

고전계 인가 산화막의 트랩 분포

강창수

유한대학 전자과, 부천, 422-749

(1999년 3월 10일 접수)

Trap distributions in high voltage stressed silicon oxides

Chang Soo Kang

Department of Electronic Engineering, Yuhan College, Pucheon 422-749, Korea

(Received May 10, 1999)

요약 산화막 트랩은 스트레스 바이어스 전압에 의해 산화막 계면과 산화막 안에 생성됨을 조사하였다. 이러한 실험은 게이트 면적 10^{-3}cm^2 를 갖는 산화막 두께 범위가 113.4 Å에서 814 Å까지의 산화막 안에서 상대적 트랩 위치를 결정하였다. 트랩은 캐소우드 부근에 음전하, 애노우드 부근에 양전하로 충전되어 있다. 트랩의 전하상태는 스트레스 고전압 인가 후 낮은 전압 인가에 의해 쉽게 변화되었다. 고전압 스트레스에 의해 발생된 트랩의 산화막 전하상태는 양 또는 음전하를 포함한다.

Abstract It was investigated that traps were generated inside of the oxide and at the oxide interfaces by the stress bias voltage. The charge state of the traps can easily be changed by application of low voltages after the stress high voltage. It determined to the relative traps locations inside the oxides ranges from 113.4 Å to 814 Å with capacitor areas of 10^{-3}cm^2 . The traps are charged near the cathode with negative charge and charged near the anode with positive charge. The oxide charge state of traps generated by the stress high voltage contain either a positive or a negative charge.

1. 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].

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.

2. 실험

소자는 비저항 $1\sim 2 \Omega \text{cm}$ 인 n형 기판에 LOCOS 공정과 n^+ 폴리실리콘 게이트를 사용하여 850°C 건식산화법으로 제작하였다. 산화막 두께는 각각 113.4 Å, 204 Å, 398.3 Å 그리고 814 Å이고, 소자의 게이트 면적은 각각 10^{-3}cm^2 이었다. 스트레스 전압에 따른 전압 전류특성은 휴렛 팩커드

HP4140B, 웨이브택 395 그리고 마이크로 매니플레이터 프로브 스테이션에 HPIB로 연결하여 측정하였다. 이 때 캐패시터의 스트레스 전압은 HP4140B의 전압원을 사용하여 인가하였다. 마이크로 매니플레이터는 차폐 상자로 완전 차폐하였으며 웨이퍼 상단에서 3차원 축으로 동작하는 팁을 사용하였다. 웨이퍼는 3차원 축으로 동작하는 척에 고정시키기 위해서 진공 펌프를 사용하였다. HP4140B는 램프 전압과 고정 전압에 의한 전류를 측정하기 위해서 사용하였으며, 피코 암페어 미터의 측정 범위는 1 펨토 암페어였다. 테스트 리드 확스처의 스트레이 전류 및 캐패시턴스는 오프셋 키에 의해 최소화하였다. 피코 암페어로 측정되어진 데이터는 휴렛 팩커드 HPVVE를 사용하여 분석하였다.

전압에 대한 산화막 전류밀도의 램프 전압 측정조건은 시작전압, 종전압, 단계전압, 단계시간, 유지시간 그리고 스윕율을 변화시키면서 실행하였다. 고스트레스 전압은 고정전압과 고정시간에 대하여 수행하였다. 스트레스 전류와 전이 전류에 대한 시간의 측정은 고스트레스 전압을 인가하였을 때와 인가 후를 측정하였다.

3. 결과 및 토의

산화막의 전압 전류특성은 저레벨 터널링 전 누설전류 영역, 터널링 전 누설전류 영역, 터널링 영역 그리고 절연 파괴 영역으로 분류된다. 금속 산화물 반도체의 전압 전류 특성은 스트레스가 인가되지 않은 상태에서 산화막 두께에 따른 절연막 파괴현상이 발생하는 이상의 전압을 인가하면서 측정하였다. 전압 스윕율은 산화막 두께 113.4 Å 과 204 Å에서는 0.2 V/sec, 398.3 Å과 814 Å에서는 0.5 V/sec로 하였다. 음 게이트 전압을 인가하면서 측정한 전압 전류의

관계는 Fig. 1에서 보여 주고 있다.

