

Laser CVD절연막의 전기전도와 절연파괴특성

오강희*, 권봉재*, 김용우*, 김성진*, 성영권*
*고려대학교 전기공학과

The electrical conduction and breakdown characteristics of thin films by Laser CVD

Oh, B. Kang*, B. J. Kwon*, Y. W. Kim*, S. J. Kim*, Y. K. Sung*
*Dept. of Electrical Eng. Korea Univ.

Abstract

In this paper, we introduce silicon dioxide films deposited by Laser CVD, and evaluate the breakdown characteristics of these films by TZDB(Time Zero Dielectric Breakdown) and TDDB(Time Dependent Dielectric Breakdown) test.

failure times against electric field are examined and acceleration factors β are obtained, and also, long term reliability is described by examining TDDB under positive voltage bias.

all the above results are compared with PECVD(Plasma Enhanced CVD) SiO₂ breakdown data.

as a result, it is shown that the breakdown characteristics of Laser CVD SiO₂ films is improved.

1. 서론

오늘날 반도체 기술이 고집적화됨에 따라 Design Rule 의 sub-micro 화와 함께 Photolithography 및 다른 공정 기술의 고도화가 절실히 요구된다.^(1,2) 그런데 Laser beam 에너지를 이용하면 저온으로 국부적인 위치에 박막, dope 및 Etch 등의 공정을 용이하게 진행할 수 있다. 그 중 Laser CVD법에 의해 형성된 박막은 기존의 플라즈마 CVD법^(3,4,5)에 의해 형성된 박막과 거의 같은 막질 특성을 보이고 있다. 따라서 고품질의 박막을 형성하기 위한 공정으로서 Laser CVD법이 다양하게 연구되고 있다.^(6,7,8) 이러한 추세에 따라서 본 연구실에서는 Laser CVD 장치를 set up 하고 이를 이용하여 N₂O/SiH₄ 혼합가스에 Laser 중 파장 193nm 인 ArF Excimer Laser 를 조사함으로써 실현된 광여기 공정에 의해 SiO₂막 및 SiN 막을 형성시켜 이들의 I-V 전도특성과 TZDB 및 TDDB 등의 절연파괴특성을 실측하여 Laser CVD 절연막의 전도와 절연파괴기구를 밝히고자 한다.

2. 이론적 고찰

절연막의 통계적분포는 일반적으로 Weibull분포 또는 lognormal분포로 나타낼 수 있다. 본 실험에서는 Weibull분포를 사용.

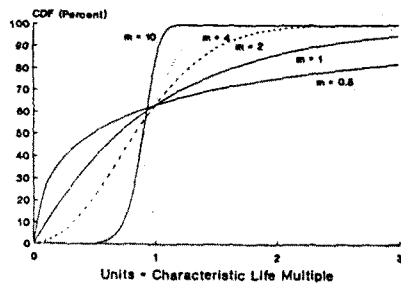
$$\text{확률밀도함수 } f(t) = cm(ct)^{m-1} \exp(-(ct)^m)$$

c: scale parameter

m: shape parameter

$$\text{누적밀도함수 } F(t) = 1 - \exp(-(ct)^m)$$

누적밀도함수를 그림으로 나타내면



Weibull 누적밀도함수

위의 누적분포를 이중 ln을 취하면

$$\ln \ln(1-F(t))^{-1} = m(\ln t + \ln c)$$

3. 시료의 제작 및 측정

시료의 제작에 있어 기판은 불순물이 Boron 인 P type(100) wafer 이고 비저항은 40.0 - 65.0 Ω-cm, 지름이 5 inch인 Test wafer 를 사용하였다. 시료의 제작에 앞서 기판표면의 유기물 및 금속이온등에 의한 오염물질과 자연산화막을 제거하기 위해 전처리 과정으로 RCA에서 개발한 세척방법을 사용하였다.

