

論文 90-27-5-11

연속적 급속열처리법에 의한 재산화질화산화막의 특성

(Characteristics of Reoxidized-Nitrided-Oxide Films Prepared by Sequential Rapid Thermal Oxidation and Nitridation)

盧泰文*李璟秀*李仲換*南基守*

(Tae Moon Roh, Kyoung Soo Yi, Joong Whan Lee, and Kee Soo Nam)

要 約

연속적 급속열처리법으로 산화막(RTO막)과 질화산화막(NO막), 재산화질화산화막(ONO막)을 형성하였으며, 이때의 절연막의 조성 변화 및 전기적 특성에 대하여 조사하였다. 절연막의 조성 변화는 Auger electron spectroscopy(AES)로 깊이 방향 조성 분석을 행하였는데, RTO막을 질화시킬때 질화 반응은 Si/SiO₂ 계면과 SiO₂ 표면에서 우선적으로 일어났다. 또한 NO막이 재산화됨에 따라 ONO막 내의 질소 원자 농도[N]가 감소하였으며, 특히 표면에서 [N]의 감소가 크게 일어났다. 질화 정도가 약할 수록 재산화가 진행됨에 따라 두께 증가가 더 많이 일어났다. RTO막과 NO막, ONO막의 전기적 특성은 I-V와 고주파(1MHz) C-V, 정전류 stress후 고주파 C-V를 조사하여 이루어졌다. 8nm 두께의 RTO막을 NH₃ 분위기에서 950°C, 60초 동안 질화시키고, O₂ 분위기에서 1100°C, 60초 동안 재산화시킨 ONO막이 RTO막과 NO막 보다 더 높은 절연과피전압을 가지며, 고전계하에서 더 적은 flat band 전압 변화를 가지는 우수한 전기적 특성을 나타내었다.

Abstract

Oxide (RTO), nitrided-oxide (NO), and reoxidized-nitrided-oxide (ONO) films were formed by sequential rapid thermal processing. The film composition was investigated by Auger electron spectroscopy (AES). The Si/SiO₂ interface and SiO₂ surface are nitrided more preferentially than SiO₂ bulk. When the NO is reoxidized, [N] (atomic concentration of N) in the NO film decreased; especially, the decrease of [N] at the surface is considerable. The weaker the nitridation condition is, the larger the increase of thickness is as the reoxidation proceeds.

The electrical characteristics of RTO, NO, and ONO films were evaluated by I-V, high frequency (1 MHz) C-V, and high frequency C-V after constant current stress. The ONO film-which has 8 nm thick initial oxide, nitrided in NH₃ at 950 °C for 60 s, reoxidized in O₂ at 1100°C for 60 s-shows good electrical characteristics such as higher electrical breakdown voltage and less variation of flat band voltage under high electric field than RTO, and NO films.

I. 서 론

*正會員, 韓國電子通信研究所
(Electronics and Telecommunications Research
Institute)

接受日字: 1990年 3月 5日

MOSFET (metal-oxide-semiconductor field effect transistor)의 크기가 감소함에 따라 게이트 절연막의 두께가 감소하여 게이트 절연막에 고전계가 인가되게 되었다. 이에 따라 MOSFET의 게이트에 더욱

더 신뢰성이 높은 절연막이 요구되어, 고전계에서 계면전하 생성에 대한 저항성이 크고, 불순물 침입에 대한 장벽 특성이 우수한 열질화산화막에 대한 연구가 많이 되어 왔다.¹⁻³ 그러나 이들 대부분 연구는 고온 전기로를 이용한 것으로 불순물 재분포 등의 단점을 가지고 있기 때문에 최근에는 급속열처리법에 의한 질화산화막(이하 NO막)에 대한 연구가 진행되어 오고 있다.^{4,5} 이러한 NO막에 있어서 NH₃를 이용한 질화반응을 이용하므로 NH₃가 분해할 때 생성되는 H, O-H, N-H와 같이 H를 포함하는 화학 결합이 NO막내에 존재하게 되어서 전자 트랩으로 작용하게 된다.⁶⁻⁸ 최근에는 이러한 NO막을 O₂ 분위기에서 재산화시키면 전자 트랩 특성과 계면전하 생성 등의 문제점이 개선된다고 보고되었다.^{1,7,9} 이와 같이 NO막을 재산화시킨 재산화질화산화막(이하 ONO막)이 차세대 MOS 게이트 절연막으로서 사용되어질 것으로 기대된다.

본 논문에서는 연속적 급속열처리법을 이용하여 RTO막과 NO막, ONO막을 형성하였다. 먼저 절연막의 성분 변화를 분석함으로써 NO막과 ONO막의 형성 과정을 규명하고자 하였다. 따라서 NO막과 ONO막의 질화 공정과 재산화 공정 조건을 변화시키면서 NO막과 ONO막에서의 성분 변화를 AES를 사용하여 깊이 분석을 행하였다. 절연막의 전기적 특성을 조사하기 위하여 I-V 및 고주파 C-V 그리고 정전류 stress 후에 고주파 C-V 특성 변화를 살펴보았다.

