

## 2차 미분 Auger 스펙트럼을 이용한 ONO 초박막의 결합상태에 관한 연구

11-10-5

### A Study on the Chemical State in the ONO Superthin Film by Second Derivative Auger Spectra

이상은\*, 윤성필\*, 김선주\*, 서광열\*

(Sang-Eun Lee, Sung-Pil Yoon, Seon-Ju Kim, Kwang-Yell Seo)

#### Abstract

Film characteristics of thin ONO dielectric layers for MONOS(metal-oxide-nitride-oxide-semiconductor) EEPROM was investigated by TEM, AES and AFM. Second derivative spectra of Auger Si LVV overlapping peak provide useful information for chemical state analysis of superthin film. The ONO film with dimension of tunnel oxide 23Å, nitride 33Å, and blocking oxide 40Å was fabricated. During deposition of the LPCVD nitride film on tunnel oxide, this thin oxide was nitrized. When the blocking oxide was deposited on the nitride film, the oxygen not only oxidized the nitride surface, but diffused through the nitride. The results of ONO film analysis exhibits that it is made up of SiO<sub>2</sub>(blocking oxide)/O-rich SiON(interface)/N-rich SiON(nitride) /O-rich SiON(tunnel oxide).

**Key Words(중요 용어)** : Chemical structure analysis(화학구조 분석), ONO superthin film(ONO 초박막), MONOS EEPROM, AES, second derivative spectra(2차 미분 스펙트럼), Si LVV peak

#### 1. 서 론

삼중 유전체 ONO 구조는 MNOS 소자의 스케일링 한계를 극복하기 위해서 제안된 MONOS 비휘발성 반도체 소자에 적용되고 있을 뿐 아니라 Flash memory 및 DRAM용 유전막으로 널리 사용되고 있다. <sup>1)</sup> 소자의 고집적화에 따라 저전압화 및 정전용량의 증가가 요구되면서 질화막은 100Å 이하로 초박막화 되었다. 이로 인하여 MONOS 비휘발성 기억소자에서는 프로그래밍 전압, 기억유지 특성, 내구성 등 기억특성에 변화를 가져왔으며 DRAM에 적용 중인 ONO 유전막의 경우는 누설전류의 증가로 인한 유전특성 저하 등의 문제를 야기한다. 따라서, ONO 초박막의 특성 개선 및 공정 최적화를 위해서는 ONO 구조의 정확한 조성 및 화학적 구조분

석이 필수적이나 TEM에 의한 두께 분석을 제외하고는 성분분석 장비들의 경우 깊이 분해능의 한계까지 박막이 스케일링되었을 뿐만 아니라 실리콘 계열의 산화막과 질화막이 삼중으로 이루어져 있어 각각의 박막을 정확하게 분석한다는 것은 거의 불가능한 일이다. 이러한 분석적 어려움으로 인하여 기존에 널리 사용하는 방법으로는 수백 Å의 박막을 동일 공정조건으로 제작한 다음 이를 분석하여 ONO 초박막의 조성 및 결합상태를 간접적으로 해석하는 방법이 있으나 이에 대한 결과를 실제 소자에 적용할 경우 광학적, 전기적 특성이 예상되는 결과와 정확하게 일치하지 않음을 쉽게 알 수 있다. 또한 표면 및 단층막의 결합상태 분석을 위하여 ARXPS 분석이 주로 이용되어 왔으나 질화막과 산화막 그리고 oxynitride 층이 초박막으로 적층되어 있을 경우 깊이에 따른 유사한 정보의 중첩으로 인하여 각각의 박막을 개별적으로 정확히 분석하기는 매우 어렵다. 따라서 20~50Å의 두께로 이루어진

\* : 광운대학교 공대 전자재료공학과  
(서울시 노원구 월계동 447-1, Fax : 02-941-6008  
E-mail : kyseo@daisy.kwangwoon.ac.kr)

1998년 7월 23일 접수, 1998년 9월 15일 심사완료  
<’98 춘계학술회의에서 우수논문으로 추천됨>

각각의 ONO 초박막을 정보의 증첩을 최소화하면서 적층된 박막을 직접 분석하는 방법이 가장 효과적이며 이를 위해서는 새로운 분석 기술에 대한 연구가 요구된다.

스펙트럼의 미분은 분석시 발생하는 잡음을 제거하고 증첩된 피이크를 분리하는데 이용된다. 대부분의 Auger 스펙트럼은 1차 미분법을 통하여 얻어지지만 2차 미분법을 사용하는 경우 증첩된 피이크를 빠르고 쉽게 분리하여 분석에 이용할 수 있다.<sup>2)</sup> 따라서 초박막의 ONO 적층구조 분석에 Auger 스펙트럼의 2차 미분법을 사용하는 경우 실리콘의 다양한 결합상태를 정확히 구하고 각 박막의 성질을 예측할 수 있다.

