

## 초박막 ONO 구조의 TDDB 특성에 관한 연구 (A Study on the TDDB Characteristics of Superthin ONO structure)

국삼경\*, 윤성필, 이상은, 김선주, 서광열.  
(광운대학교, 전자재료공학과)

### ABSTRACT

Capacitor-type MONOS(metal-oxide-nitride-oxide-semiconductor) NVSMs with 23Å tunneling oxide and 40Å blocking oxide were fabricated. The thicknesses of nitride layer were 45Å, 91Å and 223Å. Breakdown characteristics of MONOS devices were measured to investigate the reliability of superthin ONO structure using ramp voltage and constant voltage method. Reducing the nitride thickness will significantly increase the reliability of MONOS NVSM.

### 1. 서론

산화막-질화막-산화막의 3중 유전막을 갖는 MONOS 구조는 질화막 위의 블로킹 산화막으로 인해 MNOS구조가 갖는 scale-down 한계를 극복할 수 있어 저전압, 고집적의 NVSM(nonvolatile semiconductor memory)을 실현시킬 수 있다. Scaled MONOS NVSM에서 블로킹 산화막을 형성할 때 질화막의 일부는 산화막으로 변환되고 산소가 질화막 내부로 확산된다. 동시에 블로킹 산화막은 계면 가까이에 많은 양의 질소를 함유하게 된다.<sup>[1]</sup> 질화막의 초박막화에 따른 유전막의 조성변화와 이로 인한 질화막의 트랩특성 변화 그리고 블로킹 산화막의 질소 함유로 인한 장벽높이 변화는 소자의 기억 기능과<sup>[2][3]</sup> 동작 특성 및 신뢰성에 영향을 미친다. 따라서 이에 대한 연구는 소자의 동작 특성 이해, 신뢰성 보장 및 성능 개선을 위해 상당히 중요하다고 사료된다. 본 연구는 터널링 산화막 23Å, 블로킹 산화막 40Å으로 동일하고 질화막이 223Å, 91Å, 45Å으로 각각 다른 MONOS 기억소자를 제작한 후 경사전압(Ramp voltage)방법과 등전압(constant voltage)

방법으로 절연파괴(breakdown)특성을 측정하여 초박막 ONO 구조의 신뢰성을 조사하였다.

### 2. 실험

#### 2-1. 소자제작

커패시터형 MONOS 기억소자를 제작하기 위해 사용한 웨이퍼는 비저항이 2-4Ω·cm인 p형(100) 실리콘 반도체이다. 웨이퍼는 산화막성장전에 웨이퍼 표면의 자생 산화막(native oxide) 제거 및 오염을 방지하기 위한 세척을 실시한 후 수평산화로에서 800℃ 상압 분위기를 유지하며 질소로 희석시킨 산소를 사용해서 터널링 산화막을 성장시켰다. 성장된 산화막의 두께는 자동엘립소미터를 사용하여 측정하였으며 그 두께는 23Å이다. 질화막은 785℃에서 SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>와 NH<sub>3</sub>의 혼합가스를 반응시켜 LPCVD 방법으로 터널링 산화막 위에 퇴적시켰다. SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> 및 NH<sub>3</sub> 가스의 유량은 각각 30sccm, 100sccm이었으며, 퇴적 시간을 다르게 함으로써 질화막 두께를 변화시켰다. 블로킹 산화막은 900℃의 상압에서 H<sub>2</sub> : O<sub>2</sub> = 6.75l/min. : 4.50l/min.인 혼합가스를 사