II. 실험방법

사용된 절연막들은 5인치 P형 6~9Ω·cm, (100)면 지수를 갖는 Si 웨이퍼를 세척한 후 할로겐 램프에 의해 radiation heating 되는 급속열처리로에 넣고 산소와 암모니아 등의 분위기에서 각각 산화와 질화를 연속적으로 행하여 제작하였다. 이때 시간에 따른 온도와 가스의 변화를 그림 1에 나타내었다. 실험은 산화막을 성장시킨 것(RTO막), RTO막을 질화시킨 것(NO막), NO막을 재산화시킨 것(ONO막)으로 분류하였다. 그림 1에서 초기 산화막, RTO막은 O₂ 분위기에서 1100°C 30초 동안 산화시킨 것으로, ellipsometer에 의한 두께 측정 결과는 약 8nm였다. RTO막을 질화시킨 NO막은 그림 1 (b)에서 처럼 산화후 연속해서 질화를 시켰으며, NO막을 다시 재산화시킨 ONO막은 그림 1 (c)에서 처럼 1100°C에서 60초 동안 재산화시켰다. 전기적 특성을 조사하기 위해서 LOCOS(local oxidation of silicon) 방법에 의해 capacitor를 만들어 I-V 및 고주파 C-V, 정전

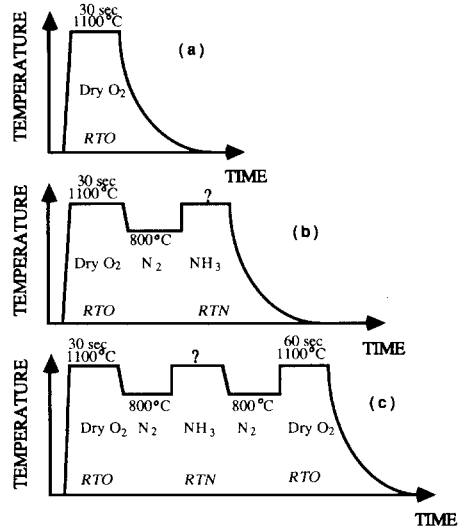


그림 1. 급속열처리법에 의한 재산화질화산화막 형성 과정에서의 온도 및 가스의 변화 (a) 초기산화막 (b) 질화산화막 (c) 재산화질화산화막

Fig. 1. Temperature profiles and gas changes of RTP in reoxidized-nitrided-oxide film formation.

- (a) RTO film,
- (b) NO film,
- (c) ONO film.

류 stress 후의 고주파 C-V 특성 변화 등을 살펴 보았으며, capacitor의 전극은 n⁺ 다결정 실리콘 위에 Al-1% Si을 증착하여 제작했다.

이러한 NO막과 ONO막의 조정을 분석하기 위해서는 AES를 이용하여 Ar⁺ 이온으로 sputtering하며 깊이 조성 분석을 행하였다. 이때 절연막의 계면은 Si-LMM 피크 강도 변화를 원자분율로 나타낸 그림 2(a)와 (b)에서 Si 기관에서의 Si 농도와 형성된 NO막이나 ONO막에서의 최저 Si 농도의 차이에 대한 기준으로 Si 농도 84%와 16%되는 두점의 가운데를 계면으로 정의하였다.

III. 실험결과 및 고찰

급속열처리로에서 1100°C에서 30초 산화시켜 얻은 8nm 두께의 RTO막을 질화시켜 얻은 NO막과 NO막을 재산화시켜 얻은 ONO막의 AES에 의한 깊이 분석 결과의 대표적인 예를 그림 2에 나타내었다. 그림 2(a)에서의 질화 조건은 NH₃ 분위기에서 1100°C 60

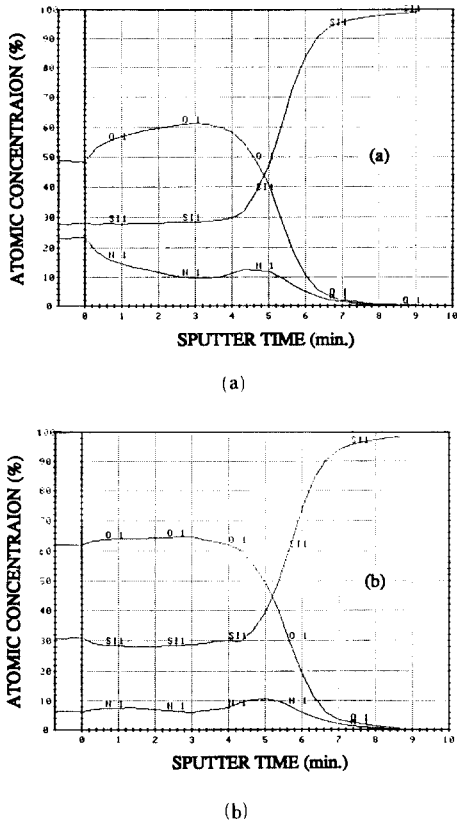


그림 2. NO막과 ONO막에 대한 AES 깊이 분석 결과

- (a) NO막 (질화조건 : 1100°C, 60초)
- (b) ONO막 (질화조건 : 1100°C, 60초;
재산화조건 : 1100°C, 60초)