실리콘 산화막의 전압 전류특성은 절연파괴 전계, 저레벨 터널링 전 누설전류, 터널링 전 누설전류, 터널링 전류, 스트레스 전류, 트랩밀도 등을 파악할 수 있다. 실리콘 산화막 두께가 각각 113.4 Å, 204 Å, 398.3 Å 그리고 814 Å인 저레벨 누설전류는 10^{-14} A/cm² 이하로 나타났으며 터널링 전 누설전류는 10^{-10} A/cm²~ 10^{-12} A/cm²로 나타났다. 터널링 전 누설전류는 산화막의 두께가 증가할수록 산화막 트랩이 많이 발생되어 산화막 두께가 얇은 것보다 큼을 알 수 있다. 터널링 영역에서는 FN(Fowler Nordheim) 터널링 전류를 보여주고 있다. FN 터널링 전류의 시작전압은 113.4 Å, 204 Å, 398.3 Å 그리고 814 Å인 실리콘 산화막에서 각각 7 V, 13.5 V, 27 V 그리고 54 V 임을 보여 주고 있다. 터널링 시작전압은 산화막의 두께에 비례함을 보여주고 있다. 이러한 현상은 산화막 두께가 증가함에 따라 트랩 발생을 위한 고전압이 요구되기 때문이다. 그리고 이때 나타나는 터널링 산화막 전류는 지수 함수적으로 증가하고 있다. 산화막에 바이어스 전압을 계속 인가하면 산화막 터널링 전류의 한계에 이른다. 한계 전압에서 산화막 파괴가 발생된다. 이때 발생하는 절연파괴 전계는 산화막 두께가 증가할수록 감소함을 보여주고 있다.

실리콘 산화막 두께가 각각 113.4 Å, 204 Å, 398.3 Å 그리고 814 Å에서 게이트 전압에 대한 전류와 전하량의 관계를 Fig. 2에 나타내었다.

산화막 두께가 각각 113.4 Å, 204 Å, 398.3 Å 그리고 814 Å인 저레벨 터널링 전 누설 전하량은 10^{-14} C/cm² 이하의 낮은 값으로 측정되었으며 터널링 전 누설 전하량은 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 7 V, 13.5 V, 27 V 그리고 54 V 일 때 전하량은 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

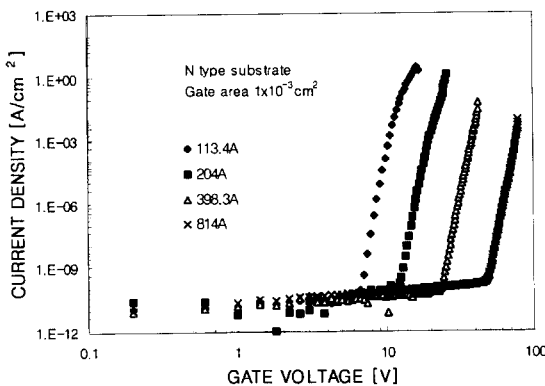


Fig. 1. Current voltage characteristics of the 113.4 Å to 814 Å oxides.

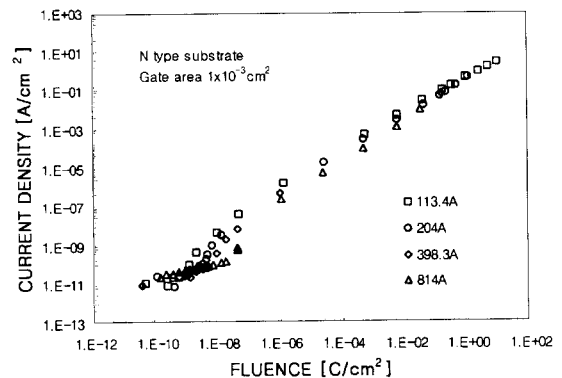


Fig. 2. Fluence current characteristics of the 113.4 Å to 814 Å oxides.

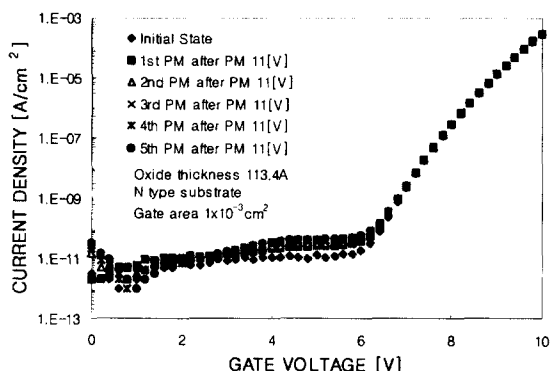


Fig. 3. Repetitive current voltage characteristics of a 113.4 Å oxide thickness.

