

캐리어 트랩핑 모델 및 질화산화막의 트랩특성에 관한 연구

정양희

여수대학교 전기공학과

A Study on the Carrier Trapping Model and Trap Characteristics for Nitridation of Oxide

Yang-Hee Joung

Natl Yosu University

E-mail : jyanghee@yosu.ac.kr

ABSTRACT

In this paper, we discuss carrier trapping model and trap characteristics of nitrided oxide thin film. Based on the experimental results, the carrier trapping model for system having multi-traps is proposed and is fitted with experimental data in order to determine trap parameter of nitride oxide and O₂ annealed nitrided oxide. As a results of curve fitting, the heavy nitridation of oxide introduces three kinds of traps with capture cross section $\sigma_{n1}=1.48 \times 10^{-17} \text{cm}^2$, $\sigma_{n2}=1.51 \times 10^{-19} \text{cm}^2$, $\sigma_p=1.53 \times 10^{-18} \text{cm}^2$ and corresponding trap densities $N_{n1}=2.66 \times 10^{12} \text{Cm}^{-2}$, $N_{n2}=1.32 \times 10^{12} \text{Cm}^{-2}$, $N_p=8.35 \times 10^{12} \text{Cm}^{-2}$

키워드

LPCVD, MIS, RTN, RTO

I. 서 론

반도체 집적회로의 고집적화, 초미세화의 경향과 더불어 불순물 확산과 방사선 손상등에 대한 저항력 감소 그리고 전기적 특성 문제에 대응하기 위한 새로운 게이트 절연막이 요구되고 있다[1-3]. 일반적으로 사용되어지고 있는 산화막을 고온에서 열적으로 질화시켜 형성한 질화산화막은 기존의 산화막에 비해 불순물 확산 효과가 좋고, 높은 전기장의 스트레스에 대한 저항력등에 있어 잇점을 가지고 있으나[4-5] 문제점으로 산화막을 암모니아 분위기에서 열적으로 질화시키는 경우 질소와 수소의 확산에 의한 전자 트랩과 고정전하가 발생하고 Si/SiO₂ 계면 트랩의 특성이 변화되기 때문에 MOSFET 소자에서의 문턱전압 변동과 같은 불안정성과 열화 현상이 일어나는 것으로 알려져 있다 [6-7]. 따라서 본 논문에서는 이러한 질화산화막에서 제기되는 문제를 규명하고 막의 전기적 성질을 개선시키기 위하여 RTP(Rapid Thermal Process)법으로 산화막을 여러 가지 조건으로 질화시켜 MIS 캐패시터를 제작하였으며, 질화 조건에 따른 질화산화막의 캐리어 트랩핑 특성을 조사하였다. 또한 트랩의 성격을 밝히기 위해서 종류가 다른 여러 가지 트랩을 가지는 계에

대한 캐리어 트랩핑 이론식을 세워 이를 실험적인 결과와 curve-fitting 함으로써 질화산화막의 트랩 성질을 고찰하였다.

II. 시료제작 및 실험방법

1. 시료제작

본 실험에서는 비저항을 낮추기 위하여 Boron을 피크 농도가 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 으로 이온주입하여 비저항이 약 $0.3 \Omega \text{cm}$ 이고, 결정방향이 (100)인 p형 실리콘웨이퍼를 사용하여 950°C에서 H₂:O₂=1:2의 비율로 20분간 산화하여 $700 \times 10^{-10} \text{m}$ 두께의 초기 산화막을 형성한 후, RTP 반응로에서 NH₃가스를 흘리면서 연속적으로 Rapid Thermal Nitridation (RTN)하여 질화시켰다. RTN 온도는 900°C, 1100°C로 하였으며, RTN 시간은 30~120초 범위에서 수행하였고, 이들 RTN막중 일부는 1100°C의 dry O₂ 분위기에서 30초 동안 RTO 방법으로 열처리하였다. MIS 캐패시터의 전극은 LPCVD 법으로 폴리실리콘을 증착하고, PoCl₃를 도핑한후 dot mask를 써서 포토리소그래피와 플라즈마 에칭법으로 만든 폴리실리콘 게이트이다. MIS 캐패시터의 게이트

면적은 0.01cm²인 원형이다.