Fig. 2. AES depth profiles of NO and ONO films.
(a) NO film, (nitridation condition : 1100°C, 60sec)
(b) ONO film, (reoxidation condition : 1100°C, 60sec)

초인데, N의 농도, [N]를 살펴보면 표면에서는 약 23원자%로 존재하다가 안으로 들어 갈수록 [N]가 작아져 약 10원자%로 감소하다가 다시 계면에서 약 13원자%로 증가했다가 감소함을 보였다. 계면에서 질소 원자가 많이 존재하는 것은 Si와 SiO₂막의 계면에 존재하는 비정상적인 Si-O 결합 (strained Si-O bond) 등이 많이 존재하는데,⁽¹⁰⁾ 이러한 결합 때문에 계면에서 질소 원자가 많이 쌓이고, 표면에서는 질소 원자의 공급이 계속되기 때문에 질소 원자가 많이 존재한다. 이러한 NO막을 O₂ 분위기 1100°C에서 60초 동안 재산화시킨 ONO막에 대한 AES 깊이 분석 결과인 그림 2 (b)를 살펴보면, 표면과 계면에 많

이 존재하던 질소 원자가 각각 약 6, 10원자%로 감소하였다. 이때 AES 분석 결과에 의하면 ONO막의 두께가 약 0.6nm 증가하였다. 따라서 NO막을 재산화시킬 때 NO막 내의 질소 원자가 많이 빠져나가고 있음을 알 수 있다.

NO막과 ONO막에서의 원자 조성이 질화 조건에 따라 어떻게 변화하는지 살펴보기 위해 먼저 NO막에서 질화 시간은 120초로 일정하게 하고 질화 온도를 700°C에서 1100°C까지 변화시킬 때 표면과 계면에서의 질소 원자 농도 변화를 그림 3에 나타내었다. 질화 온도가 증가할 때 표면과 계면 모두에서 질소 원자량은 증가함을 보였다. 그런데 약 950°C 이하에서는 표면보다 계면에서의 질소 원자가 더 많이 존재하고 있지만, 약 1000°C 이상에서는 계면에서의 질소 원자가 더 많았다. 그림 3의 결과를 온도의 역수에 대한 농도 변화의 형태로, 즉 Arrhenius 형태로 그려 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 표면과 계면에서의 결보기 활성화 에너지를 구하여 보면 각각 20kcal/mole과 12 kcal/mole로서 열역학적 측면에서는 계면쪽에서의 질화 반응이 더욱 쉬운 것을 알 수 있다.

그림 5는 1100°C에서 30초 동안 산화시켜 얻은 RTO막을 NH₃ 분위기에서 각각 950°C, 1100°C에서 질화 시간을 변화시키면서 얻은 NO막과 이를 다시 O₂ 분위기에서 1100°C 60초 동안 재산화시킨 ONO막에서의 표면과 계면에서의 [N] 변화를 나타내었

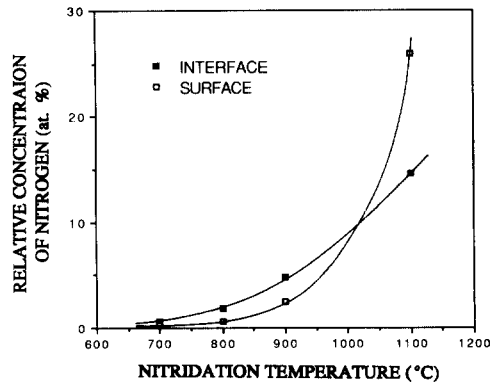


그림 3. NO막에서 질화온도에 따른 표면과 계면에서 [N] 변화 (질화시간 : 120초)

Fig. 3. [N] of surface and interface in NO films as the nitridation temperature. (nitridation time : 120sec)

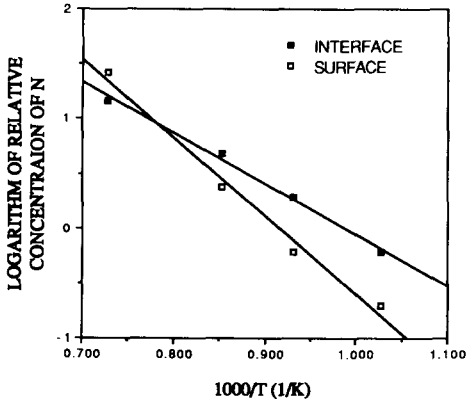


그림 4. NO막에서 질화온도 역수에 대한 표면과 계면에서의 [N]의 logarithm 값의 변화 (질화시간 : 120초)

