

Laser CVD SiN막의 전기적 특성

김용우, 김상욱, 박종욱, 김천섭, 성영권
고려대학교 전기공학과

Electrical Properties of Laser CVD Silicon Nitride Film

Sang-Wook Kim, Yong-Woo Kim, Chun-Sub Kim, Jong-Wook Park, Yung-Kwon Sung
Dept. of Electrical Eng., Korea University

Abstracts

Silicon nitride film was deposited on a silicon wafer using a laser CVD(LCVD) technique, which is based on direct photolysis of SiH₄/NH₃ gas mixture by ArF laser beam($\lambda=193$ nm). The refractive index of deposited SiN film is 1.9 at the temperature of 300°C, pressure of 5 torr.

The breakdown field strength of LCVD SiN film was 10MV/cm. In IR spectrum, the absorption peak of Si-H, N-H, and Si-N is detected and it is shown that hydrogen is included in SiN film. From analysis of absorption band, it is calculated that density of Si-H, N-H bond is higher than $5 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$. LCVD MIS capacitor and PECVD MIS capacitor have injection-type hysteresis but it is known that hysteresis loss of LCVD MIS capacitor is smaller than that of PECVD MIS capacitor. It means that interface state density of LCVD capacitor is smaller than that of PECVD capacitor. In addition, the flatband voltage(V_{FB}) of LCVD is smaller than that of PECVD capacitor. And it means that fixed charged density(Q_{FIX}) of LCVD capacitor is smaller than that of PECVD MIS capacitor.

1. 서론

빠른 속도와 좀 더 복잡한 회로 구성에 따라 높은 밀도를 갖는 작은 VLSI 디바이스에 대한 요구가 나타나게 되었다. 약 300°C의 낮은온도에서 퇴적된 층

간 절연막을 이용한 다중 수평 상호접속이 그러한 디바이스 제작에 유망한 기술이다. VLSI 디바이스 제작에서 낮은 온도에서 퇴적된 절연막이 주로 PECVD에 의해 얻어졌을지라도 PECVD 방법은 약간의 불리한 점이있다. 그것은 막퇴적동안 plasma bombardment에 의해 radiation damage가 생성되기 때문이다.¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ 최근에 이런 문제점을 해결하기 위해 laser CVD가 VLSI 기술에서 새로운 저온 프로세스의 하나로 기대되고 있다.⁵⁾⁶⁾⁷⁾

2. 시료의 제작

시료의 제작에 있어 기판은 오믹접촉을 용이하게 하고 표면의 결함요인을 줄이기 위해 n형 (100) 웨이퍼를 사용하였고 이때의 비저항 값은 0.002 - 0.008 $\Omega\text{-cm}$ 이었다. 시료제작에 앞서 기판표면의 유기물및 금속 이온등에 의한 오염물질과 자연 산화막을 제거하기 위해 전처리 과정으로 RCA에서 개발한 세척방법을 이용하였다. 그림 1은 SiN막을 퇴적시키기 위한 시스템의 구성도로서 반응로는 레이저 조사

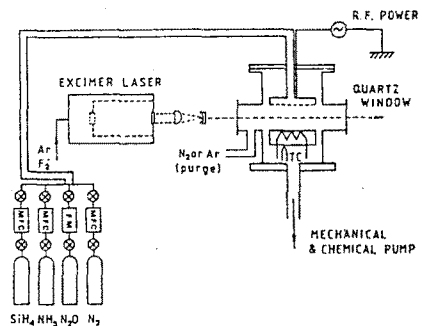


그림 1. ArF Excimer laser를 이용한 CVD 장치 구성도

를 위해 두께의 차를 가진 스테인레스 스틸로 만들었다. 레이저광은 원통형 렌즈에 의해 집중되었고 기판에 직접적으로 조사되지 않기 위해 기판위에 1mm 이하로 통과하도록 하였다. 이때의 펄스 전력은 $40\text{MW}/\text{cm}^2$ 이었고 펄스폭은 10ns, repetition rate는 80Hz이었다. 또한 가스 흐름율은 $\text{NH}_3/\text{SiH}_4 = 60$ 이었고 압력은 1 torr이었다. 기판온도는 300°C 이었다. 형성된 SiN막의 두께와 굴절율은 nanoscope (ANELVA(911-9150))와 엘립소메타(AME - 500)를 사용하여 측정하였다. 이때 박막의 두께는 SiN막막의 3군데를 측정하여 평균하였으며, 퇴적속도도 아울러 구하였다.

