

SILC 특성에 의한 실리콘 산화막의 신뢰성 연구

강 창 수

유한대학 전자과

전화 : 02-2610-0744 / 핸드폰 : 019-378-7350

The Study of Reliability by SILC Characteristics in Silicon Oxides

C. S. Kang

Dept. of Electronic Engineering, Yuhan College

E-mail : cskang@yuhan.ac.kr

Abstract

This study has been investigated that traps generated inside of the oxide and at the oxide interfaces by the stress bias voltage. The traps are charged near the cathode with negative charge and charged near the anode with positive charge. The charge state of the traps can easily be changed by application of low voltages after the stress high voltage. These trap generation involve either electron impact ionization processes or high field generation processes. It determined to the relative traps locations inside the oxides ranges from 113.4Å to 814Å with capacitor areas of 10^{-3}cm^2 . The oxide charge state of traps generated by the stress high voltage contain either a positive or negative charge.

I. 서론

고품질 산화막은 비휘발성 기억소자의 전하저장 유지를 위해 필요하며 고전압 및 산화막 전류를 개선하여 기억소자 개발에 응용되고 있다. 고품질 실리콘 산화막의 비저항은 $10^{16}\Omega\text{cm}$ 이상이다. 실리콘 산화막의 누설전류는 정상동작의 소자에서 무시하고 사용되어져 왔다. 최근, 고집적도 향상을 위하여 산화막 두께가 감

소하여 산화막 전계는 증가하고 있어 실리콘 산화막의 누설전류를 고려하여야 한다.

IFBL(Imaging Force Barrier Lowering)의 효과를 갖는 저레벨 누설전류는 산화막 스트레스에 의해 변화됨을 보여주고 있다. 스트레스 전압에 의한 저레벨 누설전류는 양극으로부터 15Å에 위치한 전하중심으로부터 터널링으로 나타난다. 실리콘 산화막 계면의 계면상태는 고전압 스트레스 효과에 의해 변화된다. 얇은 산화막의 고전압 스트레스는 산화막에 트랩을 발생시키고 저레벨 누설전류는 스트레스에 의해 발생한 트랩에 비례한다. 비휘발성 기억소자의 기록과 소거를 위한 고전압은 누설전류를 야기시키고 데이터의 분실과 신뢰성에서도 문제를 발생시킨다.

얇은 실리콘 산화막의 감쇄를 파악하기 위해서 저레벨 누설전류에 의한 연구를 실행하여야 한다. 스트레스 유기 저레벨 누설전류의 측정, 분리 그리고 특성은 산화막안에서 트랩의 충전과 방전에 의한다. 그리고 산화막을 통하여 완전히 흐르지 않는다. 얇은 산화막에서 스트레스 유기 저레벨 누설전류는 스트레스 전압, 스트레스 시간에 따라 비례한다. 스트레스 유기 누설전류는 비휘발성 터널링 산화막의 스케일링 다운의 한계를 나타낸다. 그러므로 저레벨 누설전류는 얇은 실리콘 산화막 소자의 설계시 고려되어야 하며 얇은 실리콘 산화막의 저레벨 누설전류를 조사하여 신뢰성을 향상시키고자 한다.

II. 결과 및 토의

산화막 전류는 스트레스 전압에 의해 영향을 받는다. 저레벨 누설전류는 증가하고 터널링 전류는 감소한다. 저레벨 누설전류는 스트레스 전압, 스트레스 시간, 스트레스 전류량, 스트레스 전압의 극성 그리고 스위칭에 의해 변화한다. 이러한 저레벨 누설전류의 변화는 스트레스에 의해 산화막 내에서 발생된 계면트랩과 벌크트랩에 비례한다.

게이트 전압을 부방향으로 스위칭 할 때는 소수캐리어를 발생시켜 터널링 전류를 만들기 위해서 빛을 조사한다. 부게이트 전압을 사용하여 측정된 전압 전류는 각각의 연속적인 측정으로 스트레스 전류량을 변화시켜 가면서 측정한다.