그림 1은 박막형성을 위한 Laser CVD 장치의 diagram 이다. Laser beam은 렌즈에 의해 집중시켰

고 기판위를 수평으로 지나도록 설계하였다. 이때 Laser beam의 average power는 $4.8W/cm^2$ 이었고 펄스폭은 10ns, repetition rate는 80Hz 이었다. 또한 가스 flow rate는 $N_2O/SiH_4=10$ 이었고 chamber 압력은 5 Torr이었다. 기판의 온도는 $200-300^{\circ}C$ 에서 측정하였다. Laser CVD에 의해 형성된 박막의 두께는 nanoscope와 C-V 법을 병행하여 측정하였다.

Laser CVD 법에 의해 형성된 박막의 전기적 특성을 측정하기 위하여 박막위에 지름 1mm의 원형 전극을 증착하여 MOS (Metal-Oxide-Silicon) 구조의 시료를 만들었다.

Breakdown 측정은 electrometer (Keithley-610C)과 Hp 4145를 사용하였다. TZDB 측정을 위하여 4V/sec의 ramp 전압을 인가하여 breakdown 전압을 측정하였다. 한편 TDDB 측정은 정전압 stress를 각각 4, 5 및 6MV/cm로 달리하여 Breakdown이 일어날때까지의 시간을 측정하여 막질을 평가하였다.

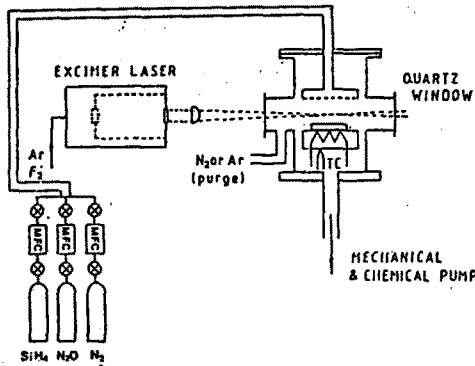


그림 1. Laser CVD 장치의 diagram

4. 결과 및 고찰

열산화막의 일반적 전도기구인 Fowler-Nordheim 관계식 즉,

$$J = (\alpha_1 E^2 / \Omega) \exp(-\alpha_2 \Omega^{3/2} / E)$$

α_1, α_2 : 상수
 Ω : tunnel barrier height
 E : 전계

을 이용하여 $\log(J/E^2)$ 와 $1/E$ 의 plot에 나타내면 직선관계를 나타낸다. 이것을 이용하여 Laser CVD SiO_2 막의 I-V curve를 $\log(J/E^2)$ 와 $1/E$ 의 plot에 그려보면 그림 2에서 보는 바와 같이 4 - 6.5MV/cm 범위에서 잘 일치함을 알 수 있다. 이것으로 Laser CVD SiO_2 막도 Fowler-Nordheim 전도기구임을 알았다.

그림 3는 ramp rate 4(V/sec)의 전압을 인가했을 때 PECVD SiO_2 막과 Laser CVD SiO_2 막의 절연파괴 histogram을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 PECVD막의 최대 peak값은 7 MV/cm였으며, Laser CVD막의 경우 8 MV/cm로 이동하여 Laser