전 누설 전하량은 산화막의 두께가 증가할수록 증가됨을 보여주고 있다. 터널링 전하량은 절연막 파괴 전까지의 전하량을 나타내며 전하량은 산화막 113.4 Å에서 12 V, $9.17 \times 10^{-1} \text{ C/cm}^2$, 산화막 204 Å에서 25 V, $6.84 \times 10^{-1} \text{ C/cm}^2$, 산화막 398.3 Å에서 42.2 V, $1.5 \times 10^{-1} \text{ C/cm}^2$, 그리고 산화막 814 Å에서 78.2 V, $3.27 \times 10^{-2} \text{ C/cm}^2$ 로 나타났다. 산화막 절연과 파괴 시에 나타나는 전하량은 $10^1 \text{ C/cm}^2 \sim 10^2 \text{ C/cm}^2$ 로 나타났다. 실리콘 산화막의 전류와 전하량의 관계는 전압 전류와의 관계와 같은 현상이 나타남을 알 수 있다.

산화막 두께 113.4 Å에서 게이트 전압을 절연과 파괴가 발생하지 않는 전압으로 반복적 인가하면서 측정된 전압 전류 특성을 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3에서 알 수 있는 바와같이 절연막 두께가 113.4 Å인 산화막에서 전압 전류 특성을 측정하기 위해서 시작전압 0 V, 끝전압 11 V, 스위칭을 0.2 V/sec, 반복시간 간격 5 초 그리고 양 게이트 전압을 인가하여 양전압 측정(PM: positive voltage measurement) 특성을 5회 반복 실시 하였다. 터널링 전 누설전류는 초기에는 일정한 값을 유지함을 보여 주고 있다. 그리고 스트레스 유기 누설전류는 게이트 스위칭 전압의 반복 회수가 증가할수록 터널링 시작 전압 전에서 증가됨을 보여주고 있다. 반복적인 전압 전류 특성 측정의 1 V 부근에서 나타나는 초기 저레벨 스트레스 유기 누설 전류의 증가분은 터널링 전압에 의해 유기된 계면 부근에 형성된 트랩특성에 의한 것이다. 발생된 트랩의 전하상태는 스트레스 전압에 의해 변화된다. 전형적인 트랩 밀도는 스트레스 전계 10 MV/cm, 스트레스 시간 100 초 그리고 전류량 $1 \sim 2 \text{ C/cm}^2$ 에서 $10^{19} \text{ traps/cm}^3$ 이었다.

반복적인 펄스형 스트레스 전압을 인가하면서 측정된 시간 대 터널링 전류의 관계를 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4에서와 같이 음 게이트 스트레스 전압 36 V, 스트레스 펄스 폭 1000초를 연속적으로 반복 인가하면서 산화막 터널링 전류를 측정하였다. 2000초, 1주기의 스트레스

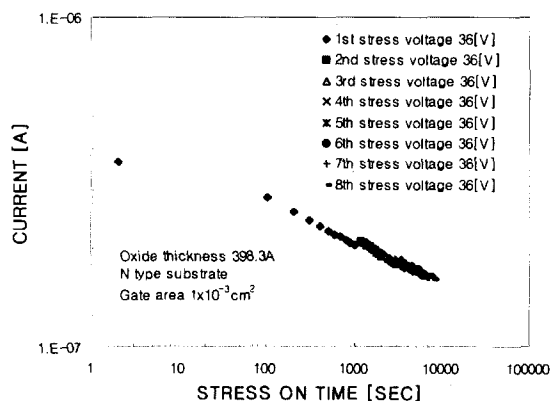


Fig. 4. The oxide current vs. stress on time characteristics for the oxides using repetitive negative gate voltage 36 V.

펄스 전압을 8회 반복적으로 인가하면서 펄스 주기의 고전압 인가 시에 나타나는 산화막 터널링 전류는 각각 $3.67 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2 \sim 2.05 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$, $2.10 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2 \sim 1.89 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$, $1.94 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2 \sim 1.27 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$, $1.84 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2 \sim 1.75 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$, $1.78 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2 \sim 1.70 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$, $1.73 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2 \sim 1.67 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$, 그리고 $1.69 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2 \sim 1.64 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$ 로 나타났다. 2000초, 1주기의 스트레스 펄스 전압을 인가하는 고전압 주기 동안의 산화막 터널링 전류는 일정하게 감소함을 보여주고 있다. 그리고 1주기가 2000초인 스트레스 펄스 전압을 8회 반복적으로 인가할수록 터널링 전류는 점점 감소함을 보여주고 있다. 터널링 전류 감소현상은 산화막에 인가되는 고전계에 의한 산화막 트래핑 전하의 디트래핑에 의한 것이다.

