

N₂O 가스에서 열산화한 SiO₂막의 특성

김 동석* · 최 현식 · 서 용진 · 김 태형 · 김 창일 · 장 의구
 중앙대학교 전기공학과

Properties of SiO₂ film oxidized in N₂O gas

Dong-seok Kim* · Hyun-Sik Choi · Yong-Jin Seo · Tae-Hyung Kim
 Chang-Il Kim · Eui-Goo Chang
 Dept. of Electrical Eng., Chung-Ang Univ.

Abstract

Ultrathin metal-oxide-semiconductor(MOS) gate dielectrics have been fabricated by conventional thermal oxidation in N₂O ambient. Compared to oxides grown in O₂, N₂O oxides exhibit significantly low flatband voltage and small shift in flatband voltage. N₂O oxidation induces a slight decrease in mobile ionic charge density(N_m), fixed charge density(N_f) and surface state charge density(N_{ss}).

This study establishes that N₂O oxides may have a great impact on future MOS ULSI technology in which ultrathin gate dielectrics are required.

1. 서론

최근 반도체 소자의 제조공정기술이 ULSI로 고집적화, 초미세화 되어감에 따라 소형소자의 Hot carrier 효과를 개선하고, 커패시터의 면적 축소를 인한 정전용량의 감소를 피하기 위하여 결함이 없고 유전율이 크며 안정한 게이트 산화막의 박막화가 불가피하게 되었다.

종래의 열산화막은 초박막(10nm)으로 산화할 경우, 두께 조절이 용이하지 않고[1,2] 불순물 확산에 대한 mask 성능이 좋지 않으며 게이트 전극의 금속물질과 반응하는 등의 문제가 야기된다.[3]

이의 개선책으로 근래 열산화막을 대신하여 질화된 산화막(nitroxide)에 대한 연구가 활발한데, 질화된 산화막은 열산화막에 비해 그 구조적 조밀성으로 인하여 절연내력이 우수하고 높은 유전율을 가지며, 불순물 확산에 대한 저항이 높고, 각종 알칼리계 이온에 대해 장벽(barrier) 역할을 하는 등 열산화막의 단점을 보완한다고 알려져 있다.[4] 그러나 질화된 산화막은 열산화막을 NH₃로 질화 시키기 때문에 NH₃의 열분해시 생성되는 수소에 기인하여 전자 트래핑이 증가하고, 계면상태가 증가하는 등의 문제점이 보고되었다.[4]

이에 반해, N₂O 가스로 성장시킨 열산화막은 수소에 기인하는 전자 트래핑 문제를 피할 수 있고, Si-SiO₂ 계면에서의 질소의 pile-up 에 의해 불순물 확산에 대한 장벽을

제공하며, [5] 또한 N₂O 산화는 N₂O 가스 내에 적은 양의 산소를 포함하여 희석된(dilute) 산소로 열산화하는 효과를 가져와, 산화막 두께를 얇게 제어할 수 있으므로 초박막의 게이트 산화막을 얻을 수 있다고 생각된다.

따라서, 본 연구에서는 N₂O 산화막의 특성을 연구하고자 전기로에서 온도와 시간을 변화시켜가며 N₂O 산화막을 성장시킨후, MOS 소자를 제작하여 N₂O 산화막의 성장률과 막내에 존재하는 전하들의 변화를 고찰하였다.

2. 실험

비저항이 1.5-4.0 [Ω-cm]이고 보론이 도핑된 P형 (100) 4 inch. 실리콘 웨이퍼를 표준 세척공정을 통하여 cleaning 한 후, 표 1과 같은 공정조건으로 전기로에서 산화시간을 달리하여 열산화막을 성장하였다. 그리고, 각 시편들은 N₂O 산화막내에 존재하는 전하들의 영향을 고찰하기 위하여 MOS 캐패시터를 제작하였다.

Table 1. Process Conditions for Oxidation.

	N ₂ O 산화	O ₂ 산화
산화온도	900°C, 1000°C	900°C
산화시간	40, 50, 60, 90분	40, 50, 60, 90 분
유량	1000 cc/min	1000 cc/min
결정방향	(100)	(100)
어닐링가스	N ₂	N ₂
유량	1000 cc/min	1000 cc/min
어닐링온도	400°C	400°C
어닐링시간	20분	20분

3. 결과 및 고찰

그림 1은 산화시간의 변화에 따른 산화막의 두께변화를 보이고 있다. 900°C와 1000°C에서 열산화한 N₂O 산화막의 두께는 900°C에서 열산화한 O₂ 산화막과 비교하여 두께가 매우 얇음을 알 수 있다. 이는 N₂O 가스로 산화하는 동안 질소가 산화막내로 확산하여, Si-SiO₂ 계면에 pile-up되어 실리콘과의 결합으로 질소풍부층(nitrogen rich layer)의 형

성이 산화제(oxidant)의 확산에 대한 장벽 역할을 함으로써 산화율을 떨어뜨리기 때문이라고 생각된다. 따라서 N_2O 가스에 의한 열산화는 두께 제어에 용이하여 얇은 게이트 산화막을 형성하는데 유리하다.

