

論文99-36T-3-3

## 실리콘 산화막의 트랩 밀도에 관한 연구

## (A study on the Trap Density of Silicon Oxide)

金 東 鎮 \* , 姜 昌 秀 \*

(Dong Jin Kim and Chang Soo Kang)

## 요 약

본 논문은 서로 두께가 다른 실리콘 산화막의 스트레스 바이어스에 의한 트랩밀도를 조사하였다. 스트레스 바이어스에 의한 트랩밀도는 인가 시간 동안의 전류와 인가 후의 전류로 구성되어 있다. 인가 시간 동안의 트랩밀도는 직류 전류로 구성되었으며 인가 후의 트랩 밀도는 계면에서 트랩의 충전과 방전에 의한 터널링에 의해 야기되었다. 스트레스 인가 동안의 트랩밀도는 산화막 두께의 한계를 평가하는데 사용되며 스트레스 인가 후의 트랩밀도는 비휘발성 기억소자의 데이터 유지 특성을 평가하는데 사용된다.

## Abstract

The trap density by the stress bias in silicon oxides with different thicknesses has been investigated. The trap density by stress bias was shown to be composed of on time current and off time current. The on time trap density was composed of dc current. The off time trap density was caused by the tunneling charging and discharging of the trap in the interfaces. The on time trap density was used to estimate to the limitations on oxide thicknesses. The off time trap density was used to estimate the data retention in nonvolatile memory devices.

## I. 서 론

고품질 산화막에 대한 스트레스 인가 동안의 트랩밀도 그리고 스트레스 인가 후 트랩밀도에 관한 연구가 집중되고 있다. 산화막에 인가되는 스트레스 전압은 스트레스 인가 중 트랩밀도와 스트레스 인가 후 트랩밀도를 유발한다.<sup>[1] [2]</sup> 스트레스 전압에 의한 트랩밀도는 산화막의 한계를 평가할 수 있다. 스트레스 인가 후 전류는 계면에서 발생된 트랩의 트래핑과 디트래핑에 의한 터널링 현상에 의해 발생한다. 스트레스 전압을 인가하고 난 후, 발생된 트랩밀도는 기억소자의 기억유지 특성에 영향을 준다. 스트레스 전압에 의한 인가 중 트랩밀도와 인가 후 트랩밀도는 인가 스트

레스 전압에 비례한다.<sup>[3] [4] [5]</sup>

본 연구는 산화막 두께가 다른 소자에서 산화막 전계에 의한 스트레스 인가 동안 트랩밀도와 인가 후 트랩밀도를 측정하여 비휘발성 기억소자에 대한 응용 가능성을 조사하였다.

## II. 실험

측정 소자는 비저항  $1 \sim 2 \Omega \text{cm}$ 인 n형 기판에 LOCOS 공정과  $n^+$  폴리실리콘 게이트를 사용하여  $850^\circ \text{C}$  건식산화법으로 제작하였다. 실리콘 산화막 두께는 각각 100Å, 400Å 그리고 800Å 이고, 소자의 게이트 면적은 각각  $10^{-3} \text{cm}^2$ 이었다. 스트레스 전압에 따른 전압 전류특성은 휴렛 팩커드 HP4140B, 마이크로 매니플레이터 프로브 스테이션을 연결하여 측정하였다. HP4140B는 램프 전압과 고정 전압에 의한 전류를 측정하기 위해서 사용하였으며, 피코 암페어 미

\* 正會員, 유한대학 전자과 교수

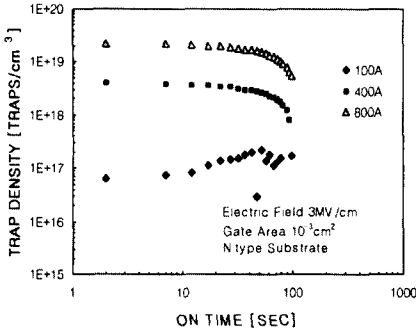
(Dept. of Electronic Eng., Uhan College)