반복적인 스트레스 펄스 전압을 인가하면서 측정된 시간 대 전이전류의 관계를 Fig. 5에 나타내었다.

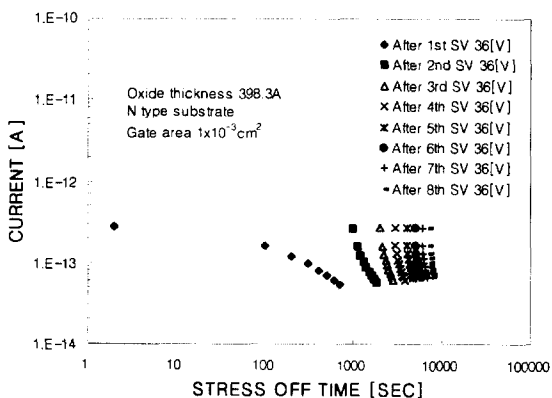


Fig. 5. The transient current vs. time characteristics for the oxides using repetitive negative gate voltages.

Fig. 5에서와 같이 양 게이트 스트레스 펄스 전압 36 V, 스트레스 펄스 폭 1000초를 연속적으로 8회 반복 인가하면서 고전압 인가 후에 고전압 비인가 시 나타나는 산화막 전이전류를 측정하였다. 스트레스 펄스의 1주기가 2000초에서 스트레스 전압 1000초를 인가하고 난 후 스트레스를 인가하지 아니한 상태에서의 산화막에 흐르는 전이전류는 각각 $2.79 \times 10^{-13} \text{ A/cm}^2 \sim 5.40 \times 10^{-14} \text{ A/cm}^2$, $2.69 \times 10^{-13} \text{ A/cm}^2 \sim 5.80 \times 10^{-14} \text{ A/cm}^2$, $2.76 \times 10^{-13} \text{ A/cm}^2 \sim 6.20 \times 10^{-14} \text{ A/cm}^2$, $2.76 \times 10^{-13} \text{ A/cm}^2 \sim 6.30 \times 10^{-14} \text{ A/cm}^2$, $2.77 \times 10^{-13} \text{ A/cm}^2 \sim 6.60 \times 10^{-14} \text{ A/cm}^2$, $2.78 \times 10^{-13} \text{ A/cm}^2 \sim 6.80 \times 10^{-14} \text{ A/cm}^2$, $2.78 \times 10^{-13} \text{ A/cm}^2 \sim 6.90 \times 10^{-14} \text{ A/cm}^2$ 이었다. 스트레스 전압을 인가하고 난 후 흐르는 전이전류는 스트레스 인가 동안 산화막에 트랩이 생성되었기 때문이다. 스트레스 전압은 에노우드와 캐소우드 부근에 트랩을 생성시키기 위한 것이다. 산화막 전이전류는 스트레스 전압에 의해 트랩이 발생하고 난 후, 시간의 함수로 나타난다. 이때 산화막 전이전류의 감소율은 일정하며 시간에 따라 감소함을 알 수 있다.

스트레스 유기 누설전류는 산화막의 트랩 어시스트 터널링에 의해 실행된다. 이와 같이 나타나는 스트레스 유기 누설전류는 산화막의 트랩분포를 측정할 수 있다. 터널링 전 전류는 산화막에 양음의 고전압을 인가 전과 후에 측정하였다. 음의 전압은 기관 부근 트랩을 형성하고 양의 전압은 게이트 부근 트랩을 형성함을 알 수 있다.

스트레스 극성과 측정 극성의 변화에 의한 스트레스 유기 누설전류는 트랩의 충전방전에 의해서 발생하는 OTOLC (one time only leakage current)가 나타난다. 113.4 Å 산화막에 음 스트레스 전압 13 V를 인가한 후 스트레스 유기 누설전류는 Fig. 6에서 보여 주고 있다.