그림 2는 $900^\circ C$ 에서 각각 40, 50, 60 및 90분간 N_2O 가스 분위기에서 산화막을 성장시킨 후, 제작된 MOS 커패시터의 고주파 C-V 특성곡선을 보인것이다. 산화시간이 증가함에 따라 축적(accumulation)영역에서의 정전용량이 감소함을 보이는데, 이는 산화시간의 증가로 인해 산화막이 두꺼워졌기 때문이라고 생각한다.

그림 3은 $900^\circ C$ 에서 산화한 N_2O 산화막과 O_2 산화막의 플랫밴드전압의 변화율(shift)을, 그리고 그림 4는 O_2 산화막과 N_2O 산화막에 존재하는 이동성 전하밀도를 보여주고 있다. 플랫밴드전압의 변화율은 O_2 산화막과 N_2O 산화막의 경우 모두에서 산화시간이 증가함에 따라 점차 작아지고 있음을 보인다. 이동성 전하밀도 또한 산화시간이 증가함에 따라 모두 감소하였다. 이는 N_2O 가스로 산화하는 동안 질소가 산화막내로 pile-up되어 불순물에 대한 장벽역할을 하기 때문이라고 생각된다.

그림 5는 $900^\circ C$ 에서 산화한 O_2 산화막과 N_2O 산화막의 고정 전하밀도를 보인 것이다. N_2O 산화막에서는 처음 40분에서는 높은 값을 보였으나, 50분 이후는 점차 감소하였다. 이는 산화시간이 짧을때는 질소가 산화막의 표면에 존재하지만, 산화시간이 증가함에 따라 Si-SiO₂ 계면에 질소가 pile-up되어 strained Si-O 결합을 완화하기 때문에 점점 감소한다고 생각된다.

그림 6은 $900^\circ C$ 에서 산화한 O_2 산화막과 N_2O 산화막의 표면상태밀도를 보인것이다. O_2 산화막에 비해 N_2O 산화막의 경우에 표면상태밀도가 훨씬 낮음을 알수있다. N_2O 산화막에서는 처음 40분과 50분 사이에서 미소한 증가를 보이며, 50분 이후 차츰 감소하기 시작했다. 이는 Si-SiO₂ 계면에 pile-up된 질소가 계면의 strain을 완화(relaxing)시키기 때문으로 생각되며, 따라서 Si-SiO₂ 계면에서의 향상된 계면 특성은 Si-SiO₂ 계면의 질화에 기인한다고 할 수 있으며, N_2O 가스를 사용한 Si의 산화는 기존 O_2 산화막보다 우수한 계면 특성을 가지는 산화막을 얻을 수 있는 좋은 방법이라고 생각된다.

4. 결론

N_2O 가스로 열산화된 산화막은 수소가 함유된 species가 포함되지 않으므로 수소에 기인된 전자 트래핑 문제를 피할수 있고, Si-SiO₂ 계면에 질소가 pile-up되어 불순물 확산에 장벽을 제공하고, 또한 N_2O 가스는 적은 양의 산소를 포함하여 회석된 산소로 열산화하는 효과를 가져와 산화막 두께를 얇게 제어할 수 있다. 따라서 N_2O 가스로 열산화하는 방법은 종래의 열산화법과 같은 간단한 공정(one-step)으로 고품질의 초박막 게이트 산화막을 얻을 수 있을것으로 생각된다.

참고 문헌

1. H. Z. Massond et al., J. Electrochem. Soc., 132, 2685 (1985)
2. A. C. Adams et al., J. Electrochem. Soc., 127, 1787 (1980)
3. J. Pfister et al., IEEE Trans Electron Devices, ED-37, 1842 (1990)
4. T. Hori et al., IEEE Trans Electron Devices, ED-36, 340 (1989)
5. H. Whang et al., Appl. Phys. Lett., 57, 1010 (1990)

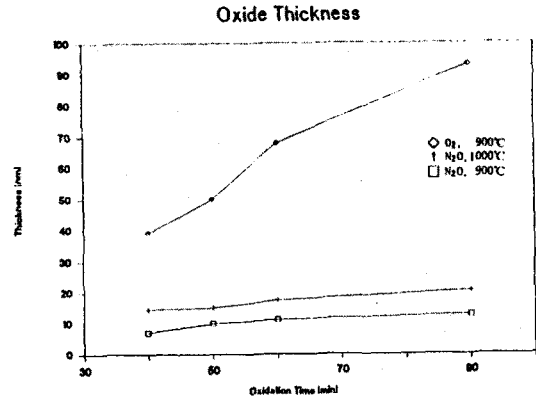


Fig. 1. Oxide Thickness vs Oxidation Times.

