

실리콘 산화막 전류의 두께 의존성

강창수

유한대학 전자과, 부천, 422-749

Thickness dependence of silicon oxide currents

Chang Soo Kang

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

요 약 LPCVD 방법으로 실리콘 산화막 두께가 10 nm에서 80 nm인 MOS를 제작하였다. 그리고 스트레스 전계 산화막 전류의 두께 의존성을 조사하였다. 산화막 전류는 스트레스 전류와 전이전류로 구성되어 있음을 보여 주었다. 스트레스 전류는 스트레스 유기 누설전류와 직류전류로 이루어졌으며 산화막을 통하는 트랩 어시스트 터널링으로 행해진다. 전이전류는 계면에서 트랩의 터널링 충전과 방전에 의해 이루어진다. 스트레스 전류는 산화막 전류의 두께 한계를 평가하는데 이용되고 전이전류는 기억소자에서 데이터 유지에 사용된다.

Abstract The thickness dependence of stress electric field oxide currents has been measured in oxides with thicknesses between 10 nm and 80 nm. The oxide currents were shown to be composed of stress current and transient current. The stress current was composed of stress induced leakage current and dc current. The stress current was caused by trap assisted tunneling through the oxide. The transient current was caused by the tunneling charging and discharging of the trap in the interfaces. The stress current was used to estimate the limitations on oxide thicknesses. The transient current was used to the data retention in memory devices.

1. 서 론

반도체 산업의 급속한 신장에 따라 금속산화물 반도체 소자는 고신뢰성 실리콘 산화물을 요구한다. 실리콘 산화막은 스위칭, 절연 그리고 기억기능에 중요한 역할을 한다. 고품질의 얇은 실리콘 산화막은 고집적도에 개선에 필수적 요소이다[1, 2].

고품질 산화막을 위한 얇은 실리콘 산화막에 대한 스트레스 전류, 스트레스 유기 누설전류(SILC: Stress Induced Leakage Current) 그리고 전이전류에 관한 연구가 집중되고 있다[3]. 산화막에 인가되는 스트레스 전압은 스트레스 전류, 스트레스 유기 누설전류 그리고 전이전류를 유발한다. 스트레스 전류는 얇은 산화막의 한계를 평가할 수 있다[4]. 스트레스 유기 누설전류는 얇은 산화막에서 저전압 파괴현상을 나타내기도 한다[5]. 그리고 산화막 두께가 감소할수록 증가함을 보여주고 있다[6]. 스트레스 유기 누설전류와 전이전류는 계면에서 발생된 트랩의 포획과 탈포획에 의한 터널링 현상에 의해 발생한다[7]. 스트레스 전압을 인가하고 난 후, 발생된 전이전류는 기억소자의 기억유지 특성에 영향을

준다[8]. 스트레스 전류와 전이전류는 인가 전압이 증가함에 따라 증가한다[9].

본 연구에서는 산화막 두께를 다르게 제작한 소자에서 산화막 전류의 스트레스 전류와 전이전류를 측정하기 위해서 산화막에 흐르는 스트레스 전류인 스트레스 유기 누설전류와 직류전류 그리고 전이전류는 스트레스 전압, 스트레스 극성, 산화막 두께 그리고 시간의 함수로써 스트레스 전압 인가 전후에 측정하고 메모리 소자에 응용 가능성을 조사하였다.

2. 실험

소자는 비저항 1~2 Ωcm 인 n형 기판에 LOCOS 과정과 n⁺ 폴리실리콘 게이트를 사용하여 850°C 건식산화법(Dry O₂)으로 제작하였다. 산화막 두께는 각각 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å이고, 소자의 게이트 면적은 각각 10⁻³ cm²이었다. 스트레스 전압에 따른 전압 전류특성은 휴렛 팩커드 HP4140B, 웨이브텍 395 그리고 마이크로 매니플레이터 프로브 스테이션을 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 1헵토 암페어였다. 테스트 리드 확스처의 스트레이 전류 및 캐패시턴스는 오프셋 키에 의해 최소화하였다. 피코 암페어로 측정되어진 데이터는 휴렛 팩커드 HP9000으로 데이터 파일을 전송하여 분석하였다.

전압에 대한 산화막 전류밀도의 램프 전압 측정 조건은 시작 전압, 종료 전압, 단계 전압, 단계 시간, 유지 시간 그리고 스위칭을 변화시키면서 실행하였다. 고스트레스 전압은 고정 전압과 고정 시간에 대하여 수행하였다. 스트레스 전류와 전이전류에 대한 시간의 측정은 고스트레스 전압을 인가하였을 때와 인가 후를 측정하였다.

3. 결과 및 토의

산화막에 스트레스 전압을 인가할 때 흐르는 전류는 변위전류, 스트레스 전류, 스트레스 유기 누설전류로 구성되며, 스트레스 전압을 인가하고 난 후 흐르는 전류는 변위전류와 트랩의 충방전 전이전류로 구성된다.

산화막 두께에 따른 전압 전류밀도, 전압 전류 그리고 시간 전류의 측정은 산화막의 스트레스 전류, 전이전류를 이해하고 기억소자에 이용할 수 있는 산화막의 특성을 파악할 수 있다. 산화막 두께 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å 금속산화물 반도체에서 게이트 전압에 대한 산화막 전류밀도의 관계를 Fig. 1에서 보여주고 있다.

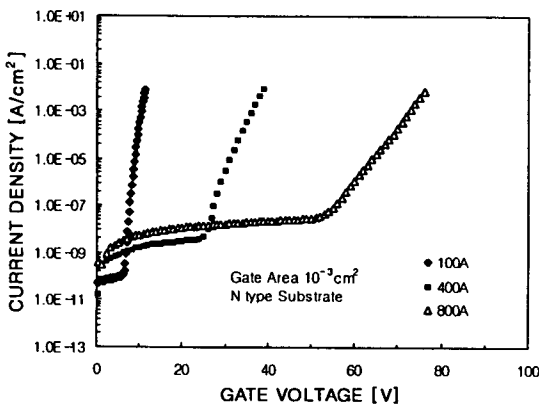


Fig. 1. The gate voltage vs. current density according to oxide thicknesses.