Fig. 6에서 보여 준 것과 같이 스트레스 유기 누설전류의 측정은 동일 산화막에서 연속적으로 측정하였다. 측정 과정은 다음과 같은 순서에 의해 실행을 하였다. 스트레스를 인가하지 않은 초기상태의 터널링 전 전류 측정(unstressed PM 곡선), 스트레스 전압 10V를 인가하여 산화막 트랩 발생, 양 게이트 전압으로 측정(1st PM after PS 10 V 곡선), 스트레스 전압 13 V를 인가하여 산화막 트랩 발생, 양 게이트 전압으로 측정(2nd PM after PS 13 V 곡선), 스트레스 전압 10 V를 인가하여 산화막 트랩 발생, 음 게이트 전압으로 측정(1st NM after PS 10 V 곡선), 스트레스 음전압 10 V를 인가하여 산화막 트랩 발생, 음 게이트 전압으로 측정(2nd NS after NM 10 V 곡선), 스트레스 음전압 10 V를 인가하여 산화막 트랩 발생 그리고 양 게이트 전압으로 측정(4th PM after NS 10 V 곡선)을 순서적으로 실행하였다.

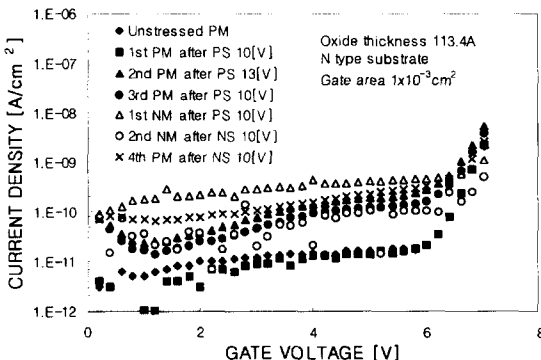


Fig. 6. The stress induced leakage currents of a 113.4 Å oxide after negative gate voltage stressing at 13 V.

ressed PM 곡선), 스트레스 전압 10V를 인가하여 산화막 트랩 발생, 양 게이트 전압으로 측정(1st PM after PS 10 V 곡선), 스트레스 전압 13 V를 인가하여 산화막 트랩 발생, 양 게이트 전압으로 측정(2nd PM after PS 13 V 곡선), 스트레스 전압 10 V를 인가하여 산화막 트랩 발생, 음 게이트 전압으로 측정(1st NM after PS 10 V 곡선), 스트레스 음전압 10 V를 인가하여 산화막 트랩 발생, 음 게이트 전압으로 측정(2nd NS after NM 10 V 곡선), 스트레스 음전압 10 V를 인가하여 산화막 트랩 발생 그리고 양 게이트 전압으로 측정(4th PM after NS 10 V 곡선)을 순서적으로 실행하였다.

보다 큰 전압 스트레스가 인가된 산화막 스트레스 유기 누설전류는 보다 작은 전압 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 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 113.4 Å, 204 Å, 398.3 Å 그리고 814 Å인 소자에 양의 스트레스 전압 14 V, 20 V, 41 V 그리고 70 V를 인가하고 난 후, 양과 음의 측정전압에 따른 스트레스 유기 누설전류는 Figs. 7, 8, 9 그리고 10에 나타내었다.

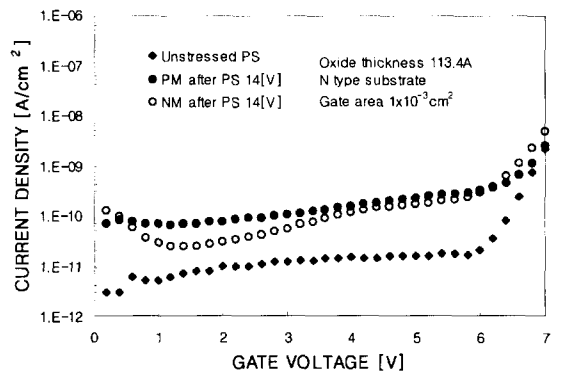


Fig. 7. Polarity dependence of stress induced leakage currents of a 113.4 Å oxide after positive gate voltage stressing at 14 V.

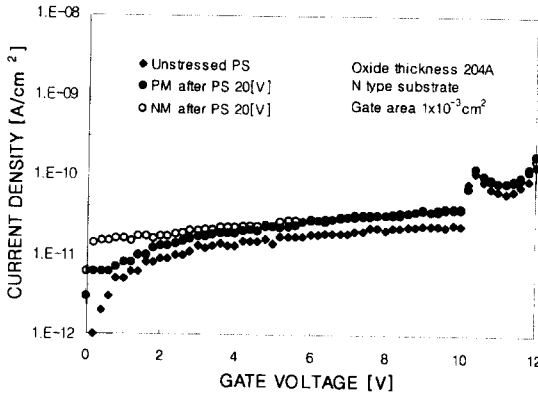


Fig. 8. Polarity dependence of stress induced leakage currents of a 204 Å oxide after positive gate voltage stressing at 20 V.

