Laser CVD silicon nitride막의 wear out

김 천 섭, °권 봉 재, 김 용 우, 김 성 진, 성 영 권
고 려 대 학 교 전 기 공 학 과

Wear out in electrically stressed LCVD silicon nitride films

Chun-Sub KIM, °Bong-Jae KWON, Yong-Woo KIM, Seong-Jeen KIM, Yung-Kwon SUNG
Dept. of Electrical Eng., Korea University

ABSTRACT

Recently, it has been reported that the insulating films deposited by PECVD show some degradation under somewhat high electric field.

In this paper, we introduce silicon nitride films deposited by LCVD, and evaluate the breakdown and wear-out of these films by TDDB test.

Further, failure times against electric field are examined and acceleration factors γ are obtained for each case.

As a result, it is shown that the breakdown and wear-out limitation for these films is improved.

1. 서론

오늘날 반도체 기술이 고집적화됨에 따라 공정상의 저온화가 중요한 문제로 대두되고 있으며 이러한 추세에 맞추어 새로운 저온 박막퇴적 기술들이 시도되고 있고[1)2)] 그중 플라즈마 CVD법에 의해 퇴적된 silicon nitride막은 SiO_2막에 비해 높은 유전율을 갖고, 가동이온에 의한 영향을 거의 받지 않는등 매우 우수한 특성을 지녀 최근의 반도체 소자의 표면보호막이나 층간절연막의 재료로서 각광을 받고있다.[3)] 그러나, 플라즈마에 의한 박막증착 공정에서는 과잉에너지의 이온충격과 불순물 오염에 의해 증착된 박막과 하층기판에의 손상등으로 인한 소자특성의 저하가 큰 문제점으로 대두되고 있다.[4)5)6)]

이러한 플라즈마 공정의 문제점들을 해결하고 고품질의 박막을 형성하기 위해 짧은 파장의 Laser 에너지를 이용하여 증성종을 여기함으로써 과잉에너지에 의한 이온기판충돌에의한 손상을 막고 결함을 줄이는 광여기공정을 수행함으로써 선택적 반응및 저온공정을 실현할 수 있는 Laser assisted CVD장비를 이용한 다양한 공정의 개발에 큰관심이 모아지고 있다.[7)8)9)]

따라서 본 연구실에서는 LCVD 장치를 set up하고 이를 이용하여 NH_3/SiH_4 혼합가스에 Laser 중 파장 193 nm인 ArF Excimer Laser를 조사함으로써 실현된 광여기공정에 의해 silicon nitride막을 형성시켜 이들의 TZDB및 TDDB특성을 살펴 전계가속계수 γ를 구하고 경시적 열화에 대해 검토하였으며 이들막의 장기 신뢰성을 평가하기 위해 예측수명시간을 동작상태조건에서 검토하였다.

2. 이론적 고찰

절연막의 전기적 파괴로 MIS capacitor의 파괴통계는 누적파괴특성을 표시하는 weibull 분포[10]로써 나타낼 수 있으며 다음 두가지 측면에서 누적 파괴율을 측정할 수 있다.

즉, 첫째 rampping 계 E에 대한 누적파괴율 F(t)의 관계에 대한 것으로써, 시료를 TZDB(Time Zero Dielectric Breakdown)측정을 하여 weibull probability paper상에 나타낼 수 있다.

$\ln\ln[1-F(t)] = m(E-\bar{E})/(Emax - E)$ ----- (3)

여기서 $m/(Emax-E)$는 직선의 기울기

Emax 는 누적 파괴율이 99% 일때의 E의 값

$\bar{E}$는 $\ln\ln[1-F(t)] = 0$, 혹은 $F(E)= 1-1/e$ = 63% 에서의 전계이다.

둘째는 일정 전계하에서 stress시간 t에 대한 누적 파괴율 F(t)의 관계를 weibull probability paper에 나타내어 해석하는 것으로써 그 관계는 다음과 같다. 시료의 TDDB(Time Dependent Dielectric Breakdown) 측정결과를 weibull probability paper 상에 도시하면 $\ln\ln[1-F(t)]$와 $\ln(t)$ 사이에 선형적인 관계가 식 (4)와 같이 성립하고 있음을 알 수 있으며

$\ln\ln[1-F(t)]^{-1} = n \ln(\bar{t}/t)$ ---------- (4)

여기서 n 은 직선의 기울기를 나타내고 $\bar{t}$는 $\ln\ln\{1-F(t)\}^{-1} = 0$ 혹은 $F(t) = 1 - 1/e = 63$ % 일때의 t 의 값이다.

