논문 88-1-26

PECVD SiN 막의 절연파괴 전계분포의 통계적 고찰

Statistical Analysis of Beakdown Field Distribution of PECVD SiN Filme

성 영 권 , 고 려 대 학 교
한 주 민 , 오 재 하* 전 기 공 학 과

Yung-Kwon Sung , Dept. Electrical Eng.,
Joo-Min Han , Jae-Ha Oh* Korea Universeity

Abstract

In this paper, we evaluate the breakdown and TDDB charateristics of ammonia free PECVD SiN films which studied widely as a gate insulator to substitute the silicon dioxide because of it's superior film characteristics with the merit of low temperature process.
And also , we propose a new statistical model by introduce a dispersion factor in the traditional Weibull statistics.
From the comparision of experimental results and simulation one , we try to dock the breakdown mechanism and statistical analysis.

1. 서 론

오늘날 반도체 기술이 VLSI 단계에서 ULSI 단계로 이행되어 나감에 따라 MOS 구조를 이용한 각종소자의 게이트 절연막의 박막화는 초고집적화를 이루기 위한 필수불가결한 요소가 되고 있으며 이에 따라 게이트 절연막의 신뢰성 평가 및 향상에 대한 관심이 급증하고 있으며 특히 박막화로 인한 고전계 stress에 의한 절연파괴 및 TDDB (Time Dependent Dielectric Breakdown) 특성은 그 주요 연구 대상이 되어 왔다. 그러나 이러한 절연파괴 및 TDDB 특성에 대한 통계적 연구가 부족할 뿐만 아니라 실험방법 및 결과의 상이성으로 인해 그 해석법에 대한 문제점 및 이의 수정에 대한 요구가 높아가고 있다.

절연특성에 대한 통계적 해석에 있어서는 많은 연구자들이 주로 과전압화기구에 Weak rink model 을 대응시켜 정식화한 V-t특성의 Weibull 통계를 적용하고 있으나 Weibull 분포식에 적용되는 직선영역에 한하여 각종 parameter 를 추출하고 있어 data 전체적인 dispersion 통계적으로 해석하지 못하며 이를 파괴 기구의

해석에 적용 하기에는 어려운 실정이다.

따라서 본 논문에서는 최근 공정의 저온화 및 막 특성의 우수성으로 인하여 산화막의 대체 절연막으로서 많은 연구가 진행되고 있는 ammonia free PECVD SiN막의 절연파괴 및 TDDB 측정결과와 기존의 Weibull 통계에 dispersion 을 고려한 수정된 통계 model의 simulation 결과와의 비교분석을 통하여 파괴 기구와 통계 해석의 docking 을 시도 하였고 절연파괴 특성에 관한 수정된 Weibull 해석법의 최적화를 검토하였다.

2. 시료의 제작 및 측정

비저항이 5-25Ωcm,(100) 결정방향의 P형 실리콘 웨이퍼를 기판으로 하여 RCA법으로 세척한후 용량결합형 PECVD 장치에 의해 기판온도 300 °C, SiH_4 /N_2 가스 유량비 1/30, RF 전력 200 W, chamber 압력 0.2 torr 로 두께 850 Å의 SiN막을 실리콘 기판위에 퇴적시켰다. 형성된 SiN막의 두께는 nanoscope 와 capacitance 측정으로 부터 결정 하였다.

전극은 진공증착 장치로 직경 1 mm의 Al전극을 2 X 10^{-5} torr의 진공하에서 증착하여 MNS구조의 diode를 시료로 삼았다.

절연파괴 측정은 ramp rate 4 V/sec 인 ramp 전압을 인가하고 breakdown 순간의 전압을 peak detector로 holding 하여 측정하며 이를 각각 측정온도를 달리하여 실측하였다.

TDDB측정은 본 실험에서는 정전압 stress (4,5,6 MV/cm)를 각각 측정온도를 달리하여 절연파괴가 일어날때까지의 시간을 측정하였다.

3. 실험결과 및 검토

그림-1에는 ramp 전압법을 이용하여 22°C 및 85 °C에서 측정한 SiN막의 절연파괴 histogram을 나타내었다.