接受日字:1999年2月12日, 수정완료일:1999年3月22日

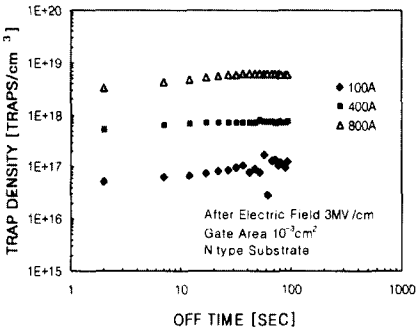
터의 측정 범위는 1훤토 암페어였다. 피코 암페어로 측정되어진 데이터는 휴렛 팩커드 HPVEE로 데이터 파일을 전송하여 분석하였다.

### III. 결과 및 토의

산화막 두께 변화에 따른 전압 전류밀도는 산화막 전계에 따른 스트레스 인가 시간 동안 트랩밀도, 스트레스 인가 후 트랩밀도를 조사하여 기억소자에 이용할 수 있는 산화막 특성을 알 수 있다. 산화막 두께에 따라 저레벨 산화막 전계를 인가하면서 측정된 스트레스 인가 동안의 트랩밀도와 스트레스 인가 후 측정된 트랩밀도 관계는 그림 1의 (1), (2)와 같다.



(1)



(2)

그림 1. 산화막 저전계에 대한 스트레스 인가 동안/후 트랩밀도

- (1) 스트레스 인가 동안 트랩밀도
- (2) 스트레스 인가 후 트랩밀도

Fig. 1. On/off time stress vs. trap density for low level oxide electric field.

- (1) On time stress trap density
- (2) Off time stress trap density

산화막 두께 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å에서 산화

막 저전계를 각각에 3MV/cm 인가하면서 측정된 스트레스 인가 동안 트랩밀도와 스트레스 인가 후 측정된 트랩밀도이다.

산화막 두께 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å에서 산화막 저전계를 각각에 3MV/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. 저레벨 스트레스 산화막 전계를 각각에 3MV/cm로 인가하여  $5.7 \times 10^{-10} \text{C/cm}^2$ ,  $1.05 \times 10^{-8} \text{C/cm}^2$  그리고  $5.72 \times 10^{-8} \text{C/cm}^2$  가 흐른 전류량 후, 전류는 시간에 따라 1/t로 감소하였다.

산화막 두께 100 Å의 스트레스 인가 동안 트랩밀도는 전류  $3.91 \times 10^{-16} \text{A} \sim 4.59 \times 10^{-15} \text{A}$ 에서  $6.29 \times 10^{16} \text{traps/cm}^3 \sim 1.35 \times 10^{17} \text{traps/cm}^3$ , 산화막 두께 400 Å의 트랩밀도는 전류  $5.71 \times 10^{-14} \text{A} \sim 1.68 \times 10^{-13} \text{A}$ 에서  $3.91 \times 10^{16} \text{traps/cm}^3 \sim 1.20 \times 10^{18} \text{traps/cm}^3$ , 산화막 두께 800 Å의 트랩밀도는 전류  $3.18 \times 10^{-13} \text{A} \sim 2.23 \times 10^{-12} \text{A}$ 에서  $2.26 \times 10^{19} \text{traps/cm}^3 \sim 5.43 \times 10^{18} \text{traps/cm}^3$ 를 나타냈다. 산화막 두께 100 Å의 스트레스 인가 후 트랩밀도는 전류  $3.74 \times 10^{-16} \text{A} \sim 3.26 \times 10^{-15} \text{A}$ 에서  $5.15 \times 10^{16} \text{traps/cm}^3 \sim 1.29 \times 10^{17} \text{traps/cm}^3$ , 산화막 두께 400 Å의 트랩밀도는 전류  $5.70 \times 10^{-13} \text{A} \sim 1.90 \times 10^{-14} \text{A}$ 에서  $5.22 \times 10^{17} \text{traps/cm}^3 \sim 7.55 \times 10^{17} \text{traps/cm}^3$ , 산화막 두께 800 Å의 트랩밀도는 전류  $1.94 \times 10^{-12} \text{A} \sim 9.20 \times 10^{-14} \text{A}$ 에서  $3.20 \times 10^{18} \text{traps/cm}^3 \sim 5.97 \times 10^{18} \text{traps/cm}^3$ 를 나타냈다.