3. 시료의 제작및 측정

시료의 제작에 있어 기판은 표면의 결함요인을 줄이기 위해 n형 (100) 웨이퍼를 사용하였고 이때의 비저항 값은 0.002 - 0.008 Ω-cm이었다. 시료제작에 앞서 기판표면의 유기물및 금속 이온등에 의한 오염물질과 자연 산화막을 제거하기 위해 전처리 과정으로 RCA[11]에서 개발한 세척방법을 이용하였다. 그림 1은 silicon nitride막을 퇴적시키기 위한 시

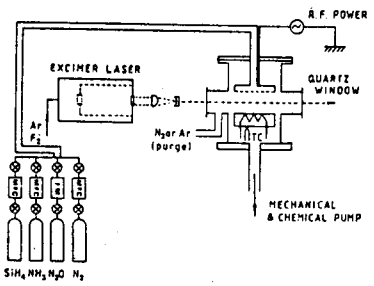

그림 1. PECVD및 LCVD 장치 구성도

스템의 구성도로서 반응로는 레이저 조사를 위해 두개의 창을 가진 스테인레스 스틸로 만들었다. 레이저광은 원통형 렌즈에 의해 집속되었고 반응체적으로부터 기판에 직접적으로 반응종을 확산하기 위해 기판위에 1㎜이하로 통과하도록 하였다.[12] 이때의 펄스 에너지는 100㎽J이었고 펄스폭은 10ns, repetition rate는 80Hz이었다. 또한 가스 흐름율은 NH_3/SiH_4 = 60이었고 압력은 1 torr이었다. 기판온도는 300°C이었다. 형성된 silicon nitride막의 두께와 굴절율은 nanoscope (ANELVA(911-9150)) 와 엘립소메타(AME - 500)를 사용하여 측정하였다. 이때 박막의 두께는 silicon nitride박막의 3군데를 측정하여 평균하였으며, 퇴적속도도 아울러 구하였다.

또한 이들의 전기적 특성을 측정하기 위하여 퇴적된 silicon nitride막 위에 지름이 1㎜되게 Al전극을 증착시키고 하부는 Si 기판에 Al전극을 진공 증착하여 MNS(Metal-Nitride-Silicon) 구조의 다이오드를 만들었다.

절연파괴측정은 ramp rate 4V/sec 전압을 인가하여 breakdown순간을 peak detector로 holding하여 측정하였다. 한편 TDDB측정은 상온(22 °C)에서 정전압 stress를 각각 4, 5 및 6MV/㎝로 달리하여 절연파괴가 일어날 때까지의 시간을 측정하였고, 신뢰성 있는 막을 얻기 위하여 screening 하였다. 이상의 측정장치 구성도는 그림 2에 나타내었다.

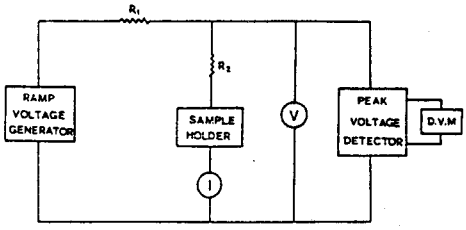

그림 2. 절연파괴 측정장치 구성도

4. 실험 결과및 검토

그림 3은 ramp전압에 의한 PECVD silicon nitride막및 Laser CVD silicon nitride(LCVD silicon nitride)막의 절연 파괴 histogram을 나타낸 것으로 그림에서 본 바와같이 LCVD막의 절연파괴분포범위가 PECVD막보다 더넓게 분포되어 있고 이는 막속의 H 함량이 PECVD막보다 높으므로 전체적인 절연내력이 감소하는 것으로 생각된다.[13]

그러나 누적 파괴율 최대 peak 값은 PECVD 막의 경우 7.5MV/㎝에서 LCVD 막의 경우 8.0MV/㎝ 로 이동하여 LCVD막의 경우가 0.5MV/㎝정도 높게 나타며 이는 PECVD막의 공정중에 발생하는