용해서 질화막을 열 산화시켜 성장하였으며 두께는 40Å이다. 형성된 ONO 게이트 유전막의 두께와 조성을 조사하기 위하여 엘립소미터와 AES 및 C-V 측정법을 이용하였다. 이렇게 퇴적시킨 최종 질화막의 두께는 각각 45Å, 91Å, 223Å이었다. 게이트 전극을 위하여 블로킹 산화막 위에 Al-1%Si을 3mTorr에서 스퍼터링 방법(Varian 3180)을 이용하여 6500Å 두께로 퇴적시켰다. 이때 게이트 전극의 sheet resistance는  $46 \mu\Omega/\square$ 이었다. 금속공정 후 사진식각(photolithography) 공정을 통해 원형의 게이트 전극을 형성하였다. 공정이 완료된 웨이퍼는 음 접촉을 위해 400 $\mu\text{m}$  두께로 backside grinding을 한 후 스퍼터링 방법으로 각각 V 500Å, Ni 8000Å, Au 2000Å의 두께로 3중구조의 금속층을 형성하였다. 패키지는 열전달 특성 및 온도 변화에 대한 내구성이 뛰어나며 접촉 저항이 대단히 작은 도금된 세라믹 DIP(dual in-line package)를 사용하였다. 제작된 비휘발성 MONOS 기억소자의 단면도 및 각 막의 두께는 그림 1 및 표 1과 같다.

## 2-2. 측정장치 및 방법

터널링산화막 23Å, 블로킹산화막 40Å은 같은 두께로 질화막 두께가 223Å, 91Å, 45Å으로 각각 다른 MONOS 기억소자에 경사전압과 등전압을 인가하여 게이트에 흐르는 전류의 값을 측정하여 절연 파괴특성을 조사하였다. 경사전압 방법은 반도체 파라미터 분석기(HP 4155A, semiconductor parameter analyzer) 자체에서 발생하는 경사전압을 게이트에 인가하고, 이때 게이트를 통해 흘러나오는 전류를 측정하여 절연파괴특성을 조사하였다. 등전압(constant voltage)의 전압은 프로그래머블 전원공급장치(programmable voltage source :

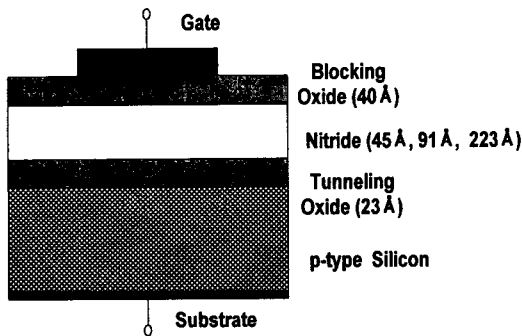


Fig. 1. Cross section of MONOS memory devices.

Table 1. Nonvolatile MONOS memory devices fabricated for the experiment and thicknesses of dielectric layers.

PARAMETER	소자 1	소자 2	소자 3
$X_{ot}$ (Å)	23	23	23
$X_{ni}$ (Å)	69	115	252
$X_{nt}$ (Å)	45	91	223
$X_{ob}$ (Å)	40	40	40
$X_{on}$ (Å)	24	24	24
$\alpha$ ( $X_{ob}/X_{on}$ )	1.667	1.667	1.667
$\gamma$ ( $X_{on}/X_{ni}$ )	0.348	0.209	0.095

Keithly, 5502)로부터 게이트에 인가하였으며, 일렉트로미터(electrometer : Keithley 616)를 사용해서 소자에 흐르는 전류를 측정하여 절연파괴를 관찰하였다. 또한 X-Y 기록기(Rikadenki, model NP-0362)의 X축은 경과시간축으로 Y축은 일렉트로미터로부터 측정한 전류의 값을 기록하여 경과시간에 대한 절연파괴특성을 측정하였다. 측정한 I-t 곡선으로부터 절연파괴시간을 결정하고, 이 값을 누적분포로 나타냈으며 신뢰도 조사를 위해 Weibull 분포와 최적 일치시켜 상수  $\alpha$ 와  $\beta$ 를 결정하였다. 또한 누적분포의 50%되는 지점으로부터 50% 고장시간(Time To 50% Failure)을 구하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1. 경사전압 방법을 이용한 절연파괴특성