그림에서 보듯 SiN막의 절연파괴 분포는 온도의 증가에 따라 감소하고 있음을 알수있고 이는 온도의 증가에 따른 누설전류량의 증가와 막내 약한결합의 열여기에 의한 결합파괴의 가속됨으로 설명할수 있으며 그림-1의 절연파괴 분포를 Weibull 분포로 고쳐 그림-2에 나타내었다. 그림-2에서 알수 있듯 누적파괴율이 낮은 영역에서 Weibull paper 상의 data들이 직선관계에서 벗어나는 것을 관측할수 있으며 이를 기존의 Weibull 통계 해석법으로는 설명할수 없다.

한편 SiN막의 TDDB특성은 각각 동일온도하에서 Stress 전계를 변화시키며 실측하여 이로부터 TDDB특성의 전계에 의한 가속정도를 나타내는 전계가속계수를 추출하였고 동일전계에서 측정온도만을 달리한 실측치로 부터 온도에 대한 가속정도를 나타내는 온도가속계수를 구하였다.

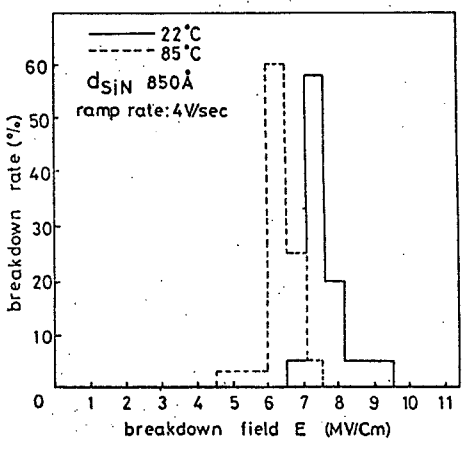

그림-1. MNS capacitor의 절연파괴 전계 분포

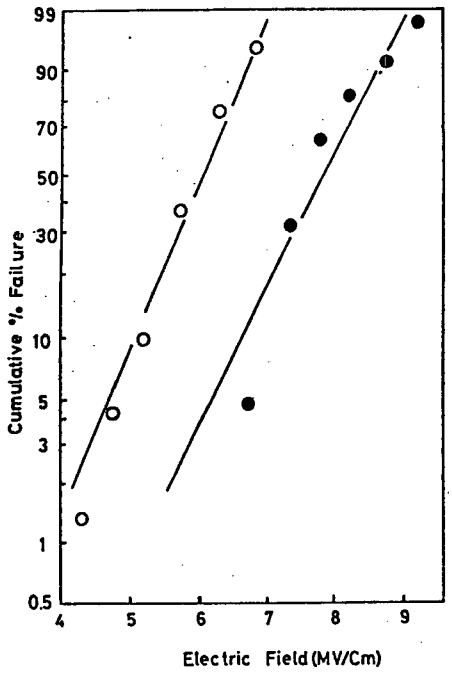

그림-2. 절연파괴 분포의 Weibull 분포

그림-3에는 각각 온도 및 stress 전계를 달리한 SiN막의 TDDB 특성을 나타내었다.

그림-4는 22 C에서 각각 4.5.6 MV/Cm의 일정전계하에서의 TDDB측정결과를 Weibull paper 상에 도시하였으며 결과로 부터 stress 전계가 증가할수록 절연파괴 도달시간 t_{bd}는 지수적으로 감소함을 알수있다.

한편 전계가속계수γ는 다음식과 같이 표현된다.

$$\gamma = \exp\left(\frac{E_o - E_s}{E_{ef}}\right) \qquad (1)$$

여기서 Es는 stress 전계, Eo는 소자의 동작전계이며 Eef는 실험으로 부터 얻어지는 상수이다. 그림-4 및 식(1)로 부터 도출한 전계가속계수 0.9 (cm/Mv) 였다.

그림-5는 6MV/cm의 동일 stress 전계하에서 22 °C, 85 °C, 160°C의 세가지 온도조건에서 t_{bd}를 실측한 결과를 Weibull paper 상에 나타내었으며 그림에서 보듯 t_{bd}는 지수적으로 감소하고 있음을 알수 있다. 온도가속계수α는 아래의 식과 같이 표현되어 진다.

$$\alpha = \exp\left\{\frac{E_a}{K}\left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_o}\right)\right\} \qquad (2)$$

여기서 Ts는 stress 온도,To는 소자의 사용온도, Ea는 활성화에너지로 본실험에서는 0.22eV가 얻어졌다. 그림-5와 식(2)로 부터 본실험에 사용된 SiN막의 온도가속계수 는 Ts 가 22 °C, To가 70°C인 경우 3.6을 얻었다.