본 연구는 비휘발성 MONOS EEPROM을 위하여 열산화법으로 터널 산화막을 성장시키고 LPCVD 법으로 질화막을 증착시켰으며 습식산화법으로 블로킹 산화막을 적층한 3중의 ONO 구조를 제작하였다. XTEM 및 AES를 이용하여 산화막의 결합상태 분석 및 질화막 두께의 초박막화에 따른 화학적 결합구조의 상태와 공간적 분포 분석을 실시하여 각 막질의 물리화학적 변화를 분석 고찰한 것이며, AFM으로 표면분석을 실시하였다.

## 2. 실험

소자의 신뢰성 및 올바른 동작특성을 얻기 위해서는 실리콘 웨이퍼의 초기 상태가 매우 중요하며 이는 또한 ONO 박막의 정확한 분석을 위해서도 필수적이다. 깊이 분석에 있어서 표면의 거칠기와 오염은 분석할 때 검출성분의 감도를 변화시켜 분석적 오류를 범하기 쉬울 뿐 아니라 불균일한 표면은 분석이 되면서 더욱 심화되고 깊이에 따른 검출성분의 분해능을 저하시키며 각 계면에서의 분석 결과를 왜곡시킨다. 본 연구를 위하여 ONO 박막을 표면 거칠기가 1Å 이내로 매우 우수하고 비저항이  $13\Omega\text{-cm}$ 인 (100)방향의 n형 실리콘 웨이퍼 위에 형성하였다. 터널 산화막은 800°C 상압에서 질소로 희석시킨 산소( $\text{O}_2:\text{N}_2=7.25\text{ l/min}:7.75\text{ l/min}$ )를 사용해서 웨이퍼를 열산화시켜 23Å 성장시켰으며, 질화막은 785°C에서  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ 와  $\text{NH}_3$ 의 혼합가스( $\text{SiH}_2\text{Cl}_2:\text{NH}_3=30\text{sccm}:100\text{sccm}$ )를 반응시켜 LPCVD 방법으로 터널 산화막 위에 증착하고, 이렇게 형성된 초기 질화막 두께는 57Å이었다. 블로킹 산화막은 900°C의 상압에서  $\text{H}_2:\text{O}_2=6.75\text{ l/min}:4.5\text{ l/min}$  혼합가스를 사용해서 67분 동안 질화막을 열산화하여 성장시켰으며 질화막의 산화에 대하여 조사하였다.

제작된 ONO 구조의 두께 측정은 TEM(Philips CM300)을 이용하였으며, 성분 및 화학결합 상태 분석은 AES(PHI SAM4300)로 수행하였다. 이때 화학적 구조의 정확한 분석을 위하여 전자빔은 2kV, 200nA를 사용하였고 스퍼터링에 의한 표면 거칠기 및 결합상태의 손상을 줄이기 위하여 1.5kV의 낮은 Ar 이온빔 전압, 3.0 mm<sup>2</sup>의 넓은 Raster 면적, 낮은 입사각도의 스퍼터링(20°) 및 Zalar rotation 방법을 적용하였다. AFM(DI D5000)으로 ONO 박막의 거칠기 분석 및 AES 분석 후 스퍼터링 손상에 의한 표면 거칠기를 조사하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### A. Si LVV Auger 스펙트럼을 이용한 ONO 박막의 화학구조 분석

오제전자의 이탈 깊이(escape depth)는 100eV 이하의 낮은 운동에너지에서 약 4~5Å 정도로 보고되고 있으며 이는 최근 초박막 분석에서 깊이에 따른 성분검출의 신뢰성을 고려하는 경우에 상부 막질과 하부 막질 사이에서 발생하는 검출성분의 중첩으로

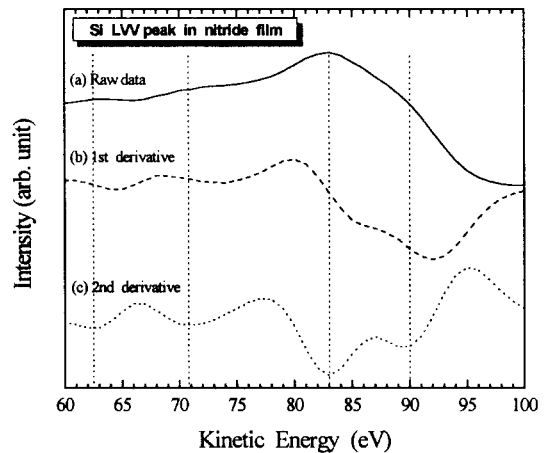


그림 1. 두 개의 중첩된 피이크로 구성된 초기 스펙트럼과 미분 스펙트럼.

- (a) 초기 스펙트럼
- (b) 1차 미분 스펙트럼
- (c) 2차 미분 스펙트럼

Fig. 1. Original spectrum and derivative spectra consisting of two overlapping peak.