경사전압 방법을 이용하여 터널링산화막 23Å, 블로킹산화막 40Å이며 질화막이 각각 45Å, 91Å, 223Å인 MONOS 기억소자의 절연파괴특성을 조사를 조사한 결과는 그림2와 같다. 그림에서 보는바와 같이 전압이 증가함에 따라 전류의 값이 급격히 증가하는 지점은 절연파괴가 발생한 것이며, 이 지점으로부터 절연파괴가 발생한 전기장의 세기를 결정하였다. 이 때 전기장을 계산할 때 사용한 ONO 유전막의 두께는 산화막으로 환산한 유효두께를 사용하였다. 이 값을 누적분포로 나타내면 그림 3과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 질화막이 223Å으로 두꺼운 경우 10MV/cm의 영역에서 절연파괴가

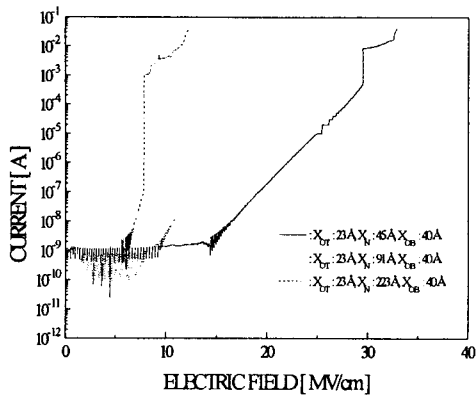


Fig. 2. I-E curves for different nitride thicknesses by ramp voltage method.

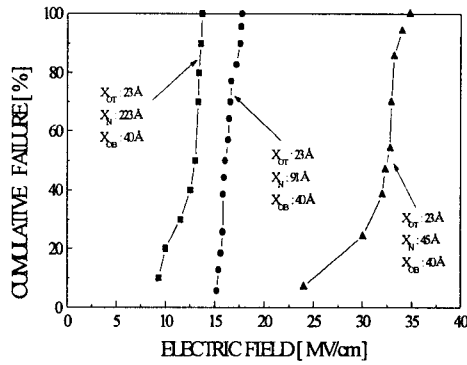
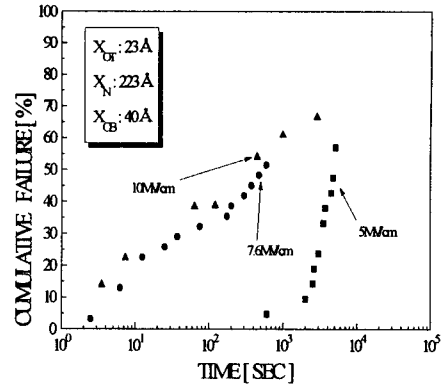


Fig. 3. Cumulative failure of breakdown characteristics for different nitride thicknesses by ramp voltage method.

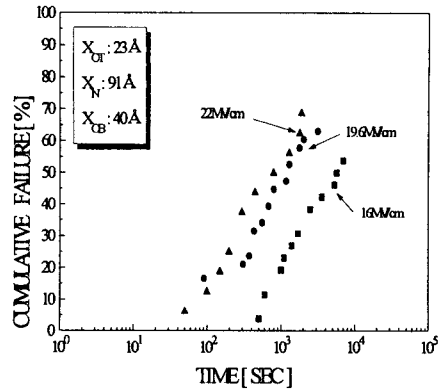
발생하였고, 질화막이 91Å인 경우 16MV/cm의 영역에서 발생하였다. 반면 초박막 ONO 구조인 경우 30MV/cm의 영역에서 절연파괴가 발생하였다. 그럼으로부터 알 수 있듯이 ONO 구조가 초박막화됨에도 불구하고 우수한 절연파괴특성을 나타내었다.