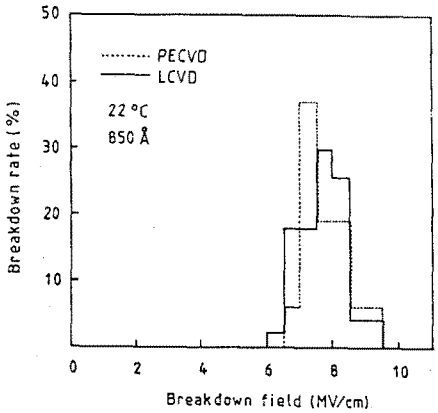

그림 3. PECVD막과 LCVD막의 절연파괴 전계와 파괴율에 대한 히스토그램

이온충돌이나 전자충돌에 의한 기판손상이 LCVD에서는 발생하지 않으므로 이로인한 결함이 줄어들므로써 절연파괴 최대치는 증가하는 것으로 생각된다.

한편, 각각 전계를 달리한 silicon nitride막의 TDDB특성은 그림 4 및 5에 나타내었다. 그림에서

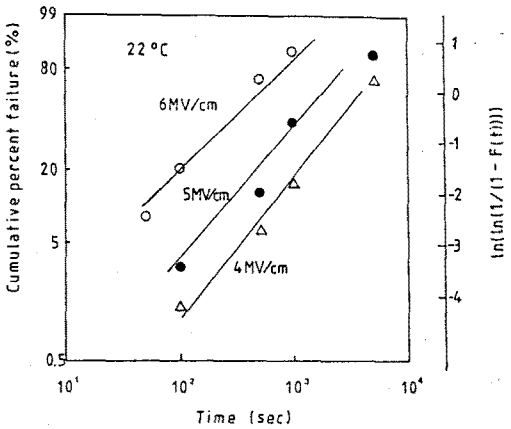

그림 4. PECVD막의 전계 stress TDDB특성의 weibull분포

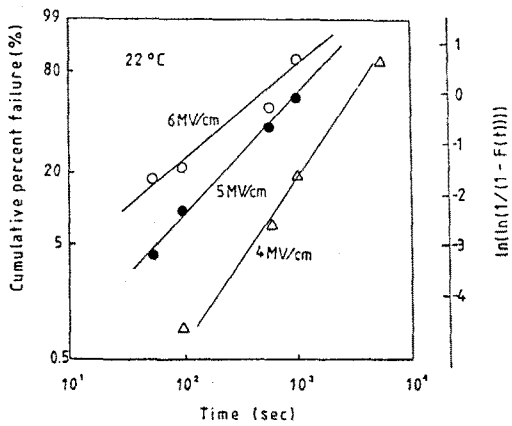

그림 5. LCVD막의 전계 stress TDDB특성의 weibull 분포

보는 바와같이 전계에 따라 열화가 가속됨을 알 수 있고 또한, 전계에 따른 파괴가 얼마나 가속되는가를 나타내는 전계가속계수 γ (accelerator factor)를 다음식에 의해 나타낼 수 있다.[11]

$$\gamma = \exp[(Eo - Es/Eef)] \text{ ———— } (5)$$

그림 6는 그림 4와 그림 5에서 스트레스 전계에

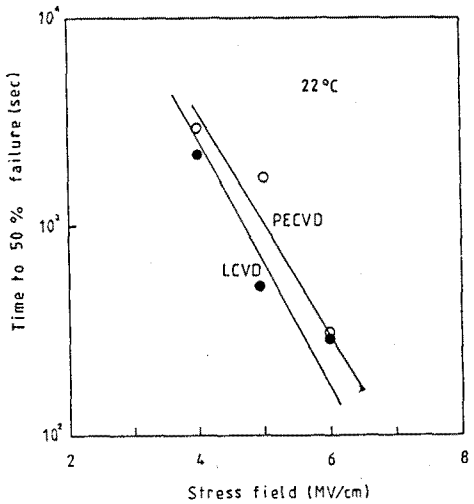

그림 6. Stress 전계와 50% 누적파괴 시간과의 관계

대한 50 % 누적파괴에 이르는 시간을 선택하여 다시그린 것인데 여기서 직선의 기울기와 식 (5)를 이용하여 전계가속계수 값을 구하면 PECVD경우 f.39 cm/MV, LCVD경우 1.42를 각각 얻을 수 있어 LCVD막의 열화현상이 전계가 증가함에 따라 점점더 가속됨을 알 수 있는데 이는 막속에 함유된 수소가 열화를 촉진하는 역할을 하는 것으로 간주된다.

