

# Self-healing 방법을 이용한 박막의 절연파괴 현상 연구

## A study on the Electric Breakdown Mechanisms using Self-healing Method of Thin Film

윤중락\*, 권정열\*, 서강원\*, 박인환\*\*, 이현용\*

\* 명지대학교 공과대학 전기공학과, \*\* 현대전자(주)

J.R Yun\*, C.R Kwon\*, K.W.Se\*, I.H. Park\*\*, H.Y Lee\*

\* Depart. of Electric Eng., Myong Ji Univ.

\* HYUNDAI Electronics Co., Ltd.

### Abstract

The dielectric reliability of the Thin SiO<sub>2</sub> films of wet oxidation on n-type Si substrates has been studied by using self-healing method of breakdown and according to injection time high frequency C-V tests. These experiments have been performed to investigate the dielectric breakdown mechanism of a thin film in which positive charge generation during high-field Fowler-Nordheim tunneling are considered. In addition, The weak spots and robust areas are distinguished so that the localized dielectric breakdown could be described.

### I. 서론

절연은 소자의 동작 기능에 관한 원리에 직접적으로 관여되는 것은 아니지만 오늘날 박막성장기술에 발달에 따라 실리콘 산화막을 위시한 각종 절연막의 박막화로 인해 수반되는 고전계로 인하여 소자의 파괴 및 오동작 현상이 발생된다. 본 논문은 최종 절연파괴에 이르기 전, 실험 횟수의 증가에 따라 weak spot이 제거되는 현상이 나타나는 self-healing 절연파괴 실험을 습식산화 후, 급속 열처리한 산화막과 비처리 산화막에 대하여 행하였다. 절연파괴 메커니즘으로 건전영역과 weak spot영역으로 분리하여 전성절연파괴 면이 아닌 defect에 영향을 받음을 보여준

다. self-healing 절연파괴실험을 통하여 실험 횟수의 증가에 따른 절연파괴 전계의 증가되는 경향 및 전극 표면에서 산화막의 weak spot이 self-healing되는 형태를 SEM(Scanning electron microscopy)을 통하여 보여준다.

### II. 소자 제작 및 측정

시료의 제작을 위해 저항률이 10-25[Ω-cm]인 5inch N-type <100>방향의 단결정 실리콘 웨이퍼를 기판으로하여 습식산화법을 통하여 30-1000Å 두께의 산화막을 형성하였다. 전극의 두께는 1000Å이다. 산화막 성장 후, N<sub>2</sub> 분위기에서 1050°C로 15초간 RTA(Rapid Thermal Annealing)처리를 하였다. 소자를 통해 10μA의 전류가 흐를때를 breakdown으로 규정하였고, 반전층의 응답 시간으로 인한 문제를 제거하기 위하여 측정상태에서 행하였으며 HP4145를 이용하여 그림 1-1과 같이 구성하였다.

절연파괴전압을 통하여 산화막의 결함밀도 ρ를 구하였다.

$$\rho = -\ln P/S \quad \text{-----} \quad (1)$$

여기서, S는 전극의 면적(1 x 10<sup>-4</sup>cm<sup>2</sup>), P는 진성파괴 강도(8MV/cm이상)를 넘는 확률이다.

플랫 밴드 전압의 변화는 HP4149A Impedance gain Phase analysis을 이용하여 주파수 1MHz, 전류밀도 10<sup>-4</sup>[A/cm<sup>2</sup>] 인가후 avalanche injection time에따른 고주파 C-V을 HP4282 LCR meter을 이용하여 측정하였다.

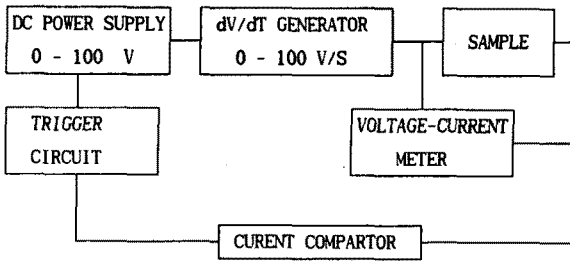


그림 1-1 Self-healing 절연 파괴 측정 장치 구성도

### III. 실험 결과 및 고찰

#### 1. 절연파괴전압의 분포 및 유효 결합 밀도

그림 1-2에 RTP처리막과 비처리막 대한 절연파괴 분포도로서 처리막의 절연파괴전압분포는 비처리막에 비하여 고전계쪽으로 이동되었음을 알 수 있으며 약 11-12MV/cm에서 파괴 전압에 집중적으로 분포되어 있다. 이는 산화막 국부적인 결정성 영역 또는 여러가지 결함의 존재 때문에 weak spot이 형성되어 절연파괴의 원인이 되는데 급속 열처리에 의하여 weak spot을 제거하기 때문인 것으로 사료된다. 그림 1-3은 실리콘 산화막 두께에 따른 유효결합 밀도를 식 (1)로부터 구한 후에 의존성을 도시한 것으로 산화막 두께에 따라 결합의 수가 증가함을 보여준다.