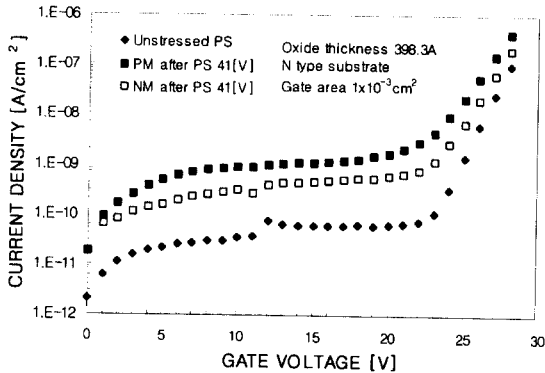


Fig. 9. Polarity dependence of stress induced leakage currents of a 398.3 Å oxide after positive gate voltage stressing at 41 V.

Figs. 7, 8, 9 그리고 10에서 보여준 것과 같이 산화막 두께가 각각 113.4 Å, 204 Å, 398.3 Å 그리고 814 Å인 소자에 양 게이트 스트레스 전압 14 V, 20 V, 41 V 그리고 70 V를 인가하고 난 후 스트레스 유기 누설전류가 각각 나타남을 알 수 있다. 여기에서 양과 음의 게이트 스위칭 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 부근보다 스트레스 애노우드 부근에, 또는 스트레스 애노우드 부근보다 스트레스 캐소우드 부근에 더 많이 분포되어 있다고 볼 수 없다. 이와 같이 스트레스 애노우드와 스트레스 캐소우드 부근에 형성되어 있는 트랩은 같다고 보여진다. 산화막 814 Å인 소자의 작은 스트레스 유기 누설전류는 산화막에 발생된 낮은 트랩밀도에 기인한다. 얇은 산화막은 고전계가 인가되어 높은 트랩밀도를 갖게 되어 큰 누

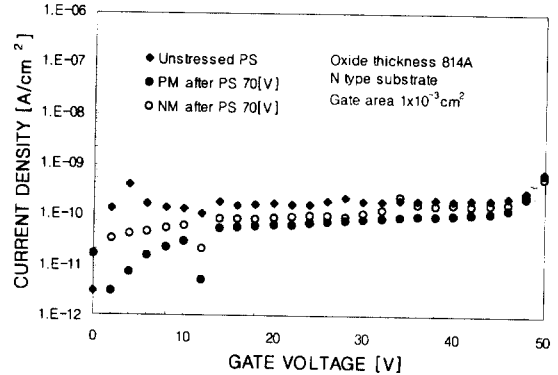


Fig. 10. Polarity dependence of stress induced leakage currents of a 814 Å oxide after positive gate voltage stressing at 70 V.

설전류가 나타나게 되고 두꺼운 산화막일수록 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 시간에 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.

4. 결 론

실리콘 산화막 두께가 각각 113.4 Å, 204 Å, 398.3 Å 그리고 814 Å인 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 시간에 따라 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 보여주고 있어 트랩 밀도는 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.

참 고 문 헌

- [1] D.J. Dumin and J.R. Maddux, IEEE Trans. on Electron Devices 40(5) (1993) 986.
- [2] D.J. Dumin, J.R. Maddux, R.S. Scott and R. Subramoniam, IEEE Trans. on Electron Devices 41(9) (1994) 1570.
- [3] T.W. Hughes, N.A. Dumin, K.J. Dickerson, S. Mopuri, S.M. Gladstone, D.J. Dumin, J.R. Maddux, R. Subramoniam, R.S. Scott and S. Vanchinathan, J. Vac. Sci. Technol. B, 13(No)4 (1995) 1780.
- [4] Michel Depas, Tanya Nigam, Marc M. Heyns, IEEE Trans. on Electron Devices 43(9) (1996) 1499.
- [5] R.S. Scott and D.J. Dumin, IEEE Trans. on Electron Devices 43(1) (1996) 130.
- [6] Y.H. Lin, C.L. Lee and T.F. Lei, IEEE Trans. on Electron Devices 45(2) (1998) 567.
- [7] C.S. Kang, L. Chen, O. Oralkan and D.J. Dumin, J. Electrochem. Soc. 145(4) (1998) 1292.
- [1] D.J. Dumin and J.R. Maddux, IEEE Trans. on