Fig. 4. Logarithm of [N] of surface and interface vs reciprocal nitridation temperature in NO films. (nitridation time : 120 sec)

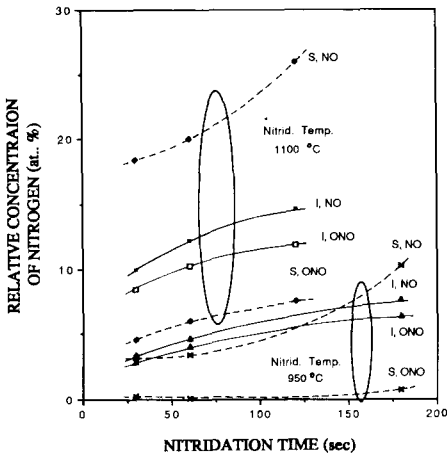


그림 5. 950°C, 1100°C에서 각각 질화시킨 NO막과 이를 다시 1100°C 60초 재산화시킨 ONO막에서 질화시간에 따른 계면과 표면에서의 [N] 변화

Fig. 5. [N] of surface and interface of NO films and ONO films that were reoxidized at 1100°C for 60 sec, as nitridation time. (S : surface, I : interface)

다. 실선으로 나타낸 것은 계면에서의 [N] 변화이며, 점선으로 나타낸 것은 표면에서의 [N] 변화이다. 표면과 계면에서의 [N] 변화를 살펴보면 950°C에서 질

화시킨 NO막 보다 1100°C에서 질화시킨 NO막의 [N]가 더 큰 것을 알 수 있으며, 질화 시간이 증가함에 따라 [N]가 증가함을 보이고 있다. 한편, 질화 온도와 시간에 따른 계면과 표면의 [N]을 살펴보면, 질화 온도가 950°C일 때 질화 초기에는 계면의 [N]가 표면의 [N]보다 커지만 질화 시간이 증가하면 계면의 [N]보다 표면의 [N]이 더 많음을 알 수 있다. 그러나 질화 온도가 1100°C인 경우에는 질화 초기부터 표면의 [N]이 계면의 [N]보다 많음을 알 수 있다.

이상의 조성 분석 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다. 약 950°C 이하의 낮은 온도에서는 질화 초기에 질소 원자가 산화막의 내부를 쉽게 확산하여 들어가 계면에 존재하는 비정상적인 Si-O 결합 등의 결합으로 인하여 계면에 축적되면서 표면보다 많이 질화되다가, 점점 질화가 진행됨에 따라 절연막 내부의 질화 정도도 증가되면서 절연막 내부에서의 질소 원자의 확산이 점점 어려워져 표면의 [N]이 계면의 [N]보다 더 많아지게 된다. 그러나 약 1100°C 이상의 고온에서는 질화 초기에도 표면에서 질화 반응이 충분히 일어날 수 있으며, 질화 반응이 일어나는데 필요한 질소 원자의 양이 산화막 내에서 확산에 의해 제어받는 계면에서 보다 표면에서 훨씬 더 많이 존재하기 때문에 질화 후에 존재하는 표면의 [N]이 계면의 [N]보다 많아지게 되는 것으로 생각된다.

또한 이러한 NO막을 재산화시켜 ONO막을 만들면 계면에서와 표면에서 모두 [N]가 감소함을 보이고 있다. 특히 표면에서의 [N] 감소는 계면에서의 [N] 감소에 비해서 크게 나타남을 알 수 있는데, 1100°C에서 질화시킨 NO막과 ONO막을 살펴보면 표면에서의 [N] 감소 정도는 계면에서보다 약 7~8배 정도 크게 감소함을 보이고 있다.

그림 6은 950°C와 1100°C에서 각각 30초, 60초 동안 질화시킨 NO막을 다시 재산화시켰을 때 두께의 증가 정도를 나타내었는데, 질화 온도가 높을 수록 또한 질화 시간이 길수록 재산화 과정에서 두께 증가가 적게 나타남을 알 수 있다. 이것은 질화가 많이 될수록 산소 원자와 질소 원자의 확산이 어려워져 두께가 적게 증가하는 것으로 생각된다.