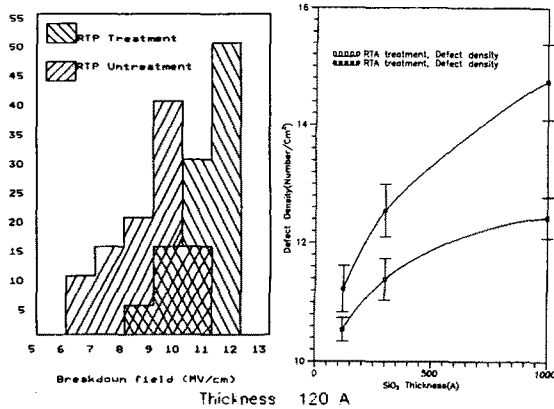


그림 1-2 실리콘 산화막의 절연파괴전압 분포도

그림 1-3 산화막 두께에 따른 유효결합 밀도

#### 2. 산화막의 절연파괴 모델

박막의 절연파괴 메커니즘으로 weak spot과 건전 영역에서 전자 정공의 효과를 모두 고려하여 산화막에 고전계가 인가되면, Fowler-Nordheim tunneling으로 음극으로부터 실리콘 산화막 내로 전자가 주입되어 주입된 전자 중 일부가 충돌 전리를 일으킬 만큼 충분한 에너지를 얻으면 산화막 내에서 전자 정공 쌍이 발생하게 되고 이때, weak spot내에 양전하가 대부분 존재하고 전자 충돌전리에 의해 생성된 양이온을 포획한다. weak spot 영역에서 국부전계가 증가

하게 되고, 그 중 일부가 막 내의 트랩 중심에 트랩되면서 전계 분포에 변화를 일으킨다. 이러한 과정이 반복됨에 따라 결국 국소적으로 절연파괴의 임계전계에 도달하게 되어 절연파괴가 일어나게 된다.

#### 3. Self-healing 절연파괴 특성

Self-healing 절연파괴 실험으로부터 동일한 시료에 대하여 다수의 실험을 행할 수 있고, 또한 weak spot이 제거되므로 산화막의 고유 특성에 관련된 절연파괴특성을 추구할 수 있으며, 동일 시료에 대해 시험 조건을 변화하여 시험을 행할 수 있다. 그림 1-4 (a)와 (b)에 self-healing 처리를 25회 실행한 후의 절연파괴 전계를 나타내었다. RTP 처리막의 경우, 막 구조가 치밀하고 uniform하며 또한 Si-O 결합이 치밀하고 결합력이 큰결합이 많이 존재한다. 결국 localized heating이 적어져서 RTA처리막은 self-healing에 따른 절연파괴 전계의 증가가 비처리막에 비하여 적게 나타난다. self-healing 실험 시, 절연파괴전계 증가는 음극에서 방출한 Fowler-Nordheim tunneling injection에 의한 박막의 filamentary joule heating을 가속시켜 활성화된 mobile ion의 주입을 증가시키므로 인하여 절연파괴 특성이 개선되어진다. 산화막의 두께에 대하여 self-healing 현상을 비교하여 보면, 산화막의 두께가 증가할 수록 절연파괴전계가 더 많이 증가함을 알 수 있다. 이는 산화막내에 유효결합밀도와도 일치함을 보여준다.

그림 1-5에 나타난 바와 같이 final breakdown까지의 전압 증가과정을 보면 RTA 처리막은 전압의 증가가 거의 일정하게 나타나지만 비처리막의 경우는 다른 양상을 보인다. 이는 실리콘 산화막내 defect에 의한 weak spot로 인하여 low energy barrier point가 많아져서 나타나게 된다. 이 경우 weak spot중 가장 약한 부분에 전하들의 집중되는 현상으로써 절연파괴가 일어나게 된다.

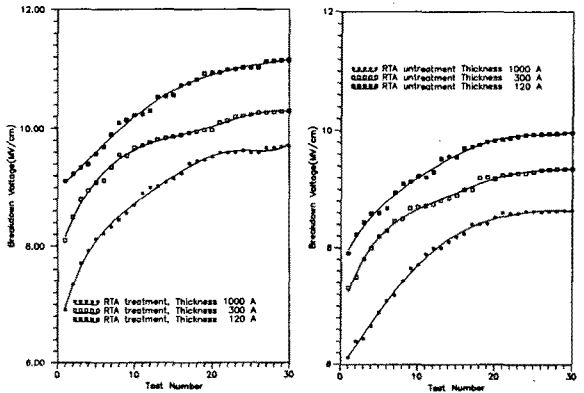


그림 1-4 전계강도 E와 실험수 N과의 관계

(a) RTP처리막 (b) RTP 비처리막

self-healing 실험을 행한 후 SEM에 의해 관찰한 것으로 그림 1-6 (a)와 (b)이다. 그림 (a)는 self-healing 절연파

과 형태이고 (b)는 최종 절연파괴 형태를 보여준다.