Fig. 1에서 보여준 것과 같이 게이트 전압이 증가할수록 산화막 전류밀도가 증가함을 보여주고 있다. 스트레스 유기 누설전류는 100 Å에서 10^{-11} ~ 10^{-10} A/cm², 400 Å에서 10^{-10} ~ 10^{-9} A/cm², 그리고 800 Å에서 10^{-10} ~ 10^{-7} A/cm²의 범위에서 나타남을 알 수 있다. 스트레스 유기 누설전류는 산화막의 두께가 증가할수록 증가함을 보여주고 얇은 산화막일 수록 작음을 알 수 있다. 이 때 100 Å의 산화막에서 산화막 전계가 7 MV/cm 부근에서 스트레스 유기 누설전류는 산화막 전류로 변화였으며 스트레스 유기 누설전류 밀도의 범위는 10^{-10} A/cm² 이하였고, 400 Å의 산화막에서 산화막 전계가 7 MV/cm 부근에서 스트레스 유기 누설전류는 산화막 전류로 변화였으며 스트레스 유기 누설전류 밀도의 범위는 10^{-8} A/cm² 이하였다 그리고 800 Å의 산화막에서 산화막 전계가 7 MV/cm 부근에서 스트레스 유기 누설전류는 산화막 전류로 변화였으며 스트레스 유기 누설전류 밀도의 범위는 10^{-7} A/cm² 이하였다. 산화막 스트레스 전류는 산화막의 두께가 증가할수록 높은 산화막 전계가 요구됨을 알 수 있다. 산화막 두께가 증가할수록 산화막 전계에 대한 산화막 전류의 증가율은 감소함을 알 수 있다. 산화막 두께가 100 Å의 전압 스위칭율은 0.2 V/sec 그리고 400 Å과 800 Å의 전압 스위칭율은 5 V/sec로 하여 측정하였다.

산화막 두께가 각각 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å 금속산화물 반도체에서 전계에 대한 산화막 전류량의 관계를 Fig. 2에서 보여주고 있다.

Fig. 2에서와 같이 각각의 산화막 두께에 대한 스트레스 유기 누설 전류량과 산화막 터널링 전류량은 인가 전압 당 100초 동안 인가하여 나타난 총 전류량의 합으로 나타낸 양이다. 산화막 터널링 시작 전계는 각각 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å에서 7 MV/cm 부근이었다. 이 때

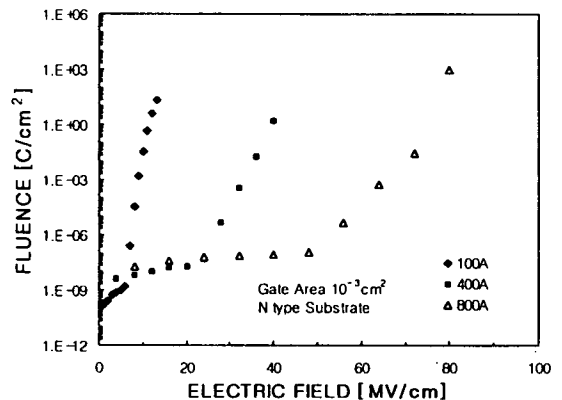


Fig. 2. The oxide electric field vs. the fluence according to oxide thicknesses.

각각의 전류량은 $2.52 \times 10^{-7} \text{ C/cm}^2$, $4.42 \times 10^{-6} \text{ C/cm}^2$ 그리고 $4.90 \times 10^{-6} \text{ C/cm}^2$ 이었다. 산화막 전계에 대한 산화막 스트레스 유기 누설전류량은 산화막 두께에 따라 비례적으로 증가함을 보여주고있고, 또한 산화막 전계에 대한 산화막 터널링 전류량은 산화막 두께에 따라 비례적으로 증가함을 보여주고 있다. 산화막 두께가 감소함에 따라 산화막 전계에 대한 산화막 전류량 증가도가 커짐을 보여주고 있다. 산화막 터널링 전류량 전계와 산화막 전류량 증가율은 산화막 두께에 비례함을 보여 주었다.

스트레스 전계 효과에 의한 저전계 산화막 전류밀도의 영향을 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3과 같이 스트레스 전계 효과에 의한 산화막 저전계 대 산화막 전류밀도의 관계를 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 산화막 100 Å인 소자에 스트레스 전계를 각각 11 MV/cm와 13 MV/cm로 인가하고 난 후 저산화막 전계 대 산화막 전류밀도의 관계를 비교한 결과, 산화막 저전계 레벨의 산화막 누설전류가 영향을 받았다. 스트레스 유기 누설전류는 저전계 부근에서 스트레스 전계에 의하여 감소하였으며 고전계 부근에서는 스트레스 전계에 의하여 증가됨을 알 수 있다. 스트레스 전계에 의하여 산화막 터널링 전류 온 전압이 감소됨을 알 수 있다. 이러한 스트레스 전계에 의하여 저전계 부근에서는 스트레스 유기 누설전류는 감소하였으나 산화막 터널링 전류 온 전압 부근에서는 다시 증가하는 현상을 나타내고 산화막 터널링 전류 부근에서는 감소하는 현상을 나타냈다. 스트레스 전계에 의한 스트레스 전류의 스트레스 유기 누설전류와 직류전류는 산화막에서 메모리 소자의 기억유지특성에 영향을 주어 메모리 소자 제작시 고려되어야 할 사항이다.

산화막 두께에 따라 산화막 저전계를 인가하면서 측

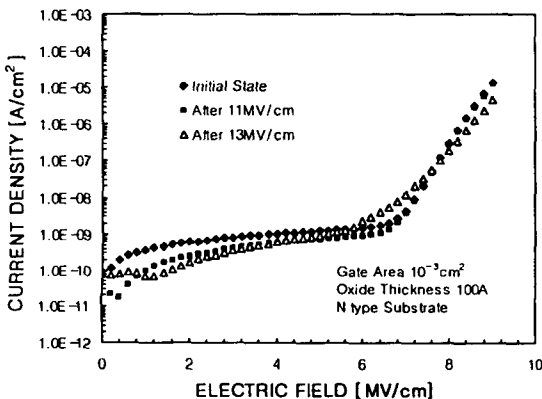


Fig. 3. Low level oxide electric field vs. current density according to the effect of stress electric field.