그림 7에서는 초기 산화막인 8nm 두께의 RTO막과 이것을 NH₃ 분위기 950°C에서 60초 동안 질화시킨 NO_L막과 1100°C에서 60초 동안 질화시킨 NO_H막, NO_L막, NO_H막을 각각 연속해서 O₂ 분위기 1100°C에서 60초 동안 재산화시킨 ONO_L막, ONO_H막에 대한 I-V 특성을 나타내었다. 이때 사용된 capacitor의 면적은 0.16mm²이다. 각 박막의 절연과 피전압을 측정할 결과 질화가 많이 된 NO_H막은 RTO막 보다

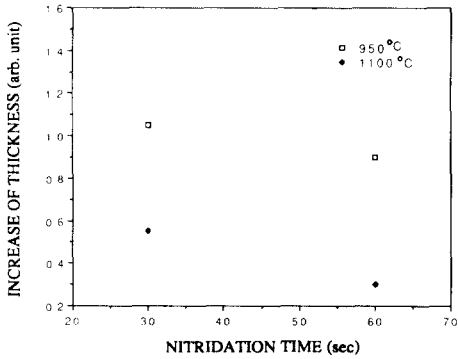


그림 6. 950°C, 1100°C에서 각각 30, 60초 질화시킨 NO막을 재산화시킬 때 두께 증가량의 변화
 Fig. 6. The increase of thickness of ONO film at the nitridation temperature of 950°C and 1100°C, and the time of 30 sec and 60 sec, respectively.

절연과괴전압이 낮고, 질화가 적게 된 NO₂막은 절연과괴전압이 RTO막 보다 약간 높게 나타났다. 재산화된 ONO_L, ONO_H막은 재산화 과정에서 두께 증가 효과와 annealing 효과에 의하여 절연과괴전압이 증가함을 보였다.

RTO막과 NO막, ONO막의 전도 특성을 살펴보기 위하여 Fowler-Nordheim 전도에 관한 식(1)을 이용하여 F-N 특성을 그림 8에 나타내었다.

$$J = \frac{(q^3 E_{eff}^2 / 8 \pi h \Phi_{eff}) \exp \{-4(2m)^{1/2} \Phi_{eff}^2 / 3 \hbar q E_{eff}\}}{3 \hbar q E_{eff}} \quad (1)$$

여기서, h는 Plank 상수, $\hbar = h/2\pi$, q는 전자량, E_{eff} 는 유효전장, Φ_{eff} 는 유효전위장벽 높이, m_0 는 자유전자 질량, m은 유효전자 질량(=0.5 m_0)이다. 절연막의 유효전장을 구하기 위해 먼저 절연막의 capacitance를 실리콘 산화막의 유전율(비유전율: 3.9)로 나눠서 유효 두께를 구한 후, 게이트에 인가된 전압을 유효 두께로 나눠서 유효전장을 구하였다. 그림 8에서 구한 RTO막과 NO_H막, ONO_H막의 유효전위장벽 높이는 각각 3.2eV 및 2.4eV, 2.9eV 였다. RTO막의 유효전위장벽 높이는 P. Pan의 연구 발표와 잘 일치하며,^[11] RTO막이 질화될 때 유효전위장벽 높이가 감소하였다가 재산화 과정에서 다시 증가함을 보이고 있다.

그림 9에서는 RTO막과 NO막, ONO막에 대한 고주파 C-V 특성을 나타내었다. RTO막을 질화시킨 NO_H막과 NO_L막의 capacitance는 각각 691, 678 pF

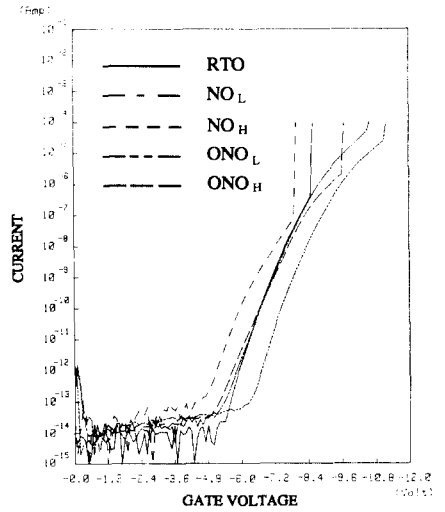


그림 7. 8nm 두께의 RTO와 NO_L, NO_H, ONO_L, ONO_H막에서의 I-V 특성변화
 (NO_L, ONO_L 질화조건: 950°C, 60초; NO_H, ONO_H 질화조건: 1100°C, 60초)
 Fig. 7. I-V characteristics of 8nm RTO, NO_L, NO_H, ONO_L and ONO_H films.
 (NO_L, ONO_L nitridation condition: 950°C, 60sec; NO_H, ONO_H nitridation condition: 1100°C, 60sec)

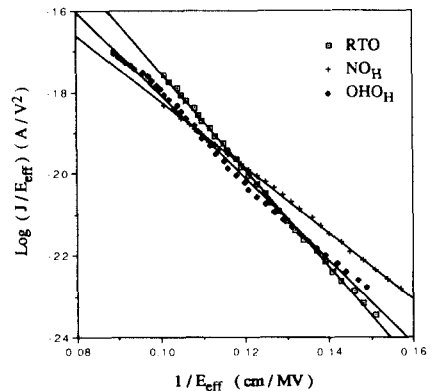


그림 8. 8nm 두께의 RTO와 NO_H, ONO_H막의 Fowler-Nordheim 특성
 (질화조건: 1100°C, 60초; 재산화조건: 1100°C, 60초)
 Fig. 8. Fowler-Nordheim characteristics of 8nm RTO, NO_H and ONO_H films.
 (nitridation condition: 1100°C, 60 sec; reoxidation condition: 1100°C, 60 sec)