### 3-2. 등전압 방법을 이용한 절연파괴특성

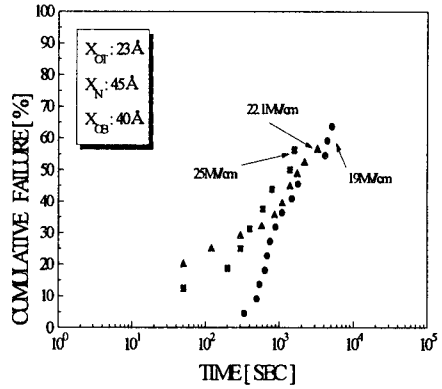
질화막이 45Å, 91Å, 223Å으로 각각 다른 MONOS 기억소자의 게이트에 등전압을 인가하고 게이트로부터 흘러나오는 전류를 경과시간에 따라 측정하여, TDDB(time dependent dielectric breakdown) 특성을 조사하였다. 측정된 I-t 곡선으로부터 절연파괴시간을 결정하고 이를 누적분포로 나타내면 그 결과는 그림 4의 (a), (b), (c)와 같다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 4. Cumulative failure of Breakdown for different nitride thicknesses by constant voltage method

그림에서 알 수 있듯이 게이트에 인가된 전기장의 세기가 클 수록 절연파괴가 빨리 발생하였고, 질화막이 초박막화됨에도 불구하고 더 두꺼운 소자에

비해 높은 전기장 조건에서도 우수한 절연파괴특성을 보였다.

TDDB 결과로부터 얻은 누적분포를 Weibull 분포로 나타내면 그림 5의 (a), (b), (c)와 같다. 그림에서 ▲, ●, ■는 측정으로부터 얻은 실험값이고, 실선은 실험값에 최적일치 시킨 Weibull 분포를 계산한 이론곡선이다.

실험결과와 이론 식을 최적일치하여 구한 파라미터  $\alpha$ ,  $\beta$ 의 값은 표 2에 정리하였다. 표에서 보는 바와 같이 질화막이 223Å으로 두꺼운 경우 전기장의 세기가 7.6MV/cm 이상 일 때  $\beta$ 가 1보다 작은 값을 갖는다. 질화막이 얇은 91Å과 45Å의 경우 높은 전기장의 조건에서도  $\beta$ 가 1보다 큰 값을 갖는다. 이는 절연파괴가 말기의 wearout 단계를 의미하는 것으로 신뢰성이 우수함을 알 수 있었다.<sup>[4]</sup> 특히 45Å으로 질화막이 초박막화된 경우 25MV/cm의 높은 전기장에서 견디는 우수한 절연파괴특성을 보였다.

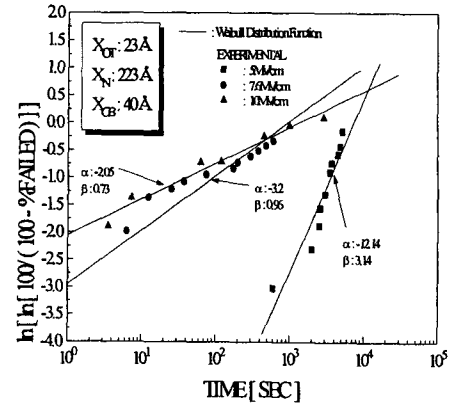
Table 2. Weibull constants  $\alpha$ ,  $\beta$  for MONOS memory devices with different nitride thicknesses.

PARAMETER	ELECTRIC FIELD (MV/cm)	$\alpha$	$\beta$
$X_N=45\text{Å}$	19	-7.73	2.15
	22.1	-2.80	1.1
	25	-4.26	1.25
$X_N=91\text{Å}$	16	-7.86	2.04
	19.6	-4.5	1.2
$X_N=223\text{Å}$	22	-5.26	1.68
	5	-12.14	3.14
	7.6	-3.2	0.96
	10	-2.05	0.73