한편 형성물의 조성, 불순물등을 평가하기 위하여 IR분광법을 사용하였다.

또 이들의 전기적 특성을 측정하기 위하여 퇴적된 SiN막 위에 지름이 1mm이하 Al전극을 증착시키고 하부는 Si 기판에 Al전극을 진공 증착하여 MNS(Metal-Nitride-Silicon) 구조의 다이오드를 만들었다. 용량-전압 특성은 wafer analyzer(SPC Electronics corporation, TYPE 17B20)을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

Laser CVD SiN막의 조성 및 불순물등을 평가하기 위하여 적외선 영역에서 흡수율을 측정한 것을 그림 2에 나타내었다.

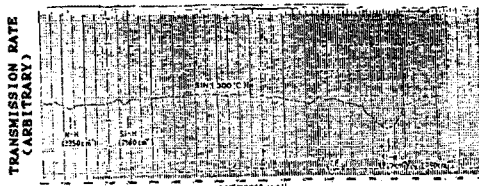


그림 2. IR 흡수 스펙트럼

실측한 IR스펙트럼에서는 Si-N의 흡수 피크 외에 Si-H, N-H에 의한 흡수 피크가 모여 막내에 수소가 함유되어 있음을 알 수 있다. 2100 과 3300 cm^{-1} 에 중심을 둔 흡수대역을 분석하면 Si-H와 N-H 결합의 밀도가 모두 $5 \times 10^{22}\text{ cm}^{-3}$ 이상이었다.

한편, Si-MNS capacitor에서 Si와 SiN막 사이의 계

면 성질과 SiN막의 고정전하 특성을 알기 위하여 1MHz의 주파수에서 C-V특성을 실측하였다.

그림 3는 laser CVD SiN막의 C-V특성을 보여주고 있다. 아울러 같은 조건에서 제작된 PECVD SiN막의 C-V특성도 함께 병기하였다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 laser CVD MIS capacitor의 히스테리시스 손실이 PECVD MIS capacitor보다 작다. 이것으로 laser CVD MIS capacitor의 계면 상태 밀도가 PECVD MIS capacitor보다 작음을 알 수 있다. 또 laser CVD MIS capacitor의 플랫밴드 전압(V_{FB})이 PECVD MIS capacitor보다 작다. 이것으로 laser CVD MIS capacitor의 고정전하 밀도가 PECVD MIS capacitor보다 작음을 알 수 있다. Terman 방법⁸⁾을 기초로 표

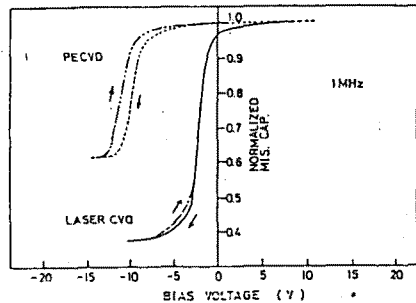


그림 3. Si MNS 구조의 C-V 특성

면 상태 밀도 N_{ss} 의 profile을 밝히기 위해 C-V특성을 분석했다.

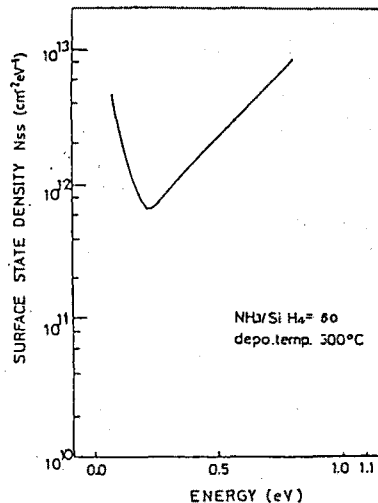


그림 4. 표면 상태 밀도 N_{ss} 의 본포 곡선

C-V 특성으로부터 계산된 표면 상태 밀도를 그림 4에 나타내었다. Nss의 최소값이 전도대역 끝에서부터 0.22 eV에 위치해 있고 이값은 같은 위치에서 PECVD MIS capacitor의 Nss값($1 \times 10^{12} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$)보다 낮다. 가스 흐름율의 변화에 따른 표면 상태 밀도 Nss,min의 최소값과 고정 전하 밀도 QFIX를 표 1에 나타내었다.