2. 실험방법

C-V측정에 사용한 Lock-in amplifier는 EG & PAR사의 모델 124A이며 본 실험에서는 high-frequency C-V를 측정하기 위해 내장된 100kHz의 신호를 이용하였다. 이 AC 신호는 linear ramp 발생기에서 발생하는 전압에 실려 MIS 캐패시터의 게이트 혹은 기판에 입력된다. 이때 MIS 캐패시터의 기판 혹은 게이트를 통해 흘러 나오는 전류는 전류 증폭기에 의해 AC 전압으로 증폭되고, Lock-in amplifier의 위상 검파기를 통해 전기용량 성분으로 분리된다. 이와같은 방법으로 상기 MIS 캐패시터 시료에 대한 어벌런치 주입 전,후의 C-V 곡선 측정으로부터 flatband 전압 변화량을 확인하였다. 어벌런치 주입은 WAVETEK사의 model 148A를 이용하여 주파수와 Vpp가 각각 160 Hz, 25볼트인 sinusoidal wave를 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

질화산화막의 전도대로 주입되는 전자는 초기에 낮은 운동 에너지를 갖고 전도대로 주입된다. 이들 중 일부는 질화산화막 사이에 인가된 전기장에 의하여 초기와는 달리 비교적 큰 운동 에너지를 갖게된다. 질화산화막의 전기장에 의해 가속된 전자중에서 일부는 이미 존재하고 있는 전자 트랩에 의하여 포획될 것이고, 나머지 전자들은 전자를 포획하고 있는 트랩과 충돌하여 전자를 detrapping 시켜서 양전하를 질화산화막내에 생성시키거나 band to band impact ionization을 일으켜서 전자-홀 쌍을 생성하여, 전자는 게이트로 드리프트되고 홀이 포획되어 양전하를 생성시킬 것으로 기대된다. 어느 경우나 생성된 양전하는 주입된 전자수에 의존하며 시간 t에 포획되는 양전하 Qp는

$$Q_p = \alpha T_{ox} \int J_n dt = \alpha T_{ox} Q_{inj} \quad (1)$$

여기서 J_n : injection current density
 T_{ox} : oxinitride thickness
 Q_{inj} : injection charge
 α : 양전하 발생률

이 경우 트랩이 홀을 포획하고 있기 때문에 coulombic center로 작용할 것이고 다시 전자를 포획할 것이 기대된다. 이러한 포획 전자밀도를 nT라 할

때 초기조건 t=0일 때 nT=0을 쓰면

$$nT = \alpha T_{ox} / \sigma_n (\sigma_p Q_{inj} / q + \exp[-\sigma_p Q_{inj} / q] - 1) \quad (2)$$

을 얻는다. 여기서 σ_p, σ_n은 양, 음으로 대전된 coulombic center에 의한 전자 및 홀의 포획 단면적이다.

또한 이미 존재하고 있는 전자트랩의 밀도를 Nn1으로 하고 이들 중에서 음으로 대전된 트랩 밀도를 nn1이라 할 때

$$nn1 = Nn1[1 - \exp(-\sigma_{n1} Q_{inj} / q)] \quad (3)$$

다른 하나의 전자트랩은 전자가 주입되면서 새롭게 생성되는 전자 트랩이다. 이 트랩의 밀도를 Nn2라 하고 이들 중 음으로 대전된 트랩 밀도를 nn2라 할 때

$$nn2 = Nn2[1 - \exp(-\sigma_{n2} Q_{inj} / q)] \quad (4)$$

을 얻을 수 있다. σ_{n1}, σ_{n2}는 각각 음으로 대전된 전자 트랩의 포획단면적이고, 질화산화막내에 새롭게 생성된 전자트랩의 포획단면적이다. 이들로부터 flatband 전압의 변화는

$$\Delta V_{FB} = -\{(X^+ / \epsilon_0 \epsilon_s) Q T_{pti} - X^- / \epsilon_0 \epsilon_s (qnn1 + qnn2)\} \quad (5)$$

여기서 X⁺, X⁻는 각각 양, 음전하의 charge centroid이며, QT_{pti}는 Q_p - qnT이다.

질화산화막을 절연막으로 갖는 MIS 캐패시터의 flatband 전압의 주입시간에 따른 변화량을 위의 이론식 (5)에 대입하여 계산한 이론값과 실험값을 그림 1~4에 나타내었다.

