

고전계 인가 산화막의 애노우드와 캐소우드 트랩

Anode and Cathode Traps in High Voltage Stressed Silicon Oxides

강창수 C. S. Kang 유한대학 전자과 Dept. of Electronic Engineering Yuhan College
김동진 D. J. Kim 유한대학 전자과 Dept. of Electronic Engineering Yuhan College

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 a negative charge.

Key Words : Silicon oxide, Stress induced leakage current, Anode trap, Cathode trap

I. 서론

금속산화물 반도체 소자는 고품질, 고신뢰성 실리콘 산화물을 요구한다. 실리콘 산화막은 스위칭, 절연 그리고 기억 기능에 중요한 역할을 하며 고집적 회로설계 기술 개선에 필수적 요소이다. 최근 고품질 실리콘 산화막에 대한 스트레스 전류, 스트레스 유기 누설전류 (SILC : Stress Induced Leakage Current) 그리고 전이전류에 관한 연구가 집중되고 있다.[1]

산화막에 스트레스를 인가하면 트랩이 발생한다. 산화막 전류는 산화막과 산화막 계면에서 발생된 트랩의 트래핑과 디트래핑에 의한 터널링 현상에 의해 나타난다.[2] 트랩은 산화막과 산화막 계면에 유기되며 산화막의 캐소우드 부근에 음전하가 충전되고 애노우드 부근에 양전하가 충전된다.[3][4] 이와 같이 트랩의 전하상태는 스트레스 전압 및 극성에 따라 변화된다. 충방전에 의한 트랩상태는 절연파괴를 야기한다. TDDB (time dependence dielectric breakdown)는 트랩

발생에 비례한다.[5] 산화막 절연파괴는 열적 현상에 의해 캐소우드로부터 애노우드로 흐르는 국부적 고누설전류 통로가 형성되기 때문이다.[2][3][6]

트랩 발생은 열전자 또는 원자 결합의 파괴에 의한 격자 결합에 의해 나타나며 고전계 인가에 의해 활성화된다. 트랩 발생에 의한 산화막 전류는 스트레스 전압과 바이어스 전압에 의해 변화한다. 이러한 산화막의 트랩 발생 해석 방법은 트랩의 공간적, 에너지적 분포 모델로 해석된다.[7] 본 논문에서는 산화막 두께가 다른 각각의 소자를 제작하여 스트레스 전압에 의한 애노우드와 캐소우드 트랩의 바이어스 전압에 따른 스트레스 유기 누설전류의 변화를 측정하여 스트레스 애노우드 트랩 및 스트레스 캐소우드 트랩분포를 조사하였다.

II. 결과 및 토의

산화막의 전압 전류특성은 저레벨 터널링 전 누

설전류 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.

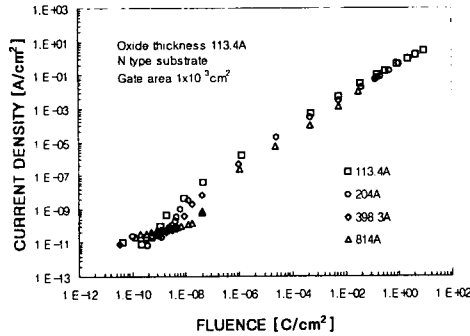


Fig. 1 Fluence current characteristics of the 113.4Å to 814Å oxides

산화막 두께가 각각 113.4Å, 204Å, 398.3Å 그리고 814Å인 저레벨 터널링 전 누설 전류량은 $10^{-14}C/cm^2$ 이하의 낮은 값으로 측정되었으며 터널링 전 누설 전류량은 각각 $10^{-10}C/cm^2$, $10^{-9}C/cm^2$, $10^{-8}C/cm^2$, 그리고 $10^{-7}C/cm^2$ 의 부근 값으로 측정되었다. 터널링 전류의 시작전압이 산화막 두께에 따라 각각 7V, 13.5V, 27V 그리고 54V일 때 전류량은 $1.92 \times 10^{-9}C/cm^2$, $1.27 \times 10^{-8}C/cm^2$, $6.64 \times 10^{-8}C/cm^2$, 그리고 $1.15 \times 10^{-7}C/cm^2$ 로 측정되었다. 터널링 전 누설 전류량은 산화막의 두께가 증가할수록 증가됨을 보여주고 있다. 터널링 전류량은 절연막 파괴 전까지의 전류량을 나타내며 전류량은 산화막 113.4Å에서 12V, $9.17 \times 10^{-1}C/cm^2$, 산화막 204Å에서 25V, $6.84 \times 10^{-1}C/cm^2$, 산화막 398.3Å에서 42.2V, $1.5 \times 10^{-1}C/cm^2$, 그리고 산화막 814Å에서 78.2V, $3.27 \times 10^{-2}C/cm^2$ 로 나타났다. 산화막 절연파괴 시에 나타나는 전류량은 $10^1C/cm^2 \sim 10^2C/cm^2$ 로 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 OTOLC (One Time Only Leakage Current)가 나타난다. 113.4Å 산화막에 음 스트