정한 저전계 스트레스 유기 누설전류와 인가 후 측정된 전이전류는 Fig. 4의 (1), (2)와 같다.

Fig. 4의 (1), (2)에서와 같이 산화막 두께 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å에서 산화막 저전계를 각각의 산화막에 3 MV/cm로 인가하면서 측정된 스트레스 유기 누설전류와 3 MV/cm를 인가 후 측정된 전이전류이다.

산화막 두께 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å에서 산화막 저전계를 각각에 3 MV/cm로 인가하면서 측정된 전류량은 각각 $5.7 \times 10^{-10} \text{ C/cm}^2$, $1.05 \times 10^{-8} \text{ C/cm}^2$ 그리고 $5.72 \times 10^{-8} \text{ C/cm}^2$ 이었다. 얇은 산화막에 흐르는 전류는 두꺼운 산화막에 흐르는 전류보다 적음을 알 수 있다. 그리고 인가 전계에 의한 산화막 전류의 감소율은 저전계 인가 누설전류의 영역에서는 거의 같음을 알 수 있다.

저레벨 스트레스 산화막 전계를 각각에 3 MV/cm로 인가하여 $5.7 \times 10^{-10} \text{ C/cm}^2$, $1.05 \times 10^{-8} \text{ C/cm}^2$ 그리고 $5.72 \times 10^{-8} \text{ C/cm}^2$ 이 흐른 전류량 후의 산화막 전이전류

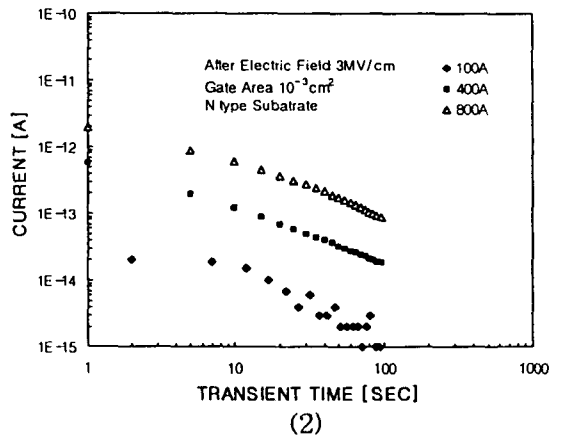
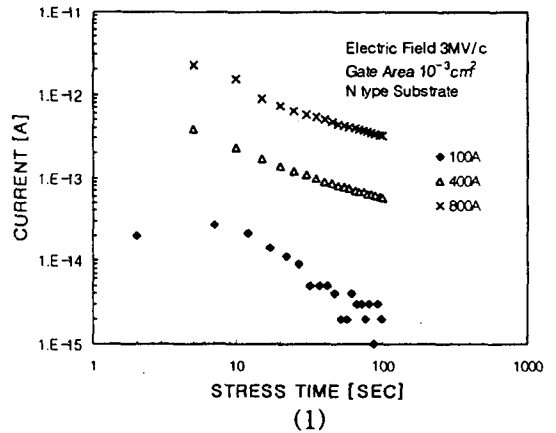


Fig. 4. Low level oxide electric field vs. stress induced leakage current and transition current. (1) Stress induced leakage current (2) Transition current.

는 시간에 따라 $1/t$ 로 감소함을 알 수 있다. 얇은 산화막에 흐르는 전이전류는 두꺼운 산화막에 흐르는 전이전류보다 적음을 알 수 있다. 그리고 인가 전계에 의한 산화막 전류의 감소율은 같음을 알 수 있다. 이와 같이 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å의 산화막에서는 쿨롱 산란 단면적의 영향이 같음을 알 수 있다.

산화막 두께에 따라 저레벨 산화막 전계를 인가하면서 측정된 스트레스 유기 누설전류와 인가 후 측정된 전이전류에 따른 트랩밀도의 관계는 Fig. 5의 (1), (2)와 같다.

Fig. 5의 (1), (2)에서와 같이 산화막 두께 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å에서 산화막 저전계를 각각에 3 MV/cm 인가하면서 측정된 스트레스 유기 누설전류와 인가 후 측정된 전이전류에 따른 트랩 밀도이다.

산화막 두께 100 Å의 스트레스 유기 누설전류에 대한 트랩밀도는 전류 3.91×10^{-16} A~ 4.59×10^{-15} A에서 6.29×10^{16} traps/cm³~ 1.35×10^{17} traps/cm³, 산화막 두께 400 Å의 트랩밀도는 전류 5.71×10^{-14} A~ 1.68×10^{-13} A에서 3.91×10^{16} traps/cm³~ 1.20×10^{18} traps/cm³, 산화막 두께 800 Å의 트랩밀도는 전류 3.18×10^{-13} A~ 2.23×10^{-12} A에서 2.26×10^{19} traps/cm³~ 5.43×10^{18} traps/cm³을 나타냈다. 산화막 두께 100 Å의 스트레스 유기 전이전류에 대한 트랩밀도는 전류 3.74×10^{-16} A~ 3.26×10^{-15} A에서 5.15×10^{16} traps/cm³~ 1.29×10^{17} traps/cm³, 산화막 두께 400 Å의 트랩밀도는 전류 5.70×10^{-13} A~ 1.90×10^{-14} A에서 5.22×10^{17} traps/cm³~ 7.55×10^{17} traps/cm³, 산화막 두께 800 Å의 트랩밀도는 전류 1.94×10^{-12} A~ 9.20×10^{-14} A에서 3.20×10^{18} traps/cm³~ 5.97×10^{18} traps/cm³를 나타냈다.