산화막을 900℃, 90초 동안 질화시킨 질화산화막의 avalanche injection에 따른 flatband 전압의 변화를 구한 것이 그림 1이다. 그림 1에서 곡선 A는 양(+)의 ΔVFB 값을 가지고 있고, 주입 전자에 대하여 가장 먼저 포화되기 때문에 이것은 이미 막내에 존재하고 있는 전자 트랩(트랩1)이 포화되는 과정으로 볼 수 있다. 곡선 B는 포획 단면적이 비교적 작은 전자 트랩(트랩 2)이 생성되고 있음을 의미하며, 곡선 C는 ΔVFB가 음의 값을 가지고 있는 것으로 보아 홀 트랩(트랩3)의 생성으로 해석되어진다.

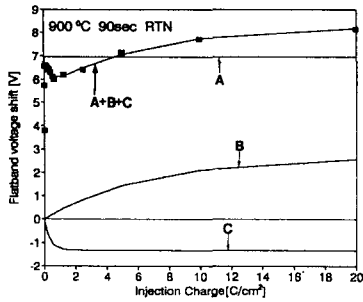


그림 1. flatband 전압에 대한 이론값과 실험치의 비교(900°C, 90sec RTN)
 Fig. 1. Comparison of flatband voltage shift for experimental data and theoretical curve fitting

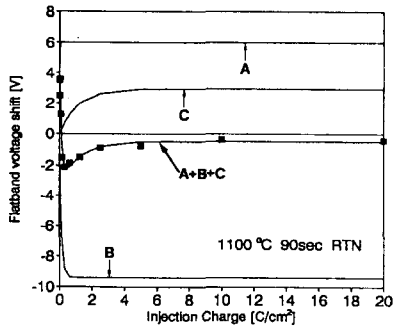


그림 2. flatband 전압에 대한 이론값과 실험치의 비교(1100°C, 90sec RTN)
 Fig. 2. Comparison of flatband voltage shift for experimental data and theoretical curve fitting

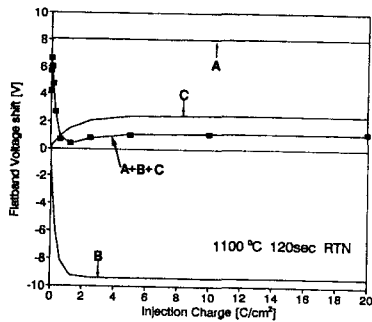


그림 3. flatband 전압에 대한 이론값과 실험치의 비교(1100°C, 120sec RTN)
 Fig. 3. Comparison of flatband voltage shift for experimental data and theoretical curve fitting

산화막을 1100°C, 90초동안 질화시킨 질화산화막의 flatband 전압의 변화는 그림 2와 같다. 그림 2에서 보는 바와같이 곡선 A는 양의 ΔV_{FB} 값을 가지고 있고, 가장 먼저 포화되는 것으로 보아 이미 질화산화막내에 존재하고 있던 전자 트랩(트랩1)이며, 곡선 B는 ΔV_{FB} 가 음의 값을 가지고 있는 것으로 보아 홀 트랩(트랩3)의 생성이라고 볼 수 있다. 그림 1과 2를 비교해 보면 900°C, 90초동안 질화시킨 경우 보다 1100°C, 90초동안 질화 시킨 경우에 더 많은 양(positive) 전하의 축적이 일어나고 있음을 알 수 있다. 그림 3은 1100°C, 120초 동안 질화시킨 질화산화막의 ΔV_{FB} 값의 변화를 나타내고 있다. 곡선 A는 질화산화막에 이미 존재하고 있는 전자 트랩(트랩1)이고, 곡선 B는 홀 트랩(트랩3)이며, 곡선 C는 새로운 전자 트랩(트랩2)의 생성으로 해석 된다. 이 경우에도 1100°C, 90초 동안 질화시킨 질화산화막 보다 양(positive) 전하의 축적이 증가 하였음을 알 수 있다.