이었다. RTO막에 비해서 NO_H막과 NO_L막의 capacitance가 증가하는 것은 그림2 와 그림3, 그림5 에 나타낸 바와 같이 산화막이 질화됨에 따라 유전율이 증가했기 때문이다. 또한 질화 온도가 높은 NO_H 막이 NO_L막 보다 더 큰 capacitance를 보이는 것은 질화가 더 많이 되었기 때문이다. 그리고 NO_H막과 NO_L막을 재산화시키면 capacitance가 각각 654, 602 pF으로 감소하였다. 이것은 RTO막의 capacitance 645 pF와 비슷하거나 더 낮은 값이다. 이와 같이 capacitance가 재산화됨에 따라 감소하는 것은 그림2와 그림5, 그림6에서 살펴본 바와 같이 재산화 과정에서 [N]가 감소함과 동시에 막의 두께가 증가했기 때문이다.

또한 RTO와 NO_L, NO_H, ONO_L, ONO_H막의 flat band 전압 변화(ΔV_{fb})를 살펴보면 NO_L막과 ONO_L막은 RTO막에 비해 -0.12V 변화했고, NO_H 막과 ONO_H막은 RTO막에 비해 -0.24V 변화했다. NO_L막과 NO_H막을 재산화시켰을 때에는 flat band 전압 변화는 없었다. 이 결과에서 고온에서 질화한 것이 더 많은 고정 전하를 갖고 있음을 알 수 있다.

RTO막 및 NO막, ONO막의 charge trapping 특성을 조사하기 위하여 정전류 stress 방법을 사용하였다. 이때 사용된 capacitor의 면적은 0.01mm² 이다. ±0.1mA/cm² 정전류 stress를 500 및 5000초 동안 가한 후 고주파 C-V 특성 변화를 그림10에 나타내었다. 그림10에서 (a)는 8nm 두께의 초기 RTO막, (b)는 NO_L막, (c)는 NO_H막, (d)는 ONO_L막, (e)는 ONO_H막에 대한 측정 결과이다. RTO막을 -0.1mA/cm²로 5000초 동안 stress를 가한 후에 ΔV_{fb}는

-0.08V이다. NO_L막을 -0.1 및 +0.1mA/cm²로 5000초 동안 stress를 가한 후 ΔV_{fb}는 각각 +0.1V 와 +0.2V이다. NO_H막은 질화 공정중 NH₃가 분해되면서 생기는 수소의 영향으로 NO막 내에 전자 트랩이 많이 생성되어 정전류 -0.1 및 +0.1mA/cm²로 500초 동안 stress를 가한 후 C-V를 측정한 결과 ΔV_{fb}가 각각 +1.40V 및 +0.47V로 RTO막에 비하여 ΔV_{fb}가 (+)방향으로 크게 변화하였다. 또한 NO_L막이나 NO_H막은 stress후 C-V 곡선의 기울기가 크게 변화하는 것으로 보아 계면 상태가 매우 나빠짐을 알 수 있다. 한편 capacitor 전극에 (-) 및 (+) 정전류 stress를 가함에 따라 ΔV_{fb}가 다른 것은 트랩에 포획된 전자의 위치가 다르기 때문이다. 특히 (-) 정전류 stress를 가할 때에 주입된 전자는 직접적으로 Si/SiO_xN_y 계면에 damage를 주어 많은 계면 상태를 유발함을 알 수 있다. 이러한 NO막을 재산화시켰을 때, 전자 트랩과 계면 결합이 현격히 줄어들었는데, NO_H막을 재산화시킨 ONO_H막을 -0.1 및 +0.1mA/cm²로 500초 동안 stress를 가한 후 ΔV_{fb}가 각각 +0.92V 및 +0.24V이며, 특히 NO_L막을 재산화시킬 경우 -0.1 및 +0.1mA/cm²로 5000초 동안 정전류 stress를 가한 후 ΔV_{fb}가 각각 -0.01V 및 +0.01V로 정전류 stress에 대한 ΔV_{fb}와 계면 상태의 변화가 거의 없는 고신뢰성 ONO_L막을 얻을 수 있었다.