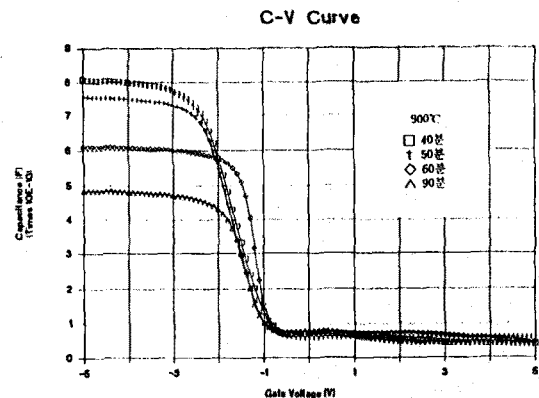


Fig. 2. High Frequency C-V Curves for Oxidation Times.

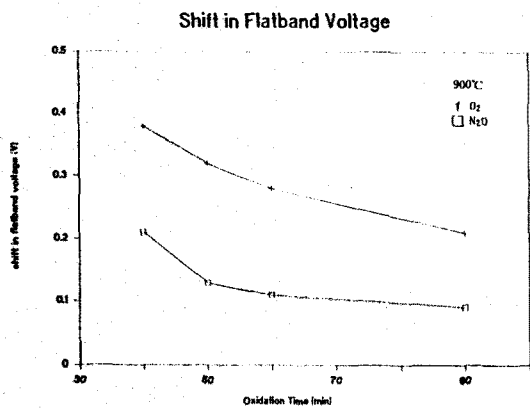


Fig. 3. Shifts in Flatband Voltage vs Oxidation Times.

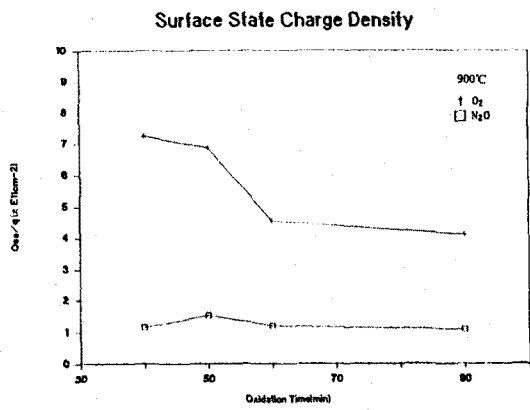


Fig. 6. Surface State Charge Density vs Oxidation Times.

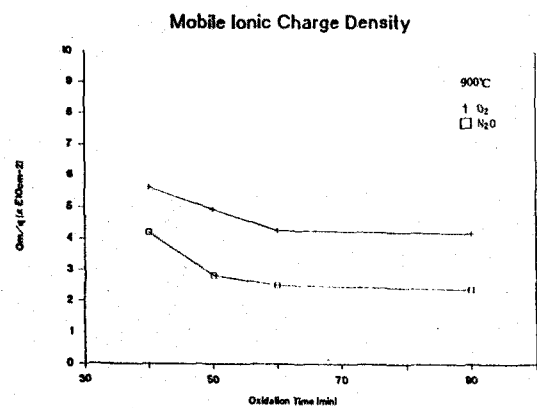


Fig. 4. Mobile Ionic Charge Density vs Oxidation Times.

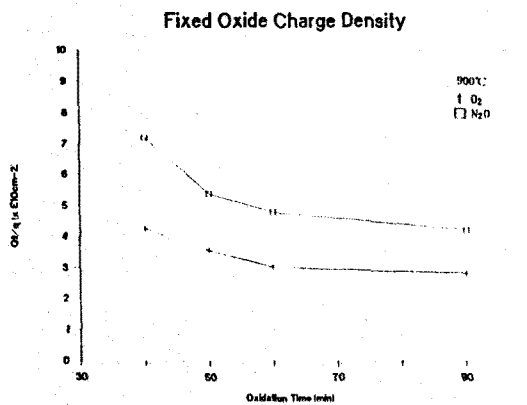


Fig. 5. Fixed Oxide Charge Density vs Oxidation Times.