**, 3317 (2007).
- [6] F. Hofmann, M. Specht, U. Dorda, R. Kommling, L. Dreeskornfeld, J. Kretz, M. Stadele, W. Rosner, and L. Risch, *Solid-State Electron.* **49**, 1799 (2005).
- [7] I. H. Cho, T. S. Park, S. Y. Choi, J. D. Lee, and J. H. Lee, *Technical Digest of Device Research Conference 2003* (IEEE, Salt Lake City, 2003) p. 133.
- [8] S. Maikap, H. Y. Lee, T. Y. Wang, P. J. Tzeng, C. C. Wang, L. S. Lee, K. C. Liu, J. R. Yang, and M. J. Tsai, *Semicond. Sci. Technol.* **22**, 884 (2007).
- [9] T. Park, S. Choi, D. H. Lee, J. R. Yoo, B. C. Lee, J. Y. Kim, C. G. Lee, K. K. Chi, S. H. Hay, S. J. Hvnun. Y. G. Shin. J. N. Han. I. S. Park. U I. Chune. J. T. Moon, E. Yoon, and J. H. Lee, *Symposium on VLSI Symp. Tech. Dig.* (VLSI, Kyoto, Japan, 2003) p. 135.
- [10] O. Renault, D. Samour, D. Rouchon, P. Holliger, A. M. Papon, D. Blin, and S. Marthon, *Thin Solid Films* **428**, 190 (2003).
- [11] John Robertson, *Rep. on Prog. in Phys.* **69**, 327 (2006).