IV. 결 론

연속적 급속열처리법을 이용하여 8nm두께의 RTO막과 RTO막을 연속해서 질화시켜 얻은 NO막과 NO막을 재산화시켜 얻은 ONO막에 대하여 화학적 성분 변화 및 전기적 특성 변화를 살펴 본 결과 다음과 같은 결론들을 얻었다. 첫째, 급속열처리법으로 RTO막을 질화시킬 때 질화 반응은 산화막의 계면과 표면에서 우세하게 일어났으며, 특히 저온(950℃ 이하)에서는 표면보다 계면에서 질화 반응이 우선적으로 일어났으며, 시간이 경과하게 되면 계면보다 표면에서의 질화된 양이 더 크게 되었다. 그러나 고온(1100℃)에서는 질화 초기부터 계면이 표면보다 질화가 많이 일어났다. 둘째, RTO막을 질화시킨 NO막은 고온에서 질화시킨 것이 더 많이 질화되었으며, 이러한 NO막을 재산화시킬 때 계면과 표면 모두에서 [N]이 감소하였다. 특히 표면에서의 [N] 감소는 현격하게 일어났다. 셋째, RTO막이 질화됨에 따라 유효전위장벽 높이(3.2eV)가 감소하였으며, 질화된 NO막이 재산화되면서 유효장벽 높이가 다시 증가하였다. 넷째, 고주파 C-V 특성을 측정한 결과 RTO막

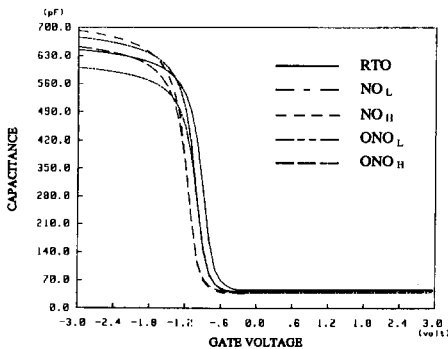


그림 9. 8nm 두께의 RTO와 NO_L, NO_H, ONO_L, ONO_H 막에서의 고주파 C-V 특성 변화
 Fig. 9. High frequency C-V curves of 8nm RTO, NO_L, NO_H, ONO_L and ONO_H films.

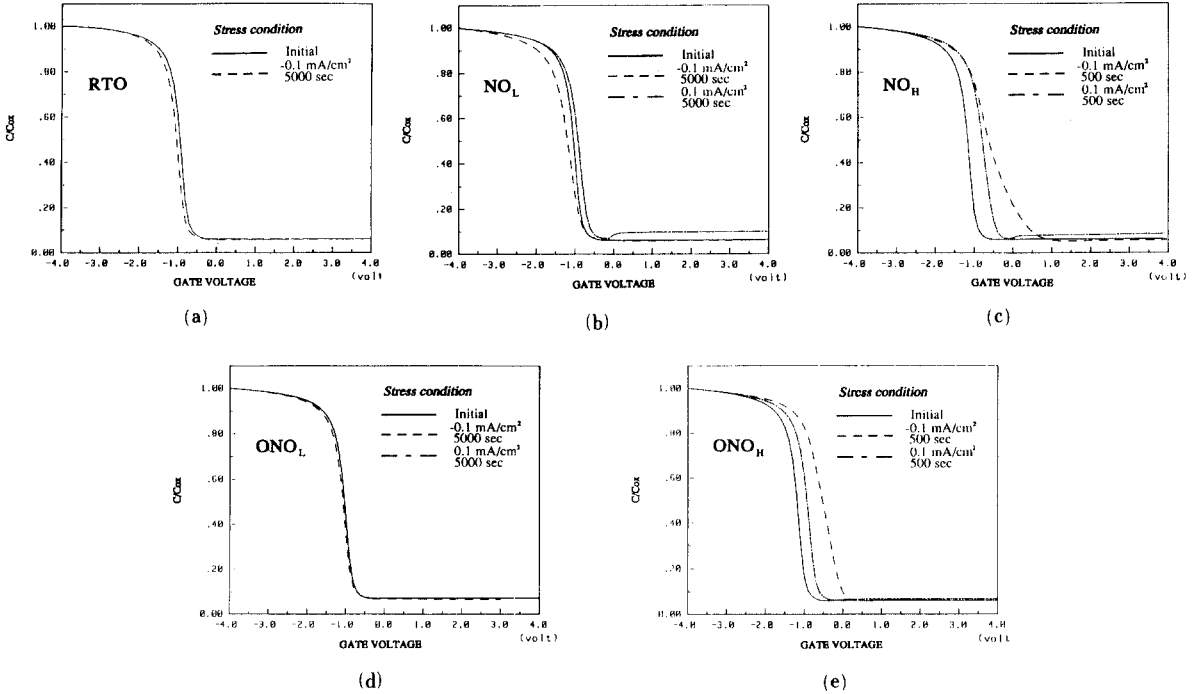


그림10. 8nm 두께의 RTO와 NO_L, NO_H, ONO_L, ONO_H 막에서 stress 조건에 따른 고주파 C-V 특성 곡선의 변화
 (a) 8nm RTO막 (b) NO_L막 (c) NO_H 막 (d) ONO_L막 (e) ONO_H막

Fig. 10. Variation of high frequency C-V characteristics of 8nm RTO, NO_L, NO_H, ONO_L and ONO_H films as stress conditions.
 (a) 8nm RTO film, (b) NO_L film, (c) NO_H film, (d) ONO_L film, (e) ONO_H film.