레스 전압 13V를 인가한 후 스트레스 유기 누설 전류는 그림 2에서 보여 주고 있다.

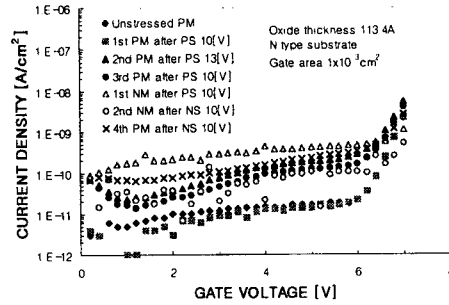


Fig. 2 The stress induced leakage currents of a 113.4Å oxide after negative gate voltage stressing at 13V

그림에서 보여 준 것과 같이 스트레스 유기 누설전류의 측정은 동일 산화막에서 연속적으로 측정하였다. 측정 과정은 다음과 같은 순서에 의해 실행을 하였다. 스트레스를 인가하지 않은 초기 상태의 터널링 전 전류 측정(unstressed PM 곡선), 스트레스 전압 10V를 인가하여 산화막 트랩 발생, 양 게이트 전압으로 측정(1st PM after PS 10V 곡선), 스트레스 전압 13V를 인가하여 산화막 트랩 발생, 양 게이트 전압으로 측정(2nd PM after PS 13V 곡선), 스트레스 전압 10V를 인가하여 산화막 트랩 발생, 양 게이트 전압으로 측정(3rd PM after PS 10V 곡선), 스트레스 전압 10V를 인가하여 산화막 트랩 발생, 음 게이트 전압으로 측정(1st NM after PS 10V 곡선), 스트레스 음전압 10V를 인가하여 산화막 트랩 발생, 음 게이트 전압으로 측정(2nd NS after NM 10V 곡선), 스트레스 음전압 10V를 인가하여 산화막 트랩 발생 그리고 양 게이트 전압으로 측정(4th PM after NS 10V 곡선)을 순서적으로 실행하였다.

고전압 스트레스가 인가된 산화막 스트레스 유기 누설전류는 저전압 스트레스가 인가된 산화막의 스트레스 유기 누설전류보다 더 큰 값을 보여 주고 있다. 측정 극성의 변화에 따른 OTOLC가 변화됨을 보여주고 있다. 이러한 OTOLC 현상은 계면 부근에 있는 트랩의 충전과 방전에 의한 전이전류에 의해 발생한다. 같은 극성으로 측정된

연속적인 스트레스 유기 누설전류는 값이 동일함을 알 수 있다. 그리고 스트레스가 인가된 산화막에서 다른 극성으로 측정된 연속적인 스트레스 유기 누설전류의 값도 같음을 알 수 있다.

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

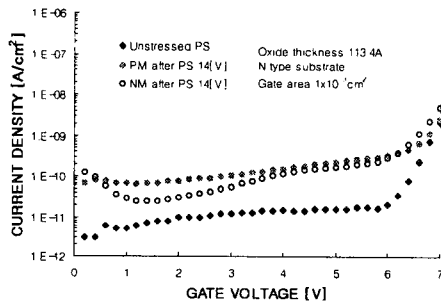


Fig. 3 Polarity dependence of stress induced leakage currents of a 113.4Å oxide after positive gate voltage stressing at 14V