스트레스 유기 누설전류에 대한 트랩밀도는 두꺼운 산화막일수록 트랩밀도의 감소율은 증가하였으며 저전압 전이전류에 대한 트랩밀도는 감소율이 일정함을 알 수 있다. 스트레스 유기 누설전류에 대한 트랩밀도는 저전압 전이전류에 대한 트랩밀도보다 감소율이 큼을 알 수 있다.

산화막 두께에 따라 산화막 저전계와 고전계를 인가하면서 측정된 스트레스 유기 누설전류, 직류전류 그리고 인가 후 측정된 전이전류는 Fig. 6의 (1), (2)와 같다.

Fig. 6의 (1), (2)에서와 같이 산화막 두께 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å에서 산화막 저전계와 고전계를 각각에 6 MV/cm와 7 MV/cm를 인가하면서 측정된 스트레스 유기 누설전류와 직류전류 그리고 6 MV/cm와 7 MV/cm를 인가 후 측정된 전이전류이다.

각각의 산화막에 6 MV/cm와 7 MV/cm를 인가하면서 측정된 스트레스 유기 누설전류와 직류전류의 전류량은 100 Å에서 1.6970×10^{-9} C/cm²와 2.5198×10^{-7} C/cm², 400 Å에서는 4.2976×10^{-8} C/cm²와 4.4153×10^{-6} C/cm² 그리고 800 Å에서는 1.2205×10^{-7} C/cm²와 4.8959×10^{-6} C/cm²이었다. 그리고 각각의 산화막에서 스트레스 인가 시간을 100초, 산화막 전계는 100 Å에서 13 MV/cm, 400 Å에서 10 MV/cm 그리고 800 Å에서 10 MV/cm로 측정하는 중에 산화막 파괴가 발생하였다.

산화막이 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å인 소자에서 스트레스 전압 인가 후 측정된 전이전류는 산화막 두께 100 Å 소자에 스트레스 전계 6 MV/cm와 7 MV/cm를 인가하고 전류량 1.6970×10^{-9} C/cm²와 2.5198×10^{-7} C/cm²가 흐르고 난 후, 400 Å 소자에 스트레스 전계 6 MV/cm와 7 MV/cm를 인가하고 전류량 4.2976×10^{-8} C/cm²와 4.4153×10^{-6} C/cm²가 흐르고 난 후 그리고 800 Å 소자에 스트레스 전계 6 MV/cm와 7 MV/cm를

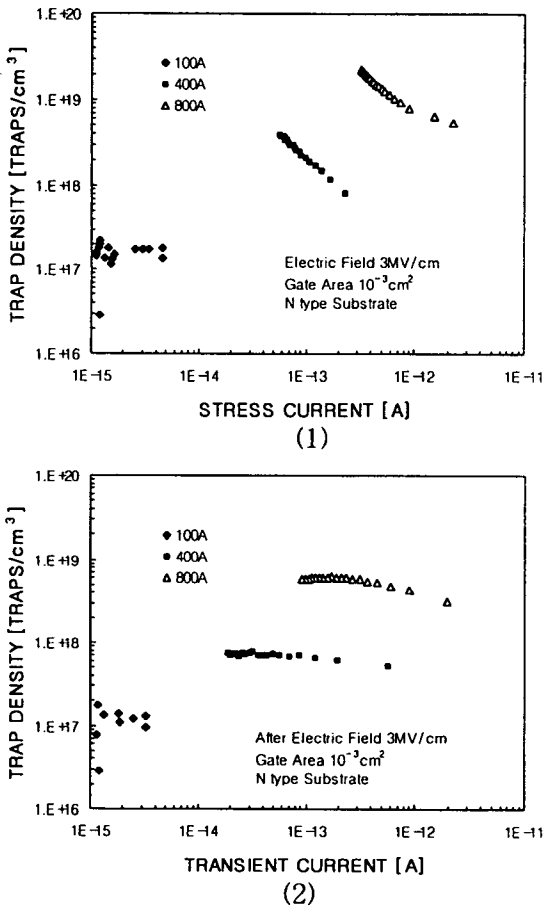
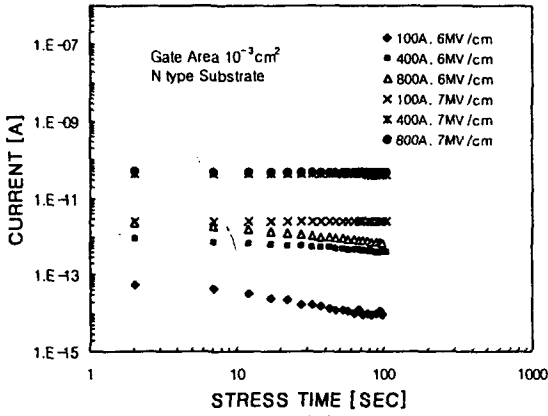
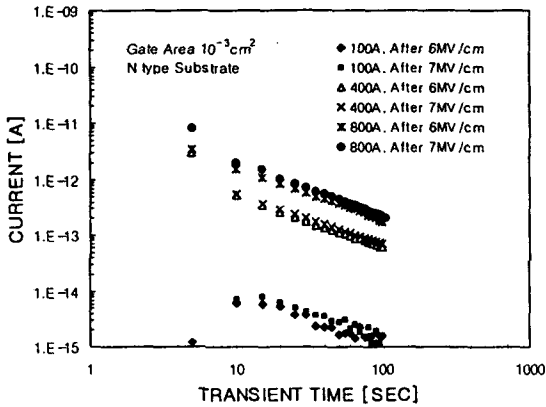


Fig. 5. Stress induced leakage current and transition current vs. trap density according to low level oxide electric field. (1) The trap density of stress induced leakage current. (2) The trap density of transition current.