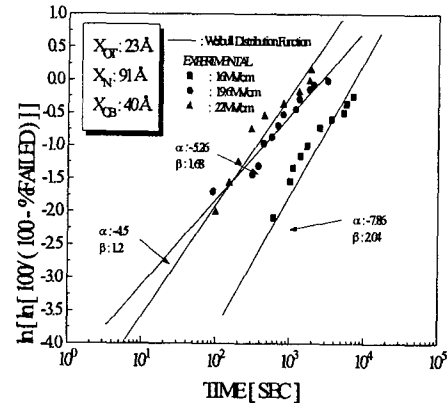
MONOS 기억소자의 Weibull 분포곡선에서 누적분포가 50%되는 지점의 시간값을 구하여 50% 고장시간(time to 50% failure)을 결정하고 이를 주어진 전기장세기에 대한 시간으로 나타내면 그림 6과 같다. 그림으로부터 알 수 있는 바와같이 질화막이 두꺼운 경우 낮은 전기장 세기에서도 절연파괴가 발생하였다. 반면 질화막이 45Å인 경우 높은 전기장에서 우수한 특성을 갖는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

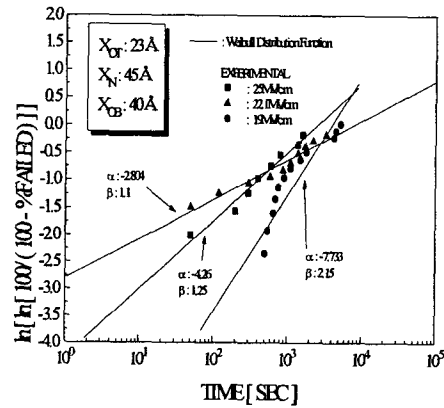
본 연구는 터널링 산화막과 블로킹 산화막을 각



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. Cumulative failure versus the breakdown time in a Weibull diagram for devices with different nitride thicknesses

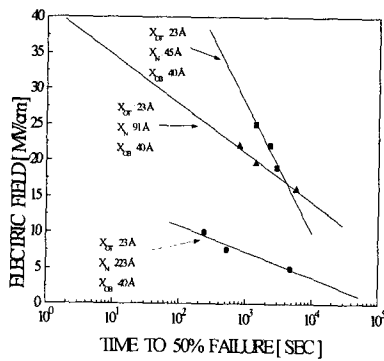


Fig. 6. Electric field versus time to 50% failure for MONOS devices with different nitride thicknesses

각 23Å, 40Å으로 같은 두께로 하고, 질화막 두께를 223Å, 91Å, 45Å으로한 각기 다른 MONOS 기억소자를 제작한 다음, 경사전압 방법과 등전압 방법을 이용하여 초박막화 ONO 구조의 절연파괴특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 초박막 ONO 구조인 경우 질화막 scale-down에도 불구하고 우수한 절연파괴특성을 보였다.

2)  $X_{OT}=23\text{Å}$ ,  $X_N=45\text{Å}$ ,  $X_{OB}=40\text{Å}$ 의 초박막 ONO 구조인 경우, Weibull 분포의 실험값과 이론곡선을 최적일치한 결과, 25MV/cm의 경우,  $\alpha = -4.26$ ,  $\beta = 1.26$  22.1MV/cm, 19MV/cm의 경우 각각  $\alpha = -2.804$ ,  $\beta = 1.1$ ,  $\alpha = -7.733$ ,  $\beta = 2.15$ 로써 말기의 wearout 특성으로 높은 신뢰성을 지녔다.

3) 50% 고장시간(Time To 50% Failure)으로부터 초박막 ONO 구조인 경우 높은 전기장에서도 우수한 절연파괴 특성을 보였다. 이것은 ONO 구조를 초박막화함에 따라 블로킹산화막 형성시 질화막 내로 확산된 산소에 의해 질화막의 트랩특성이 변화하였기 때문이라 해석된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] H. P. SU, H. W. Lin G. Hong, and H. C. Cheng, IEEE Electron Dev. Lett., Vol. 15, No. 11, p.440-442, 1996
- [2] 이상배, 이상은, 서광열, 전기전자재료학회지, Vol. 8, No. 6, p.727-736, 1996
- [3] 이상배, 김선주, 이성배, 서광열, 한국물리학회, Vol. 9, No. 6, p.773-781, 1996
- [4] S. M. SZE, "VLSI Technology", McGraw-Hill Book Company, New York, p.628-632, 1988