전압과 전류밀도의 데이터는 HP4140B에 적분 시간을 사용하여 0.2초마다 0.2V의 스텝 전압을 인가하면서 측정하였다. n형 실리콘 기판에서 제작된 소자에 정부 게이트 전압을 인가하면서 측정된 전압 전류밀도 특성이 유사한 형태의 실험치를 얻었다. n형 기판에 빛을 조사하는 것은 소수 캐리어를 발생시켜 안정된 공간 전하층을 형성하기 위함이다.

고스트레스 전압에 의한 저레벨 누설전류는 산화막에 발생된 트랩에 관계된다. 저레벨 누설전류의 증가는 스트레스에 의한 산화막 내의 발생된 트랩의 수에 비례한다. 트랩은 산화막 계면 및 산화막 전체에 분포되어 있다. 스트레스에 의해 발생된 정부 게이트 전압에 의한 저레벨 누설전류의 대칭성은 산화막에 발생된 트랩이 전체에 분포되었음을 나타낸다. 계면트랩과 벌크트랩은 스트레스 전류량에 비례한다.

산화막의 전압 전류특성은 저레벨 터널링 전 누설전류 영역, 터널링 전 누설전류 영역, 터널링 영역 그리고 절연파괴 영역으로 분류된다. 실리콘 산화막 두께가 각각 113.4Å, 204Å, 398.3Å 그리고 814Å에서 게이트 전압에 대한 전류와 전류량의 관계를 그림 1에 나타내었다.

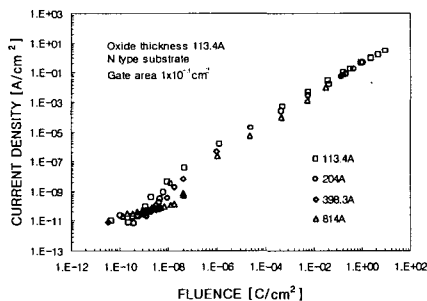


Fig. 1 Fluence current characteristics of the 113.4Å to 814Å oxides

산화막 두께가 각각 113.4Å, 204Å, 398.3Å 그리고 814Å인 저레벨 터널링 전 누설 전류량은 10^{-14} C/cm² 이하의 낮은 값으로 측정되었으며 터널링 전 누설 전류량은 각각 10^{-10} C/cm², 10^{-9} C/cm², 10^{-8} C/cm², 그리고 10^{-7} C/cm²의 부근 값으로 측정되었다. 터널링 전류의 시작전압이 산화막 두께에 따라 각각 7V, 13.5V, 27V 그리고 54V일 때 전류량은 1.92×10^{-9} C/cm², 1.27×10^{-8} C/cm², 6.64×10^{-8} C/cm², 그리고 1.15×10^{-7} C/cm²로 측정되었다. 터널링 전 누설 전류량은 산화막의 두께가 증가할수록 증가됨을 보여주고 있다. 터널링 전류량은 절연막 파괴 전까지의 전류량을 나타내며 전류량은 산화막 113.4Å에서 12V, 9.17×10^{-1} C/cm², 산화막 204Å에서 25V, 6.84×10^{-1} C/cm², 산화막 398.3Å에서 42.2V, 1.5×10^{-1} C/cm², 그리고 산화막 814Å에서 78.2V, 3.27×10^{-2} C/cm²로 나타났다. 산화막 절연파괴 시에 나타나는 전류량은 10^1 C/cm²~ 10^2 C/cm²로 나타났다. 실리콘 산화막의 전류와 전류량의 관계는 전압 전류와의 관계와 같은 현상이 나타남을 알 수 있다.

스트레스 극성과 측정 극성의 변화에 의한 스트레스 유기 누설전류는 트랩의 충전전에 의해서 발생하는 OTOLC가 나타난다. 113.4Å 산화막에 음 스트레스 전압 13V를 인가한 후 스트레스 유기 누설전류는 그림 2에서 보여 주고 있다.