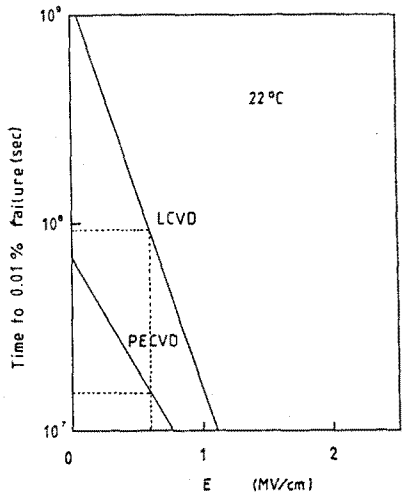

그림 7. 전압의 함수로써 0.01% 누적파괴에의 도달시간

또한 장기 예측 수명시간을 얻기 위해 동작전압과 0.01% 누적 파괴율과의 관계를 그림 7에 나타내었다. 그림에서 보는 바와같이 소자의 상온 동작하에 동작전압이 5V이면 누적 파괴율 0.01%까지 PECVD막의 경우 1.5 x 10^7sec이고 LCVD막의 경우 1.91 x 10^8sec 이상의 수명을 유지할 수 있어 LCVD막이 0.4 x 10^7 정도 더 안정된 막을 유지함을 알 수 있다.

5. 결론

PECVD silicon nitride막과 LCVD silicon nitride막을 TZDB및 TDDB실험을 통해 막질평가를 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. ramp 전압을 이용 절연파괴전압분포를 측정한 결과 PECVD silicon nitride막의 경우 7.5MV/cm, LCVD silicon nitride막의 경우 8MV/cm의 절연파괴 전계를 얻어 LCVD silicon nitride막이 더 고전계쪽으로 이동함을 알 수 있다.
2. 위 막의 신뢰성을 평가하기 위하여 전계 stress를 인가하여 TDDB를 측정한 결과 LCVD silicon nitride막의 전계가속계수가 더 큼을 알 수 있다.
3. 위의 TDDB date를 이용하여 0.01% 누적파괴까지의 시간을 외삽하여 실제 사용온도와 전압에서의 신뢰성을 평가한 결과, 본 실험실에서 제작한 막이 상온(22°C), 0.59MV/cm에서 PECVD silicon nitride막은 1.5 x 10^7sec, LCVD silicon nitride막은 1.9 x 10^8sec를 얻음으로써 LCVD막이 PECVD막보다 더오래동안 신뢰성 있는 막으로 동작할 수 있으리라고 판단된다.

REFERENCE

1. S. Matsuo and K. Kikuchi : Jpn. J. Appl. Phys., 22, L210 (1980)
2. S. Su, Solid State Technology, 24, 72 (1981)
3. J. W. Peters, F. L. Gebhart, T. C. Hall, Solid State Technology, , 23, 121 (1980)
4. T. W. Hickmott: Appl. Phys. Lett. 15, 232 (1969)
5. J. L. Vossen, J. J. O'Niell, Jr., G. W. Hughes, F. A. Taft and R. Snedeker: J. Vac. Sci. & Technol., 17, 400 (1980)
6. Y. Yamane, Y. Ishii and T. Mizutani : Jpn. J. Appl. Phys., 22, L350 (1983)
7. M. Hanabusa, A. Oikawa, P. Y. Cai : J. Appl. Phys., 66, 3268 (1989)
8. P. K. Boyer, C. A. Moore, R. Solanki, W. K. Ritchie, G. A. Roche, Geore J. collins : Mat. Ras. Soc. Symp. Proc., vol. 17, 119 (1983)
9. Thomas F. Deutsch : J. Chem. Phys., 70, 1187 (1979)
10. J. T. Duane : IEEE Trans. Aerosp., 2, 563 (1964)
11. C. Osburn and D. Ormand, J. Electrochem. soc., vol. 119, p 591 (1972)
12. Boyer, G. A. Roche, W.H. Ritchie, G. J. Collins : Appl. Phys. Lett., 40, 716 (1982)
13. Boyer, P. K. Emery, K. A. : Appl. Phys. Lett., vol. 45, 979 (1984)