한편 위와 같은 절연파괴 및 TDDB결과의 Weibull 해석으로 부터 알수 있듯 실측결과의 dispersion 으로 인하여 Weibull paper 상에서 직선영역에서

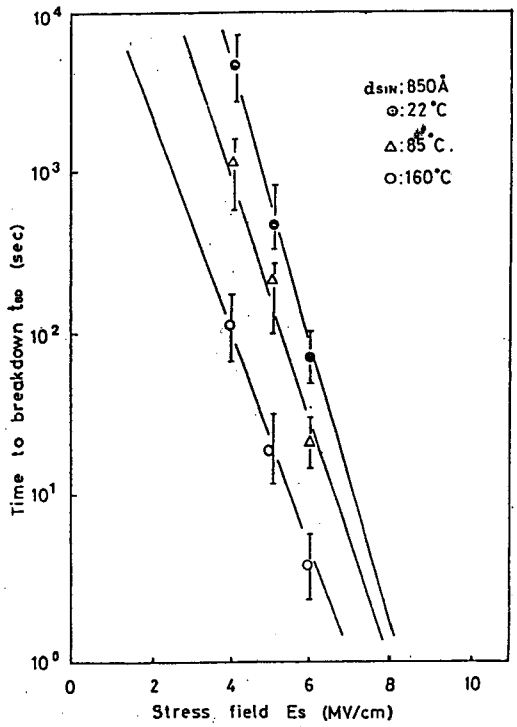

그림-3. 온도, 전계를 parameter로 한 TDDB특성

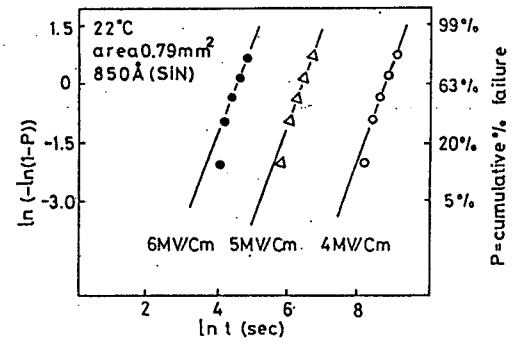

그림-4. 전계를 parameter로한 TDDB특성의 Weibull 분포

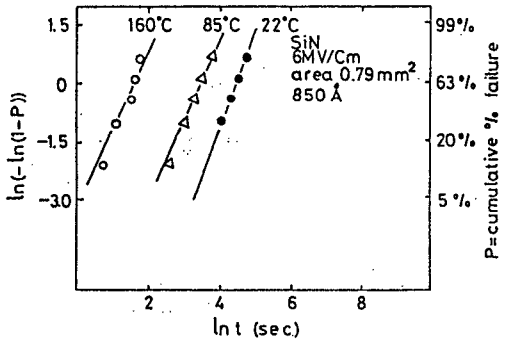

그림-5. 온도를 parameter로한 TDDB특성의 Weibull 분포

벗어나는 Weibull 통계가 적용되지 않는 영역이 나타나고 이러한 data의 dispersion이 있는 경우 Weibull 통계해석은 그 한계성을 나타내게 된다. 따라서 이러한 Weibull통계 해석법에 data의 dispersion factor를 정규분포로 근사화하여 취급한 새로운 통계 해석법을 modeling 하여 이의 수치해석을 행하였으며 이로부터 실험치와의 비교분석을 통한 새로운 통계해석법의 적용성등은 simulation 결과 및 고찰과 함께 당일 발표하겠다.

참 고 문 헌

1) Y. Hokari, etal : IEEE Trans. ED-32,2485 (1985)

2) K. Yamabe, etal : IEEE Trans. ED-32,428 (1985)

3) I. Chen, etal : IEEE Trans. ED-32 ,418 (1985)

4) J. Mcpherson, etal : J. Electrochem. Soc., 132,1903(1985)