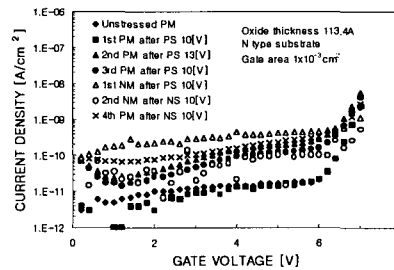


Fig. 2 The stress induced leakage currents of a 113.4Å oxide after negative gate voltage stressing at 13V

그림에서 보여 준 것과 같이 스트레스 유기 누설전류의 측정은 동일 산화막에서 연속적으로 측정하였다. 측정 과정은 다음과 같은 순서에 의해 실행을 하였다. 고전압 스트레스가 인가된 산화막 스트레스 유기 누설전류는 저전압 스트레스가 인가된 산화막의 스트레스 유기 누설전류보다 더 큰 값을 보여주고 있다. 측정 극성의 변화에 따른 OTOLC가 변화됨을 보여주고 있다. 이러한 OTOLC 현상은 계면 부근에 있는 트랩

의 충전과 방전에 의한 전이전류에 의해 발생한다.

스트레스가 인가된 산화막에서 다른 극성으로 측정된 연속적인 스트레스 유기 누설전류의 정확한 특성을 파악하기 위하여 다음과 같이 산화막의 두께에 따라 측정을 실행하였다. 산화막 두께가 각각 113.4Å, 204Å, 398.3Å 그리고 814Å인 소자에 양의 스트레스 전압 14V, 20V, 41V 그리고 70V를 인가하고 난 후, 양과 음의 측정전압에 따른 스트레스 유기 누설전류는 그림 3, 4, 5, 그리고 6에 나타내었다

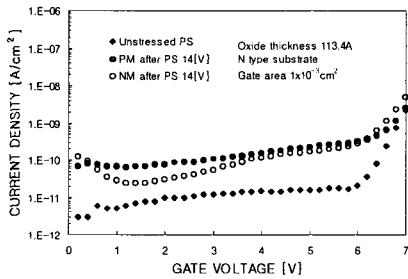


Fig. 3 Polarity dependence of stress induced leakage currents of a 113.4Å oxide after positive gate voltage stressing at 14V

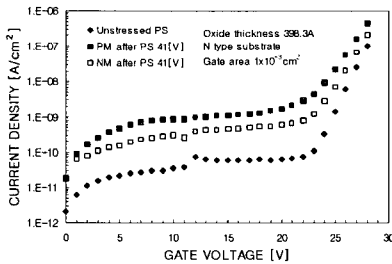


Fig. 4 Polarity dependence of stress induced leakage currents of a 204Å oxide after positive gate voltage stressing at 20V

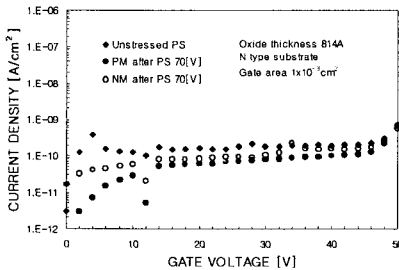


Fig. 5 Polarity dependence of stress induced leakage currents of a 398.3Å oxide after positive gate voltage stressing at 41V

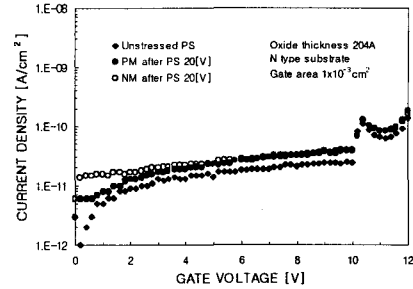


Fig. 6 Polarity dependence of stress induced leakage currents of a 814Å oxide after positive gate voltage stressing at 70V

그림 3, 4, 5, 그리고 6에서 보여준 것과 같이 산화막 두께가 각각 113.4Å, 204Å, 398.3Å 그리고 814Å인 소자에 양 게이트 스트레스 전압 14V, 20V, 41V 그리고 70V를 인가하고 난 후 스트레스 유기 누설전류가 각각 나타남을 알 수 있다.

여기에서 양과 음의 게이트 스위프 전압에 의한 스트레스 유기 누설전류의 변화가 거의 없음을 보여주고 있다.