이 질화됨에 따라 유전율 증가를 나타내었으며, 또한 재산화 과정에서 유전율의 감소와 두께 증가로 인해 capacitance는 다시 감소하였다. 다섯째, 8nm 두께의 RTO막을 질화와 재산화를 시킨 결과 ΔV_{fb} 가 NO_H 막과 ONO_H막의 경우는 $-0.24V$, NO_L과 ONO_L의 경우는 $-0.12V$ 의 변화를 보여, 질화 공정중 고정전하가 생성되었음을 알 수 있었다. 여섯째, 정전류 stress 방법으로 각 박막의 전하 trapping 특성을 조사한 결과 ONO_L막은 $\pm 0.1mA/cm^2$ 로 5000초 동안 정전류 stress를 가할 때 ΔV_{fb} 가 $\pm 0.01V$ 로 정전류 stress를 대해 flat band 전압 변화와 계면의 상태변화가 거의 없는 좋은 특성을 보였다.

따라서 급속열처리법을 이용하여 제조된 ONO 막은 10nm 두께 이하에서도 stress에 강한 내성을 갖고 있어 ULSI급 MOSFET에 응용될 경우 소자 수명을 크게 연장할 수 있으리라고 생각된다.

參 考 文 獻

- [1] S.K. Lai, J. Lee, and V.K. Dham, "Electrical properties of nitrided-oxide systems for use in gate dielectrics and EEPROM," Tech. Dig. of the IEDM, pp. 190-193, 1983.
- [2] M.M. Mosehi, and K.C. Saraswat, "Thermal nitridation of Si and SiO₂ for VLSI," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. SC-20, no. 1, pp. 26-43, Feb. 1985.
- [3] T. Kaga, and T. Hagiwara, "Short- and long-term reliability of nitrided oxide MISFET's," IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-35, no. 7, pp. 929-934, Jul. 1988.
- [4] T. Hori, H. Iwasaki, and K. Tsuji, "Charge-trapping properties of ultra-thin nitrided oxides prepared by rapid thermal annealing," *ibid.*, vol. ED-35, no. 7, pp.904-910, Jul. 1988.

[5] D.K. Shih, D.L. Kwong, and S. Lee, "Study of the SiO₂/Si interface property during rapid thermal nitridation and reoxidation processing," Appl. Phys. Lett., vol. 54, no. 9, pp. 822-824, Feb. 1989.

[6] F. -C. Hsu, and K. -Y. Chiu, "A comparative study of tunneling, substrate hot-electron and channel hot-electron injection induced degradation in thin-gate MOSFET's," Tech. Dig. of the IEDM, pp. 96-99, 1984.

[7] R. Jayaraman, W. Yang and C.G. Sodini, "MOS electrical characteristics of low pressure re-oxidized nitrided-oxide," *ibid.*, pp. 668-671, 1986.

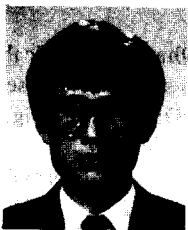
[8] J. Nulman, J.P. Krusius, and L. Rathbun, "Electrical and structural characteristics of thin nitrided gate oxides prepared by rapid thermal nitridation," *ibid.*, pp. 169-172, 1984.

[9] T. Hori, H. Iwasaki, and K. Tsuji, "Electrical and physical properties of ultrathin reoxidized nitrided oxides prepared by rapid thermal processing," IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-36, no. 2, pp. 340-350, Feb. 1989.

[10] R.P. Vasquez and A. Madhukar, "A kinetic model for the thermal nitridation of SiO₂/Si," J. Appl. Phys., vol. 60, no. 1, pp. 234-242, Jul. 1986.

[11] P. Pan, "Characteristics of thermal SiO₂ films during nitridation," *ibid.*, vol. 61, no. 1, pp. 284-293, Jan. 1987.

著 者 紹 介



盧 泰 文 (正會員)

1962年 3月 6日生. 1984年 2月
 경북대학교 전자공학과 졸업 학사
 학위 취득. 1986年 8月 경북대학
 교 대학원 전자공학과 졸업 석사
 학위 취득. 1986年 8月~1989年
 1月 삼성종합기술원 연구원. 1988

年 2月~현재 한국전자통신연구소 연구원. 주관심분
 야는 박막 형성 기술 및 평가, CMOS 공정, MOS 소
 자의 신뢰성.

- 李 璟 秀 (正會員) 第26卷 第5號 參照
 현재 한국전자통신연구소 선
 임연구원
-
- 李 仲 換 (正會員) 第23卷 第6號 參照
 현재 한국전자통신연구소 선
 임연구원
-
- 南 基 守 (正會員) 第26卷 第5號 參照
 현재 한국전자통신연구소 공
 정연구실 실장