스트레스 인가 후 트랩밀도는 두꺼운 산화막일수록 트랩밀도의 감소율은 증가하였으며 저전압 스트레스 인가 후 트랩밀도는 감소율이 일정함을 알 수 있다. 스트레스 인가 중의 트랩밀도는 저전계 스트레스 인가 후 트랩밀도보다 감소율이 큼을 알 수 있다.

산화막 두께에 따라 산화막 저전계와 고전계를 인가하면서 측정된 스트레스 인가 동안 트랩밀도와 스트레스 인가 후 측정된 트랩밀도의 관계는 그림 2의 (1), (2)와 같다.

산화막 두께 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å에서 산화막 전계를 각각에 6MV/cm와 7MV/cm를 인가하면서 측정된 스트레스 인가 동안 트랩밀도와 스트레스 인가 후 트랩밀도이다.

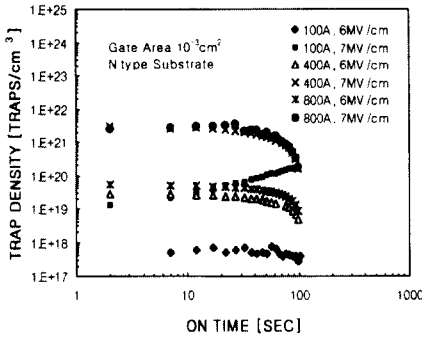
각각의 산화막에 6MV/cm와 7MV/cm를 인가하면서 측정된 스트레스 인가 동안의 전류량은 100 Å에서  $1.6970 \times 10^{-9} \text{C/cm}^2$ 과  $2.5198 \times 10^{-7} \text{C/cm}^2$ , 400 Å에서

는  $4.2976 \times 10^{-8} \text{C/cm}^2$ 와  $4.4153 \times 10^{-6} \text{C/cm}^2$  그리고 800 Å에서는  $1.2205 \times 10^{-7} \text{C/cm}^2$ 와  $4.8959 \times 10^{-6} \text{C/cm}^2$ 이었다. 그리고 각각의 산화막에서 스트레스 인가 시간을 100초, 산화막 두께는 100 Å에서 13MV/cm, 400 Å에서 10MV/cm 그리고 800 Å에서 10MV/cm로 측정하는 동안에 산화막 파괴가 발생하였다.

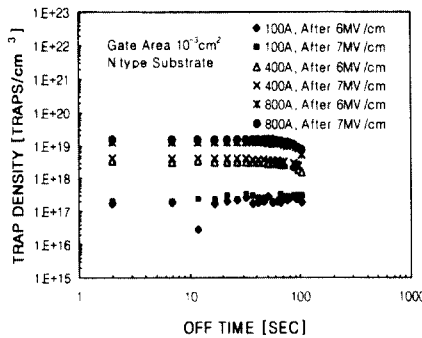
난 후 그리고 800 Å 소자에 스트레스 전계 6MV/cm와 7MV/cm를 인가하고 전류량  $1.2205 \times 10^{-7} \text{C/cm}^2$ 와  $4.8959 \times 10^{-6} \text{C/cm}^2$ 가 흐르고 난 후 측정된 스트레스 인가 후 전류이다.

스트레스 인가 동안 트랩밀도의 관계에서 전계 6MV/cm를 산화막에 인가했을 때, 산화막 두께 100 Å에서 스트레스 인가 후에 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 스트레스 인가 후에서 트랩밀도는 감소함을 보여주고 있다. 반면에 전계 7MV/cm를 산화막에 인가했을 때, 산화막 두께 100 Å에서 스트레스 전류에 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 스트레스 인가 후에 대하여 급격히 감소함을 보여주고 있다. 이와 같이 산화막에 인가한 전계 6MV/cm는 산화막 저전계, 산화막 전계 7MV/cm는 산화막 고전계로 분류된다.