트랩은 스트레스 애노우드와 스트레스 캐소우드 부근에 형성되어 있음을 나타낸다. 스트레스 유기 누설전류의 원인이 되는 트랩이 스트레스 캐소우드 부근 보다 스트레스 애노우드 부근에, 또는 스트레스 애노우드 부근 보다 스트레스 캐소우드 부근에 더 많이 분포되어 있다고 볼 수 없다. 이와 같이 스트레스 애노우드와 스트레스 캐소우드 부근에 형성되어 있는 트랩은 같다고 보여진다. 산화막 814Å인 소자의 작은 스트레스 유기 누설전류는 산화막에 발생된 낮은 트랩밀도에 기인한다. 얇은 산화막은 고전계가 인가되어 높은 트랩밀도를 갖게 되어 큰 누설전류가 나타나게 되고 두꺼운 산화막일 수록 낮은 절연과피 전계에 의해 고전계가 인가될 수 없기 때문에 낮은 트랩밀도를 갖는다.

장시간 산화막 스트레스 전류의 감소는 비례적으로 감소됨을 보여 주고 장시간 전이전류의 감소는 시가에 반비례하여 감소함을 알 수 있다. 반복적인 스트레스 전압을 인가하면서 나타나는 터널링 및 전이전류의 감소는 트랩의 충전방전에 의한 것이다. 스트레스 전압이 트랩을 발생시킨 후 측정 전압은 스트레스 애노우드 또는 스트레스 캐소우드에 관계없이 일정함을 보여주고 있다. 그리고 트랩의 발생은 스트레스 극성에 관계가 없음을 보여주고 있다. 스트레스 전압에 대한 산화막의 파괴는 트랩발생의 극성 의존에 있는 것이 아니라 트랩의 국부적 고밀도에 기인된다. 스트레스 유기 누설전류는 산화막의 트랩 발생과 OTOLC를 파악하는데 사용된다.

V. 결론

실리콘 산화막 두께가 각각 113.4Å, 204Å, 398.3Å 그리고 814Å인 소자를 제작하여 산화막 특성을 조사하였다. 산화막의 두께가 증가함에 따라 터널링 전 누설전류, 터널링 전류, 그리고 터널링 시작 전압은 증가하고 산화막 파괴전압은 감소함을 알았다. 고전압 스트레스에 의한 산화막 전류는 일정하게 감소함을 보여주었고 반복적으로 인가할수록 터널링 전류는 점점 감소함을 보여주고 있다. 그리고 스트레스 전압을 인가하고 난 후 흐르는 전이전류는 시간의 역수로 일정하게 감소함을 알았다. 고전압 스트레스 산화막의 유기 누설전류는 저전압 스트레스 산화막의 유기 누설전류보다 더 큰 값을 보여주었다. 양과 음의 게이트 스위칭 전압에 의한 스트레스 유기 누설전류 특성의 변화가 거의 없음을 보여주고 있어 트랩밀도는 스트레스 애노우드 부근과 스트레스 캐소우드 부근에 형성되어 있음을 알았다. 그리고 고전계 스트레스에 의해 생성된 트랩은 스트레스 애노우드 부근과 스트레스 캐소우드 부근에 형성되어 있었으며 차이가 없음을 알았다.

참고문헌

- [1] T. W. Hughes, et al., J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 13, No. 4, p. 1780, 1996
- [2] M. M. Heyns, et al., IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 43, No. 9, p. 1499, 1996
- [3] D. J. Dumin, et al., IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 43, No. 1, p. 130, 1996
- [4] T. F. Lei, et al., IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 45, No. 2, p. 567, 1998
- [5] C. S. Kang, et al., J. Electrochem. Soc., Vol. 145, No. 4, p. 1292, 1998
- [6] Bruno Ricco, A. Pieracci, IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 46, No. 7, pp. 1497~1500, 1999
- [7] P. Riess, G. Ghibaud, G. Pananakakis, J. Brini, Microelectronics Reliability 39, pp. 203~207, 1999
- [8] Eric M. Vogel, W. Kirklen Henson, Curt A. Richter, John S. Suehle, IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 47, No. 3, pp. 601~608, 2000