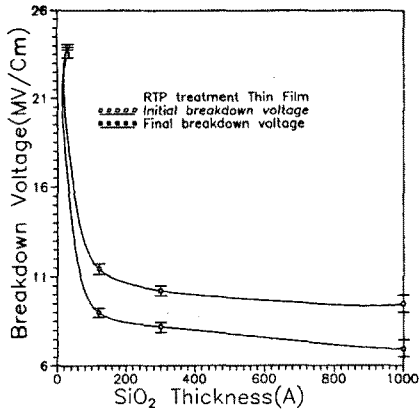


그림 1-5 산화막 두께에 따른 initial & Final breakdown

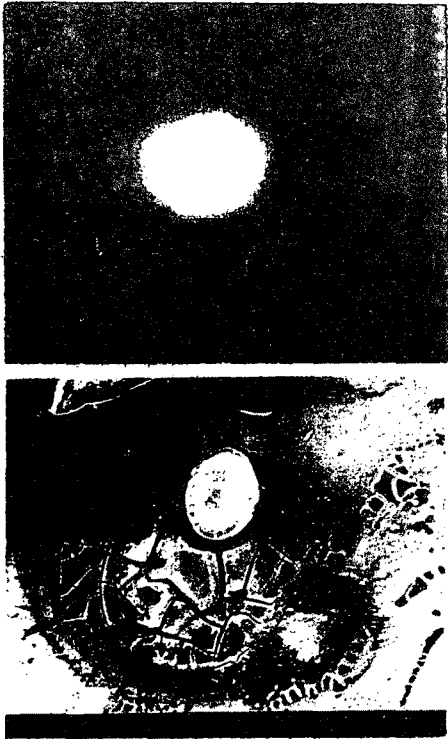


그림 1-6 산화막 절연파괴 형태

(a) self-healing 절연파괴 (b) 최종 절연파괴

#### 4. 플랫밴드 변화에 따른 절연파괴 양상

그림 1-7은 stress후의 시간에 따른  $\Delta V_{FB}$ 을 측정한 그림으로서  $\Delta V_{FB}$ 은 시간의 증가와 산화막 두께가 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타나고, 산화막의 두께의 증가에 따라 trap이 증가함을 보여준다. 즉 산화막이 두꺼워짐에 따라 trap 유효단면적이 증가하여 trap효율이 증가하므로  $\Delta V_{FB}$ 도 커진다고 생각한다. 산화막의 절연파괴 기구에서 산화막내에 존재하는 trap 및 Si-SiO<sub>2</sub>계면에 존재하는 trap이

모두 산화막내에 전자 trapping에 관여함으로써 산화막 bulk내 존재하는 defect나 Si-SiO<sub>2</sub> 계면에 위치하는 defect가 trap center로서 작용하여 산화막의 두께가 증가할 수록 최대 절연파괴 전계가 적어지는 것과의 연관성을 보여준다.

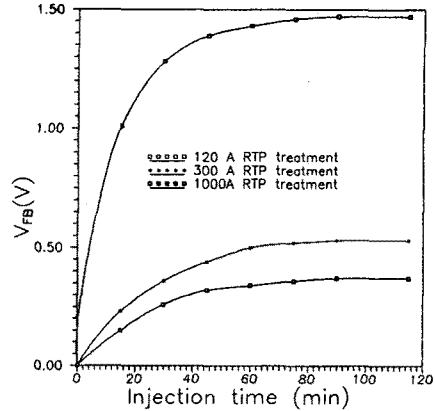


그림 1 - 7 두께에 따른  $\Delta V_{FB}$ 의 변화

## IV. 결 론

RTP처리막의 경우 self-healing 실험 횟수 증가에 따른 전압 증가의 변화가 적었으며, 두께에 따른 변화를 보면 막의 두께가 증가할수록 유효 trapping이 증가하나 두께의 증가로 인한 유효결함밀도에 따라 절연파괴전압이 감소함을 볼 수 있다. self-healing method에 의한 절연파괴 전압의 분포도와 유효결함밀도의 연관성으로부터 weak spot을 절연파괴 메커니즘에 포함시키는 것이 타당함을 볼 수 있다.

## REFERENCES

1. P. Wang and N. Van Buren, "SEM Observation of Self-Healing Breakdown in Thermally Grown SiO<sub>2</sub> Films", J. Electrochem. Soc., Vol. 117, No. 1, pp127-128 (1970)
2. CHIOU-FENG CHEN, CHING-YUAN WU, MING-KWANG LEE and CHUEN-NAM CHEN, "The Dielectric Reliability of Intrinsic Thin SiO<sub>2</sub> Films Thermally Grown on a Heavily Doped Si Substrate Characterization and Modeling", VOL. ED-34, No. 7, pp1540-1551 (1987)
3. Kazuya Masu and Nobuo Mikoshiba, "Single Crystallization of Aluminum on SiO<sub>2</sub> by Thermal Annealing and Observation with Scanning  $\mu$ -RHEED Microscope", J. J. of Applied Physics, Vol. 30, No. 1A, pp L56-L59 (1991)