전계 6MV/cm를 산화막에 인가했을 때, 산화막 두께 100 Å에서 스트레스 인가 후 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 스트레스 인가 후 트랩밀도는 스트레스가 감소함에 따라 감소함을 보여주고 있다. 반면에 전계 7MV/cm를 산화막에 인가한 후 스트레스 인가 후 트랩밀도는 산화막 두께 100 Å에서 스트레스 인가 후 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  $7.40 \times$



(1)



(2)

그림 2. 산화막 저전계와 고전계에 대한 스트레스 인가 동안/후 트랩밀도

- (1) 스트레스 인가 동안 트랩밀도
- (2) 스트레스 인가 후 트랩밀도

Fig. 2. On/off time stress vs. trap density for the low level oxide electric field and high level electric field.

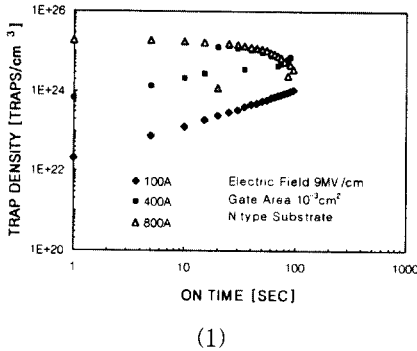
- (1) On time stress trap density
- (2) Off time stress trap density

산화막이 100 Å, 400 Å 그리고 800 Å인 소자에서 스트레스 전압 인가 후 측정된 전류는 산화막 두께 100 Å 소자에 스트레스 전계 6MV/cm와 7MV/cm를 인가하고 전류량  $1.6970 \times 10^{-9} \text{C/cm}^2$ 와  $2.5198 \times 10^{-7} \text{C/cm}^2$ 가 흐르고 난 후, 400 Å 소자에 스트레스 전계 6MV/cm와 7MV/cm를 인가하고 전류량  $4.2976 \times 10^{-8} \text{C/cm}^2$ 와  $4.4153 \times 10^{-6} \text{C/cm}^2$ 가 흐르고

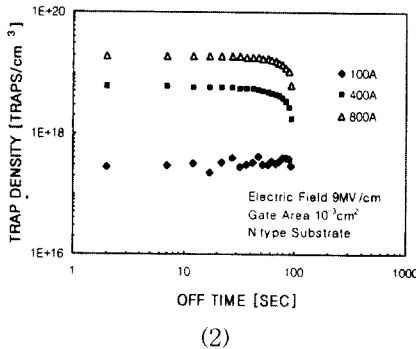
$10^{-14}A \sim 5.46 \times 10^{-13}A$ 에서  $4.19 \times 10^{18}traps/cm^3 \sim 2.40 \times 10^{18}traps/cm^3$ , 산화막 두께 800Å의 트랩밀도는 전류  $2.32 \times 10^{-13}A \sim 8.00 \times 10^{-13}A$ 에서  $1.51 \times 10^{19}traps/cm^3 \sim 7.15 \times 10^{18}traps/cm^3$ 을 나타냈다. 이때 트랩밀도는 산화막 스트레스 인가 후에 감소함을 보여주고 있다.

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

산화막 두께에 따라 산화막 고전계 스트레스를 인가하면서 측정된 트랩밀도 그리고 스트레스 인가 후 측정된 트랩밀도의 관계는 그림 3의 (1), (2)와 같다.



(1)



(2)

그림 3. 산화막 고전계 스트레스 인가 동안/후의 트랩 밀도

- (1) 스트레스 인가 동안 트랩밀도
- (2) 스트레스 인가 후 트랩밀도

Fig. 3. On/off time stress vs. trap density for the high level oxide electric field.