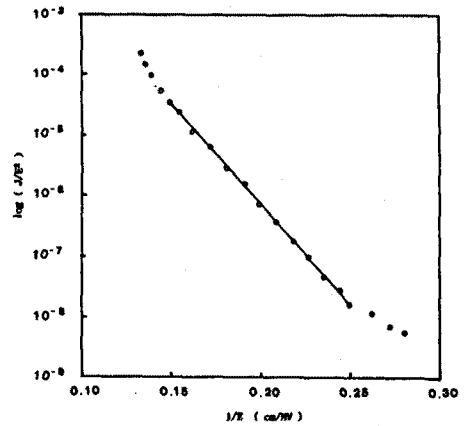


그림 2. Laser CVD SiO_2 막의 I-V 특성

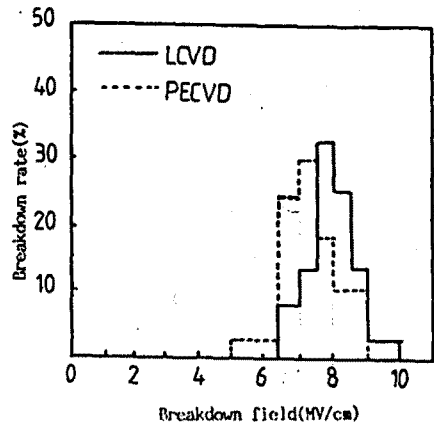


그림 3. PECVD막과 Laser CVD막의 절연파괴 전계와 파괴율에 대한 히스토그램

CVD막의 경우가 1 MV/cm정도 높게 나타났다. 이것은 PECVD공정 중에 발생하는 이온충돌이나 radiation damage에 의한 막이나 기판손상이 Laser CVD에서는 발생하지 않기 때문에 이로 인한 결함이 줄어들므로써 절연파괴 peak값이 증가하는 것으로 생각된다.

한편, 전계를 달리한 PECVD와 Laser CVD SiO_2 막과 SiN막의 TDDB 특성을 그림 4와 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 전계에 따라 열화가 가속됨을 알 수 있고 또한 SiN막의 TDDB data와 비교하면 누적파괴율이 더 낮음을 알 수 있었다. 그리고 가속되는 정도를 나타내는 SiO_2 막의 전계 가속계수 β 는 그림 6에서 구할 수 있다. 즉, 그림 4와 5에서 stress전계에 대한 50% 누적파괴에 이르는 시간을 선택하여 그린 것인데 여기서 직선의 기울기를 이용하여¹⁰⁾ 전계가속계수 값을 구하면 PECVD경우 1.38 cm/MV, Laser CVD경우 1.43cm/MV를 각각 얻을 수 있었다. 즉 Laser CVD막의 전계가속계수가 더 크게 나타남을 알 수 있다. 이 전계가속계수 값이 큰값을 갖기 때문에 장기신뢰성이 우수하리라고 예상된다.¹⁰⁾ 이러한 결

과를 바탕으로 장기 예측 수명시간을 구체적으로 얻기 위해 가속전계와 50% 누적파괴시간의 plot을 동작전계 부분으로 외삽하여 그림 7에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 소자의 상온 동작 하에서 동작전압이 5V이면 누적파괴를 50%까지 PECVD막의 경우 7.3×10^7 sec이고 Laser CVD막의 경우 1.7×10^9 sec이상의 수명을 유지할 수 있어 Laser CVD막이 더 신뢰성이 있음을 알 수 있다.