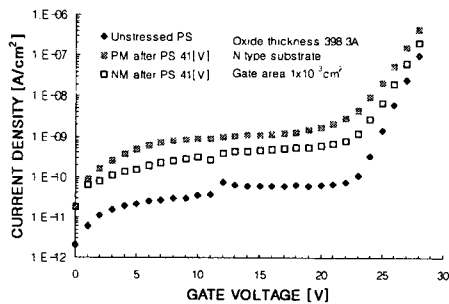


Fig. 4 Polarity dependence of stress induced leakage currents of a 204Å oxide after positive gate voltage stressing at 20V

그림 3, 4, 5, 그리고 6에서 보여준 것과 같이 산화막 두께가 각각 113.4Å, 204Å, 398.3Å 그리고 814Å인 소자에 양 게이트 스트레스 전압 14

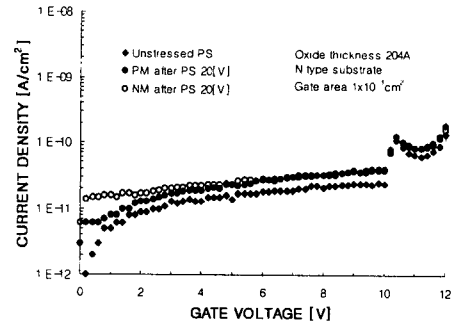


Fig. 5 Polarity dependence of stress induced leakage currents of a 398.3Å oxide after positive gate voltage stressing at 41V

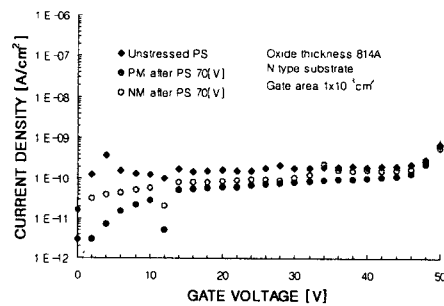


Fig. 6 Polarity dependence of stress induced leakage currents of a 814Å oxide after positive gate voltage stressing at 70V

V, 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 트랩밀도

에 기인한다. 얇은 산화막은 고전계가 인가되어 높은 트랩밀도를 갖게 되어 큰 누설전류가 나타나게 되고 두꺼운 산화막일 수록 낮은 절연 파괴 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 충전전에 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.

III. 결 론

실리콘 산화막 두께가 각각 113.4Å, 204Å, 398.3Å 그리고 814Å인 소자를 제작하여 산화막 특성을 조사하였다.

1. 산화막의 두께가 증가함에 따라 터널링 전 누설전류, 터널링 전류, 그리고 터널링 시작 전압은 증가하고 산화막 파괴전압은 감소함을 알았다.
2. 고전압 스트레스에 의한 산화막 전류는 일정하게 감소함을 보여 주었고 반복적으로 인가할 수록 터널링 전류는 점점 감소함을 보여주고 있다. 그리고 스트레스 전압을 인가하고 난 후 흐르는 전이전류는 시간의 역수로 일정하게 감소함을 알았다.
3. 고전압 스트레스 산화막의 유기 누설전류는 저전압 스트레스 산화막의 유기 누설전류보다 더 큰 값을 보여주었다.
4. 양과 음의 게이트 스위프 전압에 의한 스트레스 유기 누설전류 특성의 변화가 거의 없음을 보여 주고 있어 트랩밀도는 스트레스 애노우드 부근과 스트레스 캐소우드 부근에 형성되어 있음을 알았다.
5. 고전계 스트레스에 의해 생성된 트랩은 스트레스 애노우드 부근과 스트레스 캐소우드 부근에

형성되어 있었으며 차이가 없음을 알았다.

IV. 참고문헌

- [1] D. J. Dumin, et al., IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 40, No. 5, p. 986, 1993
- [2] D. J. Dumin, et al., IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 41, No. 9, p. 1570, 1994
- [3] T. W. Hughes, et al., J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 13, No. 4, p. 1780, 1996
- [4] M. M. Heyns, et al., IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 43, No. 9, p. 1499, 1996
- [5] D. J. Dumin, et al., IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 43, No. 1, p. 130, 1996
- [6] T. F. Lei, et al., IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. 45, No. 2, p. 567, 1998
- [7] C. S. Kang, et. al., J. Electrochem. Soc., Vol. 145, No. 4, p. 1292, 1998