표 1. 가스 흐름율에 따른 표면 상태 밀도 Nss,min와 고정전하밀도 QFIX

NH ₃ /SiH ₄	Nss,min		QFIX [cm ⁻²]
	[cm ⁻² eV ⁻¹]	[eV]	
20	9.1×10^{11}	Ec - 0.30	5.8×10^{10}
30	1.1×10^{12}	Ec - 0.31	4.0×10^{11}
40	8.2×10^{11}	Ec - 0.21	4.5×10^{11}
50	6.0×10^{11}	Ec - 0.21	5.0×10^{11}

이 결과로부터 NH₃/SiH₄비가 증가할때 QFIX도 증가함을 알 수있다. Nss,min의 크기는 그것이 비록 NH₃/SiH₄=25 에서 최대일지라도 NH₃/SiH₄ 비에 별로 민감하지 못함을 알 수있다. 위의 실험에서 Nss가 대체적으로 높은 값을 나타나는 것은 절연막 형성에 앞서 특별한 표면처리가 없었기 때문으로 간주된다. 따라서 반응로에 시료를 놓기전에 화학적 에칭과 함께 반응로에서 in-situ photo etching을하면 Nss가 줄어들것으로 생각된다.

참고로 Laser CVD에 의해 퇴적된 SiN막의 절연 파괴 전계는 거의 10 MV/cm이었다.

4. 결론

C-V특성 측정결과 laser CVD MIS capacitor의 히스테리시스 손실이 PECVD MIS capacitor보다 작다. 이것으로 laser CVD MIS capacitor의 계면 상태 밀도가 PECVD MIS capacitor보다 작음을 알 수있다. 또 laser CVD MIS capacitor의 플랫밴드 전압(VFB)이 PECVD MIS capacitor보다 작다. 이것으로 laser CVD MIS capacitor의 고정전하 밀도가 PECVD MIS

capacitor보다 작음을 알 수있다. Nss의 최소값이 전도대역 끝에서부터 0.22 eV에 위치해 있고 이값은 PECVD MIS capacitor의 Nss값($1 \times 10^{12} \text{cm}^{-2} \text{eV}^{-1}$)보다 낮다.

IR 스펙트럼에서 Si-H와 N-H 형태로 막내에 수소가 함유되어 있음을 알 수있다. 2100과 3300 cm⁻¹에 중심을 둔 흡수대역을 분석하면 Si-H와 N-H 결합의 밀도가 모두 $5 \times 10^{22} \text{cm}^{-3}$ 이상이었다.

SiH₄를 원료 가스로 사용하는 경우 직접적 광분해가 일어나지 않기 때문에 Si₂H₆와 NH₃의 혼합 가스를 광분해시키면 좀더 치밀한 막이 형성될 것으로 사려된다.

References

- 1) T.W. Hickmott: Appl. Phys. Lett.15(1969) 232.
- 2) J.I. Vossen, J.J. O'Niell, Jr., G.W. Hugfes, F.A. Traft and R. Snedeker: J.Vac. Sci. & Technol. 17(1980) 400.
- 3) Y. Yamane, Y. Ishii and T. Mizutani: Jpn. J. Appl. Phys. 22(1983) L350.
- 4) Y. Chung and C.Y Chen: J. Vac., Sci & Technol. B1, 3(1983) 799.
- 5) R.A. Abbott and T.I. Kamins, Solid State Electron. 13(1971) 565.
- 6) A. Waxman and K.h. Zaininger, Appl. Phys. Lett. 12(1968) 109.
- 7) E. Ferrier and B. Pruniaux, J. Electrochem. Soc. 116, 1008(1969).
- 8) M. Terman: Solid State Electron. 5(1962) 285.