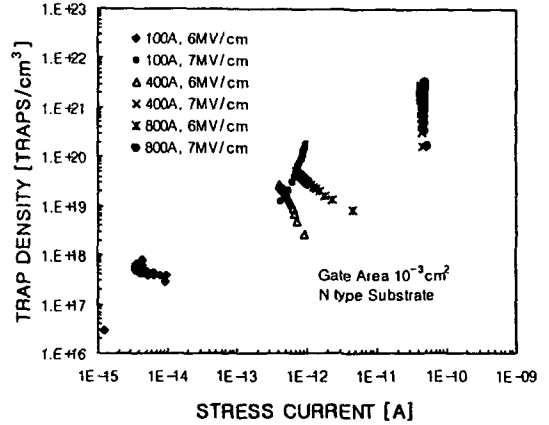


(1)

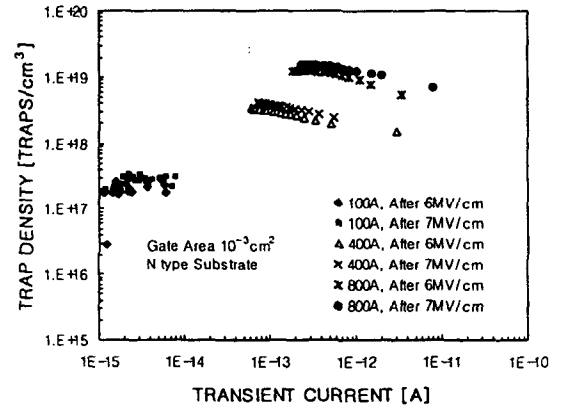


(2)

Fig. 6. Stress induced leakage current, dc current and transition current for the low level oxide electric field and high level oxide electric field. (1) Stress induced leakage current and dc current. (2) Transition current.



(1)



(2)

Fig. 7. Stress induced leakage current, dc current and transition current vs. trap density for the low level oxide electric field and high level electric field. (1) The trap density of stress induced leakage current and dc current. (2) The trap density of transition current.

인가하고 전류량 $1.2205 \times 10^{-7} \text{ C/cm}^2$ 와 $4.8959 \times 10^{-6} \text{ C/cm}^2$ 가 흐르고 난 후 측정된 전이전류이다. 전이전류는 산화막 두께가 증가할수록 증가함을 보여 주고 있으며 스트레스 전계가 커질수록 증가함을 보여주고 있다. 그리고 스트레스 전계를 인가하고 난 후 전이전류는 시간에 대하여 반비례적으로 감소함을 알았다. 이 때의 감소율은 $1/t$ 이었다.

산화막 두께에 따라 산화막 저전계와 고전계를 인가하면서 측정된 스트레스 유기 누설전류와 직류전류 그리고 인가 후 측정된 전이전류에 따른 트랩밀도의 관계는 Fig. 7의 (1), (2)와 같다.

Fig. 7의 (1), (2)에서와 같이 산화막 두께 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å에서 산화막 전계를 각각에 6 MV/cm와 7 MV/cm를 인가하면서 측정된 스트레스 유기 누설전류와 직류전류 그리고 인가 후 측정된 전이전류에

따른 트랩밀도이다.

스트레스 유기 누설전류 대 트랩밀도의 관계에서 전계 6 MV/cm를 산화막에 인가했을 때, 산화막 두께 100 Å에서 스트레스 유기 누설전류에 대한 트랩밀도는 전류 $1.2 \times 10^{-15} \text{ A} \sim 9.77 \times 10^{-15} \text{ A}$ 에서 $2.86 \times 10^{16} \text{ traps/cm}^3 \sim 3.86 \times 10^{17} \text{ traps/cm}^3$, 산화막 두께 400 Å의 트랩밀도는 전류 $4.09 \times 10^{-13} \text{ A} \sim 9.33 \times 10^{-13} \text{ A}$ 에서 $2.75 \times 10^{19} \text{ traps/cm}^3 \sim 2.63 \times 10^{18} \text{ traps/cm}^3$, 산화막 두께 800 Å의 트랩밀도는 전류 $7.23 \times 10^{13} \text{ A} \sim 4.25 \times 10^{11} \text{ A}$ 에서 $5.12 \times 10^{19} \text{ traps/cm}^3 \sim 8.40 \times 10^{18} \text{ traps/cm}^3$ 를 나타냈다. 이와 같이 저전계 유기 누설전류에서 트랩밀도는 감소함을 보여주고 있다. 반면에 산화막 직류전류 대 트랩밀도 관계에서 전계 7 MV/cm를 산화막에 인가했을 때, 산화막 두께 100 Å에서 직류전류에 대한 트랩밀도는 전류

$4.27 \times 10^{-13} \text{ A} \sim 9.96 \times 10^{-13} \text{ A}$ 에서 $1.26 \times 10^{19} \text{ traps/cm}^3 \sim 1.81 \times 10^{20} \text{ traps/cm}^3$, 산화막 두께 400 Å의 트랩밀도는 전류 $4.27 \times 10^{-11} \text{ A} \sim 4.78 \times 10^{-11} \text{ A}$ 에서 $2.91 \times 10^{21} \text{ traps/cm}^3 \sim 1.60 \times 10^{20} \text{ traps/cm}^3$, 산화막 두께 800 Å의 트랩밀도는 전류 $4.78 \times 10^{-11} \text{ A} \sim 5.24 \times 10^{-11} \text{ A}$ 에서 $2.56 \times 10^{21} \text{ traps/cm}^3 \sim 1.76 \times 10^{20} \text{ traps/cm}^3$ 를 나타냈다. 이 때 트랩밀도는 산화막 직류전류에 대하여 급격히 감소함을 보여주고 있다. 이와 같이 산화막에 인가한 전계 6 MV/cm는 산화막 저전계, 산화막 전계 9 MV/cm는 산화막 고전계로 분류된다.