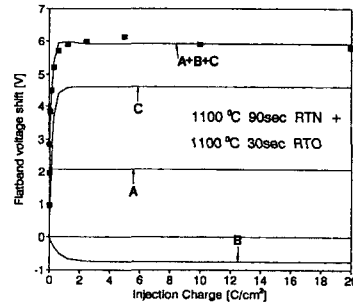


그림 4. flatband 전압에 대한 이론값과 실험치의 비교(1100°C, 90sec RTN+RTO)
 Fig. 4. Comparison of flatband voltage shift for experimental data and theoretical curve fitting

그림 4는 1100°C, 90초 동안 질화시킨 질화산화막을 O₂ 가스로 30초동안 열처리 한 시료의 ΔV_{FB} 값의 변화를 나타낸 것으로 양전하의 축적이 1100°C, 90초 동안 질화시킨 질화산화막보다 감소 했음을 알 수 있다. 여러 질화조건으로 형성한 질화산화막에 대한 실험값을 이론식 (5)와 curve fitting하여 질화산화막의 트랩 파라미터를 결정하였고 그 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1에서 보면 트랩 1은 포획 단면적이 $1.01 \times 10^{-17} \sim 1.91 \times 10^{-17} \text{ cm}^2$ 이고 트랩 밀도가 $9.15 \times 10^{11} \sim 3.58 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 이 되어 비슷한 성질을 가지고 있다. 이러한 결과로부터 질화에 의한 트랩의 성질이 거의 변화하지 않는다는 것을 볼 수 있어 질화하기 이전에 이

미 산화막내에 존재하고 있는 트랩임을 알 수 있다. 트랩2, 3은 표 1의 결과로부터 질화에 따라 포획 단면적과 트랩 밀도가 변화하였음을 알 수 있다. 따라서 이 트랩들은 질화에 따라 산화막내에 새로이 생성된 트랩임을 알 수 있다.

표 1. 포획단면적과 트랩 밀도

Table 1. The capture cross-section and density of trap under avalanche injection

process cond.	Trap1		Trap2		Trap3	
	σ_{n1} cm ²	N_{n1} Cm ⁻²	σ_{n2} cm ²	N_{n2} Cm ⁻²	σ_p cm ²	N_p Cm ⁻²
900℃ 90sec RTN	1.36 × 10 ⁻¹⁷	3.01 × 10 ¹²	2.58 × 10 ⁻²⁰	1.20 × 10 ¹²	4.80 × 10 ⁻¹⁹	1.19 × 10 ¹²
1100℃ 90sec RTN	1.48 × 10 ⁻¹⁷	2.66 × 10 ¹²	1.51 × 10 ⁻¹⁹	1.32 × 10 ¹²	1.53 × 10 ⁻¹⁸	8.35 × 10 ¹²
1100℃ 120sec RTN	1.27 × 10 ⁻¹⁷	3.58 × 10 ¹²	1.27 × 10 ⁻¹⁹	1.10 × 10 ¹²	5.42 × 10 ⁻¹⁹	8.35 × 10 ¹²
1100℃ 90sec RTN + RTO	1.01 × 10 ⁻¹⁷	9.15 × 10 ¹²	8.38 × 10 ⁻¹⁹	2.04 × 10 ¹²	3.01 × 10 ⁻¹⁹	6.71 × 10 ¹²

참고문헌

[1] Y. Hayafuji and Kajiwara, J. Electrochem. Soc., vol. 129, p 2102. 1982
 [2] E. Harari, Appl. Phys. Lett., vol. 30, p 601. 1977
 [3] T. Distefano, J. Appl. Phys., vol. 44, p 527. 1973
 [4] Pancholy and Erdmann, IEEE Trans. Nucl. Sci., vol NS-30 p. 4141. 1983
 [5] F.L.Terry, R.J.Aucion, M.L.Naiman and S.D.Senturia, IEEE Electron Devices Lett., vol. EDL-4, p191. 1983
 [6] T.Kusaka, A.Hiraiwa and K.Mukai, J. Electrochem. Soc., vol. 135, p166. 1988
 [7] A.Gupta and K.P.Roenker, IEEE Trans., Electron Devices, vol.ED-36, p577. 1989

IV. 결 론

이상의 결과로부터 질화산화막내에는 여러 가지 트랩이 존재함을 확인 할 수 있었으며 질화시간이 길어지고, 질화 온도가 증가하면 새롭게 생성되는 트랩 밀도가 증가하였다. 비교적 적은양의 증가이지만 트랩 밀도가 증가하면 소자의 동작 특성이 나빠지기 때문에 산화막을 질화시킬 때 질화시간은 짧게 질화 온도는 되도록 낮게 하는 것이 양질의 절연막을 얻을수 있는 방법으로 판단된다. 또한 질화가 심한 시료도 산소 가스를 사용하여 열처리하면 트랩 밀도가 감소함을 확인 함으로써 질화산화막을 산소가스로 열처리하는 것이 바람직 하다고 판단된다.