- (1) On time stress trap density
- (2) Off time stress trap density

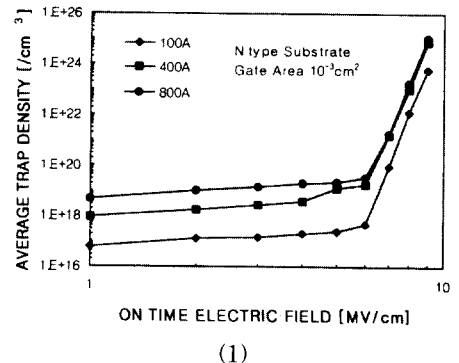
그림 3의 (1), (2)에서와 같이 산화막 두께 100Å, 400Å 그리고 800Å에서 산화막 고전계 9MV/cm를 각각에 인가하면서 측정된 스트레스 인가 동안의 트랩 밀도와 인가 후 측정된 스트레스 인가 후 트랩밀도이다.

산화막 두께 100Å, 400Å 그리고 800Å에서 산화막 고전계 9MV/cm를 각각에 인가하면서 측정된 전류량은 각각  $1.51 \times 10^{-3}C/cm^2$ ,  $1.90 \times 10^{-2}C/cm^2$  그리고  $2.88 \times 10^{-2}C/cm^2$ 이었다.

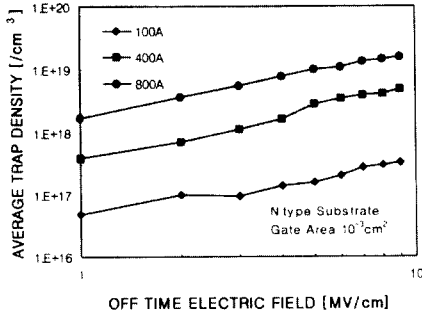
산화막 고전계 9MV/cm를 각각에 인가하여  $1.51 \times 10^{-3}C/cm^2$ ,  $1.90 \times 10^{-2}C/cm^2$  그리고  $2.88 \times 10^{-2}C/cm^2$ 가 흐른 전류량 후의 전류는 시간에 따라 1/t로 감소함을 알 수 있다.

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

산화막 두께에 따라 스트레스 인가 동안과 스트레스 인가 후에 따른 평균 트랩밀도의 관계를 그림 4의 (1), (2)에 나타내었다.



(1)



(2)

그림 4. 산화막 두께에 따른 스트레스 인가 동안/후의 평균 트랩밀도

- (1) 스트레스 인가 동안의 평균 트랩밀도
- (2) 스트레스 인가 후의 평균 트랩밀도

Fig. 4. The average trap density of on/off time stress according to different oxide thickness.

- (1) The average trap density of on time stress
- (2) The average trap density of off time stress

산화막 두께 100 Å의 스트레스 인가 동안에 대한 평균 트랩밀도는 1MV/cm~6MV/cm에서  $6.05 \times 10^{16}$  traps/cm<sup>3</sup>~ $4.70 \times 10^{17}$ traps/cm<sup>3</sup>, 7MV/cm~9MV/cm에서  $9.20 \times 10^{19}$ traps/cm<sup>3</sup>~ $5.53 \times 10^{23}$ traps/cm<sup>3</sup>, 산화막 두께 400 Å의 스트레스 인가 동안의 평균 트랩 밀도는 1MV/cm~6MV/cm에서  $8.58 \times 10^{17}$  traps/cm<sup>3</sup>~ $1.67 \times 10^{19}$ traps/cm<sup>3</sup>, 7MV/cm~9MV/cm에서  $1.54 \times 10^{21}$ traps/cm<sup>3</sup>~ $6.98 \times 10^{24}$ traps/cm<sup>3</sup>, 산화막 두께 800 Å의 스트레스 인가 동안의 평균 트랩밀도는 1MV/cm~6MV/cm에서  $4.81 \times 10^{18}$ traps/cm<sup>3</sup>~ $3.20 \times 10^{19}$ traps/cm<sup>3</sup>, 7MV/cm~9MV/cm에서  $1.72 \times 10^{21}$ traps/cm<sup>3</sup>~ $1.02 \times 10^{25}$ traps/cm<sup>3</sup>를 나타내었다. 산화막 두께 100 Å의 스트레스 인가 후의 평균 트랩밀도는 1MV/cm~9MV/cm에서  $4.77 \times 10^{16}$ traps/cm<sup>3</sup>~ $3.30 \times 10^{17}$ traps/cm<sup>3</sup>, 산화막 두께 400 Å의 평균 트랩밀도는 1MV/cm~9MV/cm에서  $3.90 \times 10^{17}$ traps/cm<sup>3</sup>~ $4.86 \times 10^{18}$ traps/cm<sup>3</sup>, 산화막 두께 800 Å의 평균 트랩밀도는 1MV/cm~9MV/cm에서  $1.71 \times 10^{18}$ traps/cm<sup>3</sup>~ $1.63 \times 10^{19}$ traps/cm<sup>3</sup>를 나타내었다. 이와 같이 스트레스 인가 동안의 평균 트랩밀도는 저전계에서 변화량이 적다가 고전계에서 변화량이 인가 전계에 따라 크게 증가됨을 알 수 있다. 그리고 스트레스 인가