전계 6 MV/cm를 산화막에 인가했을 때, 산화막 두께 100 Å에서 전이전류에 대한 트랩밀도는 전류 $1.16 \times 10^{-15} \text{ A} \sim 6.12 \times 10^{-15} \text{ A}$ 에서 $1.76 \times 10^{17} \text{ traps/cm}^3 \sim 1.80 \times 10^{17} \text{ traps/cm}^3$, 산화막 두께 400 Å의 트랩밀도는 전류 $6.10 \times 10^{-14} \text{ A} \sim 3.43 \times 10^{-12} \text{ A}$ 에서 $3.36 \times 10^{18} \text{ traps/cm}^3 \sim 1.52 \times 10^{18} \text{ traps/cm}^3$, 산화막 두께 800 Å의 트랩밀도는 전류 $1.99 \times 10^{-13} \text{ A} \sim 3.43 \times 10^{-12} \text{ A}$ 에서 $1.21 \times 10^{19} \text{ traps/cm}^3 \sim 5.36 \times 10^{18} \text{ traps/cm}^3$ 를 나타냈다. 이와 같이 저전계 유기 전이전류에서 트랩밀도는 전이전류가 감소함에 따라 감소함을 보여주고 있다. 반면에 전계 7 MV/cm를 산화막에 인가한 후 전이전류 대 트랩밀도 관계에서 산화막 두께 100 Å에서 전이전류에 대한 트랩밀도는 전류 $1.19 \times 10^{-13} \text{ A} \sim 7.82 \times 10^{-13} \text{ A}$ 에서 $1.99 \times 10^{17} \text{ traps/cm}^3 \sim 3.09 \times 10^{17} \text{ traps/cm}^3$, 산화막 두께 400 Å의 트랩밀도는 전류 $7.40 \times 10^{-14} \text{ A} \sim 5.46 \times 10^{-13} \text{ A}$ 에서 $4.19 \times 10^{18} \text{ traps/cm}^3 \sim 2.40 \times 10^{18} \text{ traps/cm}^3$, 산화막 두께 800 Å의 트랩밀도는 전류 $2.32 \times 10^{-13} \text{ A} \sim 8.00 \times 10^{-13} \text{ A}$ 에서 $1.51 \times 10^{19} \text{ traps/cm}^3 \sim 7.15 \times 10^{18} \text{ traps/cm}^3$ 를 나타냈다. 이 때 트랩밀도는 산화막 전이전류에 대하여 감소함을 보여주고 있다.

그림에서 보여준 것과 같이 산화막 두께에 따른 전이전류에 대한 트랩밀도는 일정한 관계를 유지함을 알 수 있다. 이 때의 트랩밀도는 10^{19} 정도로 두께에 관계없이 유지됨을 알 수 있다. 여기에서 100 Å 산화막 소자의 트랩밀도는 다른 산화막 소자의 트랩밀도보다 작다. 이것은 쿨롱 산란 단면적의 트랩밀도가 지배적이기 때문이다.

산화막 두께에 따라 산화막 고전계를 인가하면서 측정된 직류전류 그리고 인가 후 측정된 전이전류는 Fig. 8의 (1), (2)와 같다.

Fig. 8의 (1), (2)에서와 같이 산화막 두께 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å에서 산화막 고전계를 각각에 9 MV/cm를 인가하면서 측정된 스트레스 전류 그리고 9 MV/cm를 인가 후 측정된 전이전류이다.

산화막 두께 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å에서 산화막 고전계 9 MV/cm를 각각에 인가하면서 측정된 전류량은 각각 $1.51 \times 10^{-3} \text{ C/cm}^2$, $1.90 \times 10^{-2} \text{ C/cm}^2$ 그리고

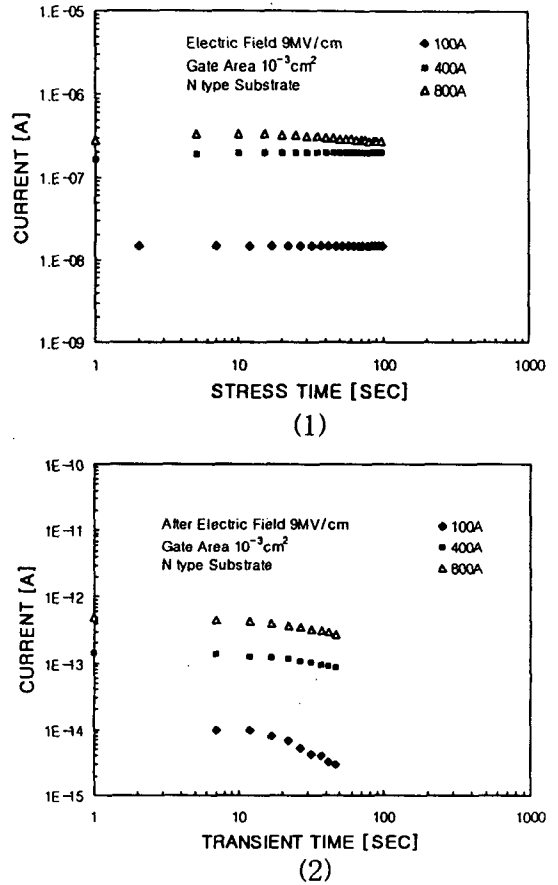


Fig. 8. Dc current and transition current for the high level oxide electric field. (1) Dc current. (2) Transition current.

$2.88 \times 10^{-2} \text{ C/cm}^2$ 이었다. 얇은 산화막에 흐르는 전류는 두꺼운 산화막에 흐르는 전류보다 적음을 알 수 있다. 그리고 인가 전계에 의한 산화막 스트레스 전류의 감소율은 거의 같음을 알 수 있다.

산화막 고전계 9 MV/cm를 각각에 인가하여 $1.51 \times 10^{-3} \text{ C/cm}^2$, $1.90 \times 10^{-2} \text{ C/cm}^2$ 그리고 $2.88 \times 10^{-2} \text{ C/cm}^2$ 가 흐른 전류량 후의 산화막 전이전류는 시간에 따라 $1/t$ 로 감소함을 알 수 있다. 얇은 산화막에 흐르는 전류는 두꺼운 산화막에 흐르는 전류보다 적음을 알 수 있다. 그리고 인가 전계에 의한 산화막 전류의 감소율은 같음을 알 수 있다. 이와 같이 얇은 산화막일수록 쿨롱 산란 단면적의 영향이 큼을 알 수 있다.

산화막 두께에 따라 산화막 고전계를 인가하면서 측정된 직류전류 그리고 인가 후 측정된 전이전류에 따른 트랩밀도의 관계는 Fig. 9의 (1), (2)와 같다.