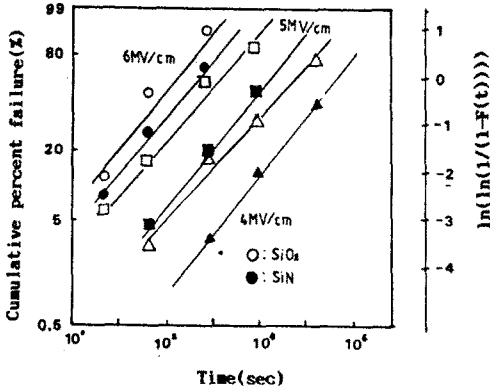


그림 4. PECVD SiO₂ 및 SiN막의 TDBB특성의 weibull분포

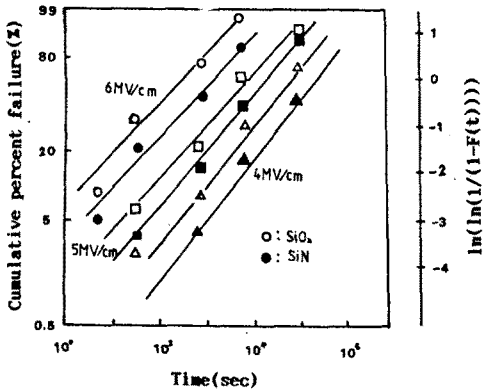


그림 5. Laser CVD SiO₂ 및 SiN막의 TDBB특성의 weibull분포

5. 결론

PECVD SiO₂막과 Laser CVD SiO₂막을 TZDB 및 TDBB실험을 통해 막질평가된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Laser CVD SiO₂막도 Fowler-Nordheim전도기구를 알 수 있었다.
2. ramp 전압을 이용하여 절연파괴 전압분포를 측정된 결과 PECVD SiO₂막의 경우 7 MV/cm, Laser CVD SiO₂막의 경우 8 MV/cm의 절연파괴 전계를 얻어 Laser CVD SiO₂막의 절연내압이 더 우수함을 알 수 있었다.
3. 위 막의 신뢰성을 평가하기 위해서 전계 stress를 증가하여 TDBB를 측정된 결과 Laser CVD SiO₂막의 전계가속계수가 더 큼을 알 수 있다.

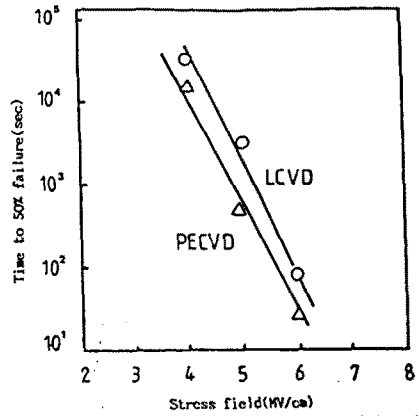


그림 6. Stress 전계와 50% 누적파괴 시간과의 관계

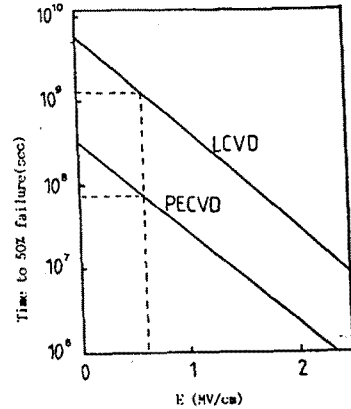


그림 7. 저전계의 함수로서 50% 누적파괴에의 도달시간

측, 장기신뢰성이 PECVD SiO₂막에 비해 더 우수함을 간접적으로 알 수 있다.

4. 위의 TDBB data를 이용하여 50% 누적파괴까지의 시간을 외삽하여 실제 사용온도와 전압에서의 신뢰성을 평가한 결과, 본 실험실에서 제작한 막이 상온(22°C), 0.59 MV/cm에서 PECVD SiO₂는 7.6×10^7 sec, Laser CVD SiO₂막은 1.7×10^9 sec를 얻음으로써 Laser CVD막이 PECVD막보다 더 오래동안 신뢰성있는 막으로 동작할 수 있음을 알 수 있다.

Reference

1. S. Matsuo and K. Kikuchi : Jpn. J. Appl. Phys., 22, L210 (1980)
2. S. Su, Solid State Technology, 24, 72 (1981)
3. T. W. Hickmott : Appl. Phys. Lett. 15, 232 (1969)
4. J. L. Vossen, J. J. O'Niell, Jr., G. W. Hughes, F. A. Taft and R. Snedeker : J. Vac. Sci. & Technol., 17, 400 (1980)
5. Y. Yamane, Y. Ishii and T. Mizutani : Jpn. J. Appl. Phys., 22, L350 (1983)
6. P. K. Boyer, G. A. Roche, W. H. Ritchie, and G. J. Collins : Appl. Phys. Lett. 40(8), 15 (1982)
7. John Yuan-tai Chen and Richard C. Henderson : J. Electrochem. Soc., Vol 131, P2146 (1984)
8. Kohji Inoue, Masanori Okuyama : Jpn. J. Appl. Phys., 27, L2152 (1988)
9. J. T. Duane : IEEE Trans. Aerosp., 2, 563 (1964)
10. Kikuo Yamabe and Kenji Taniguchi : IEEE Trans. on Electron Devices, ED 32, 423 (1985)