후 전계에서의 평균 트랩밀도는 서서히 증가하다 일정한 상태로 유지됨을 알 수 있다.

스트레스 전압을 인가하여 산화막에 흐르는 전류성분의 시간에 따른 전류량은 인가전계의 트랩밀도에 비례함을 알았다. 스트레스 전압을 인가하고 난 후 전류성분의 시간에 따른 전류량은 트랩밀도에 비례함을 알았다. 스트레스 인가 후 전류에 의한 트랩밀도는 100 Å, 400 Å, 800 Å 산화막에서 선형적인 관계를 나타내고 있다. 이러한 트랩밀도는 비휘발성 기억소자에 응용될 수 있는 전류의 한계  $10^{-24}$ A, 프로그래밍하기 위한 전류량은  $10^{-6}$ C/cm<sup>2</sup>로 보면 본 실험의 측정 상의 한계를  $10^{-15}$ 까지 측정을 실행하여 산화막의 성질을 예측할 수 있었다.

#### IV. 결론

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

1. 스트레스 인가 동안의 전류는 일정하였고 스트레스 인가 후의 전류는 일정하게 감소됨을 알았다.
2. 스트레스 인가 동안의 트랩밀도는 감소하였고 스트레스 인가 후의 트랩밀도는 증가됨을 알았다.
3. 실리콘 산화막의 두께와 스트레스 바이어스 전압이 증가할수록 트랩밀도가 증가함을 알았다.

이상과 같이 비휘발성 소자의 응용을 위한 산화막 두께 변화에 의한 트랩밀도 특성을 측정하여 산화막의 한계 및 비휘발성/휘발성 소자의 응용 가능성을 예측하였다.

#### 참고 문헌

- [1] R. S. Scott, et al., "A model relating wearout to breakdown in thin oxides," IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 41, No. 9, pp. 1570-1580, 1994
- [2] D. J. Dumin, et al., "High field related thin oxide wearout and breakdown," IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 42, No. 4, pp. 1-13, 1995
- [3] T. W. Hughes, et al., "characterizing

wearout, breakdown, and trap generation in thin silicon oxide," J. Vac. Technol. B, Vol. 13, No. 4, pp. 1780-1787, 1995

[4] D. J. Dumin, et al., "The charging and discharging of high voltage stress generated traps in thin silicon oxide," IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 43, No.1, pp. 130-136, 1996

[5] C. S. Kang, et al., "The search for cathode and anode traps in high voltage stressed silicon oxides," J. Electrochem. Soc., Vol. 145, No. 4, pp. 1292-1296, 1998

저 자 소 개



金 東 鎮(正會員)  
 1948년 5월 4일생.  
 1974년 2월 광운대학교 공학사.  
 1979년 7월 연세대학교 공학석사.  
 1996년 1월~1996년 12월 Clemson University 객원교수. 1982년 3월~현재 유한대학 전자과 교수



姜 昌 秀(正會員)  
 1956년 10월 6일생.  
 1982년 2월 광운대학교 공학사.  
 1986년 2월 한양대학교 공학석사.  
 1992년 2월 광운대학교 대학원 전자재료공학과 공학박사. 1995년 12월~1996년 12월 Clemson University Post-Doc. 1991년 3월~현재 유한대학 전자과 부교수