Fig. 9의 (1), (2)에서와 같이 산화막 두께 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å에서 산화막 고전계 9 MV/cm를 각

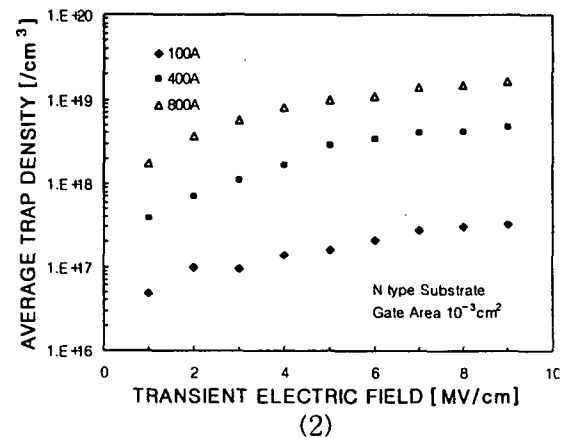
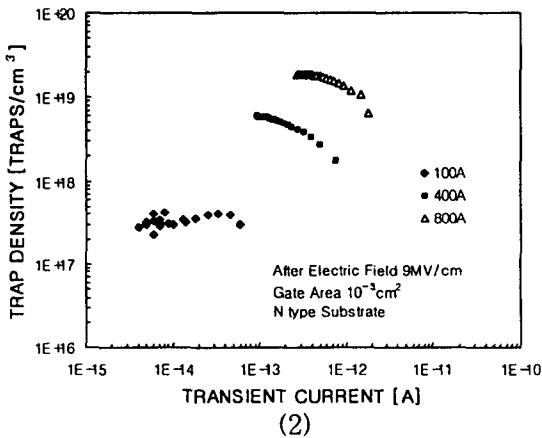
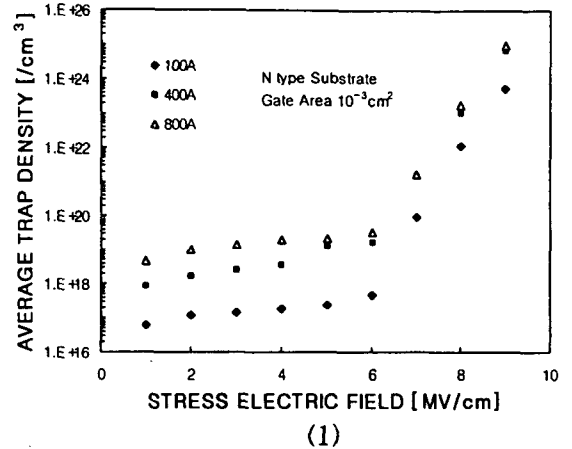
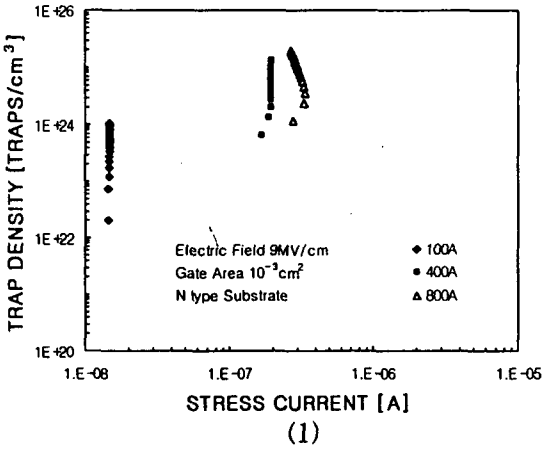


Fig. 9. Dc current and transition current vs. trap density for the high level oxide electric field. (1) The trap density of dc current. (2) The trap density of transition current.

Fig. 10. The average trap density of stress electric field and transient electric field according to different oxide thicknesses. (1) The average trap density of stress electric field. (2) The average trap density of transient electric field.

각에 인가하면서 측정된 직류전류 그리고 인가 후 측정 한 전이전류에 따른 트랩 밀도이다.

산화막 두께 100 Å의 스트레스 전류에 대한 트랩밀도는 전류 $1.45 \times 10^{-8} \text{ A} \sim 1.49 \times 10^{-8} \text{ A}$ 에서 $2.08 \times 10^{22} \text{ traps/cm}^3 \sim 1.04 \times 10^{24} \text{ traps/cm}^3$, 산화막 두께 400 Å의 트랩밀도는 전류 $1.65 \times 10^{-7} \text{ A} \sim 1.96 \times 10^{-7} \text{ A}$ 에서 $6.68 \times 10^{23} \text{ traps/cm}^3 \sim 6.99 \times 10^{24} \text{ traps/cm}^3$, 산화막 두께 800 Å의 트랩밀도는 전류 $2.66 \times 10^{-7} \text{ A} \sim 3.34 \times 10^{-7} \text{ A}$ 에서 $1.91 \times 10^{25} \text{ traps/cm}^3 \sim 3.54 \times 10^{24} \text{ traps/cm}^3$ 를 나타냈다. 산화막 두께 100 Å의 전이전류에 대한 트랩밀도는 전류 $4.00 \times 10^{-15} \text{ A} \sim 5.90 \times 10^{-14} \text{ A}$ 에서 $2.80 \times 10^{17} \text{ traps/cm}^3 \sim 2.95 \times 10^{17} \text{ traps/cm}^3$, 산화막 두께 400 Å의 트랩밀도는 전류 $9.20 \times 10^{-14} \text{ A} \sim 7.43 \times 10^{-13} \text{ A}$ 에서 $6.04 \times 10^{18} \text{ traps/cm}^3 \sim 1.78 \times 10^{18} \text{ traps/cm}^3$, 산화막 두께 800 Å의 트랩밀도는 전류 $2.76 \times 10^{-13} \text{ A} \sim 1.79 \times 10^{-12} \text{ A}$ 에서 $1.89 \times 10^{19} \text{ traps/cm}^3 \sim 6.40 \times 10^{18} \text{ traps/cm}^3$ 를 나타냈다.

산화막 두께에 따라 스트레스전계와 전이전계에 따른 평균트랩밀도의 관계를 Fig. 10의 (1), (2)에 나타내었다.

Fig. 10의 (1), (2)에서 보여준 것과 같이 각각의 산화막 두께에 대한 스트레스 전계와 전이전계에 따른 평균 트랩밀도를 보여 주었다.

산화막 두께 100 Å의 스트레스 전계에 대한 평균 트랩밀도는 저전계 1 MV/cm~6 MV/cm에서 $6.05 \times 10^{16} \text{ traps/cm}^3 \sim 4.70 \times 10^{17} \text{ traps/cm}^3$, 직류전계 7 MV/cm~9 MV/cm에서 $9.20 \times 10^{19} \text{ traps/cm}^3 \sim 5.53 \times 10^{23} \text{ traps/cm}^3$, 산화막 두께 400 Å의 스트레스 전계에 대한 평균 트랩밀도는 저전계 1 MV/cm~6 MV/cm에서 $8.58 \times 10^{17} \text{ traps/cm}^3 \sim 1.67 \times 10^{19} \text{ traps/cm}^3$, 직류전계 7 MV/cm~9 MV/cm에서 $1.54 \times 10^{21} \text{ traps/cm}^3 \sim 6.98 \times 10^{24} \text{ traps/cm}^3$, 산화막 두께 800 Å의 스트레스 전계에 대한 평균 트랩밀도는 저전계 1 MV/cm~6 MV/cm에서

4.81×10^{18} traps/cm³~ 3.20×10^{19} traps/cm³, 직류전계 7 MV/cm~9MV/cm에서 1.72×10^{21} traps/cm³~ 1.02×10^{25} traps/cm³를 나타내었다. 산화막 두께 100 Å의 전이전계에 대한 평균 트랩밀도는 전계 1 MV/cm~9 MV/cm에서 4.77×10^{16} traps/cm³~ 3.30×10^{17} traps/cm³, 산화막 두께 400 Å의 전이전계에 대한 평균 트랩밀도는 전계 1 MV/cm~9 MV/cm에서 3.90×10^{17} traps/cm³~ 4.86×10^{18} traps/cm³, 산화막 두께 800 Å의 전이전계에 대한 평균 트랩밀도는 전계 1 MV/cm~9 MV/cm에서 1.71×10^{18} traps/cm³~ 1.63×10^{19} traps/cm³를 나타내었다. 이와 같이 스트레스 전계에 의한 평균 트랩밀도는 저전계에서 변화량이 적다가 직류전계에서 변화량이 인가 전계에 따라 크게 증가됨을 알 수 있다. 그리고 전이전계에서의 평균 트랩밀도는 서서히 증가하다 일정한 상태로 유지됨을 알 수 있다.

스트레스 전압을 인가하여 산화막에 흐르는 스트레스 유기 누설전류 성분의 시간에 따른 전류량은 인가전계의 트랩밀도에 비례함을 알았다. 스트레스 전압을 인가하고 난 후 흐르는 전이전류 성분의 시간에 따른 전류량은 트랩밀도에 비례함을 알았다. 스트레스 유기 누설전류에 의한 트랩밀도와 직류전류에 의한 트랩밀도는 100 Å, 400 Å, 800 Å 산화막에서 선형적인 관계를 나타내고 있다. 이러한 트랩밀도는 EEPROM에 응용될 수 있는 전류의 한계 10^{-24} A, 프로그래밍하기 위한 전류량은 10^{-6} C/cm²로 보면 본 실험을 실행하는 측정상의 한계를 10^{-15} A까지 측정을 실행하여 예측할 수 있었다.

4. 결 론

스트레스 전계를 인가하여 산화막의 특성을 파악하기 위하여 산화막의 두께를 각각 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å로 제작하고 메모리 소자의 응용 가능성을 조사하였다.

- 1) 스트레스 유기 누설전류는 스트레스 전계가 증가함에 따라 감소하였다.
- 2) 산화막 두께 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å에서 스트

레스 전계를 각각 6.28 MV/cm, 6.86 MV/cm 그리고 6.88 MV/cm를 인가하면서 측정한 스트레스 전류량은 2.5198×10^{-7} C/cm², 4.1211×10^{-6} C/cm², 4.8959×10^{-6} C/cm²이었다.

3) 일정한 산화막 전계에서 산화막 두께가 증가할수록 산화막 터널링 전류와 전류량이 증가하였다.

4) 스트레스 전계에 비례하여 스트레스 전류가 증가하였으며 전이전류는 산화막의 두께에 관계없이 일정한 비율로 감소하였다.

5) 스트레스 전계에 의한 스트레스 유기 누설전류의 트랩밀도는 변화가 작았고 직류성분에서는 변화가 컸으며 전이전류에서는 일정하게 감소되었다.

이상과 같이 메모리 소자의 응용을 위한 산화막 두께 변화에 의한 전압전류 특성을 측정하여 스트레스 전류는 산화막의 한계, 전이전류는 메모리 소자의 응용성을 예측하였다.

참 고 문 헌

- [1] T. Izawa, IEEE Electron Device Lett. 14 (1993) 533.
- [2] M. Ono, M. Saito, T. Yoshitomi, C. Fienga, T. Ohguro and H. Iwai, IEEE Trans. Electron Devices 42 (1995) 1822.
- [3] J. Maserjian and N. Zamani, J. Vac. Sci. Tech. 20 (1982) 743.
- [4] K. Naruke, S. Taguchi and M. Wada, IEDM Dig. Tech. (1988) 424.
- [5] M. Depas, T. Nigam and M. M. Heyns, IEEE Trans. Electron Devices 43 (1996) 1499.
- [6] H. Satake and A. Toriumi, Appl. Phys. Lett. 67 (1995) 3489.
- [7] R.S. Scott and D.J. Dumin, Solid State Electronics 38 (1995) 1325.
- [8] R.S. Scott and D.J. Dumin, IEEE Trans. on Electron Devices 43 (1996) 130.
- [9] N.A. Dumin, K.J. Dickerson, D.J. Dumin and B. T. Moore, Solid State Electron. 39 (1996) 655.