- (a) Original spectrum
- (b) First derivative spectrum
- (c) Second derivative spectrum

인한 깊이 분석 분해능의 한계를 의미한다는 점에서 매우 중요한 의미를 가진다. 오제전자를 이용한 분석에서 화학적 결합상태 변화(chemical shift)를 다양하게 얻을 수 있는 성분은 실리콘과 알루미늄 등 몇몇으로 한정되어 있다. 따라서 검출 깊이 (information depth)를 최소화하고 화학적 결합에 따른 운동에너지의 변화량이 큰 Si LVV의 피크 분석이 적절하다.<sup>3)</sup> 또한 분석적으로 발생하는 오제 스펙트럼의 낮은 분해능을 향상시키고 미세한 결합상태의 변화를 분석하기 위해 2차 미분법을 새롭게 적용할 필요가 있다. 그림 1에서 나타낸 바와 같이, 이는 기존의 오제전자가 검출되는 운동에너지와 동일한 위치에서 음(-)의 피크를 얻을 수 있으며 매우 작은 양의 검출 전자에 대해서도 정확하게 피크를 분석할 수 있는 효과적인 방법임을 알 수 있다. 기존의 중첩된 결합상태 분석을 위한 곡선일치 (curve fitting) 기술에 비하여 매우 쉽고 정확하게 피크를 분리할 수 있기 때문에 여러 분야에서 응용이 가능할 것으로 예상된다.

터널 산화막의 두께가 23Å으로 얇게 형성한 경우, 산화막의 결합상태를 분석한 결과는 그림 2(a)와 같다. 하부 산화막은 안정된 SiO<sub>2</sub> 결합상(76eV)으로 형성되며 정량화로는 표현할 수 없는 Si-H 결합 또는 미결합손에 의한 실리콘 원소 피크(92eV)가 매우 약하게 관찰된다.<sup>4)</sup> 이는 AES 분석에 사용된 Ar 이온 및 입사 전자빔에 의한 결합상태의 손상<sup>5)</sup>에 의한 상태가 포함되어 있으나 오제전자 이탈 깊이의 한계 근처에서 검출되는 실리콘 기판 성분의 중첩(실리콘, 95eV)과는 다르며 터널 산화막 내 일정하게 분포하고 있는 것으로 미루어 산화막 자체의 결합 특성을 일부 포함하고 있는 것으로 생각된다.

열산화법으로 성장된 터널 산화막 위에 질화막을 증착시킬 때 산화막의 질화를 조사하였으며 그 결과는 그림 2 (b)와 같다. 질화막을 증가시킴에 따라 산화막에서의 실리콘 피크(76eV, Si-O)는 점차 80eV로 이동하며 Si-O 결합에 의한 피크 강도는 상대적으로 감소함을 알 수 있다. 피크의 이동은 Si-N결합에 의한 화학구조 변화에 기인하며 Si LVV 피크 강도의 감소는 Si-O 결합의 일부가 다른 결합상태로 변화하였음을 의미한다. 이는 산화막 내 산소와 NH<sub>3</sub> 내 질소의 치환 과정으로 해석할 수 있으며 그 결과는 다음 반응식과 같이 나타낼 수 있다.<sup>6)</sup>

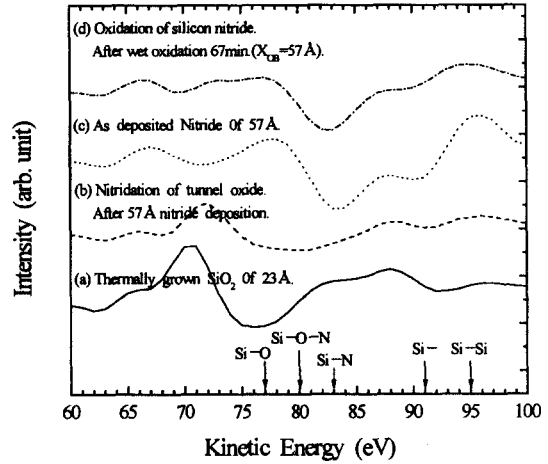
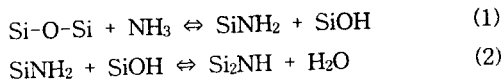


그림 2. 질화막 증착에 의한 터널 산화막 및 습식 산화공정 이후 질화막의 Si LVV Auger spectra

- (a) 열산화 터널 산화막
- (b) 질화막 증착후의 터널 산화막
- (c) 터널 산화막위에 증착된 질화막
- (d) 습식산화후의 질화막

Fig. 2. Si LVV Auger spectra of tunnel oxide by nitride deposition and nitride by wet oxidation.

- (a) Thermally grown tunnel oxide
- (b) Tunnel oxide after nitride deposition
- (c) Nitride deposition on tunnel oxide
- (d) Nitride after wet oxidation

질화막에서 조사된 Si LVV 스펙트럼은 그림 2 (c)와 같다. 터널 산화막 위에 증착된 질화막은 Si-N 결합에 의한 83eV의 피크가 강하게 나타나며 91eV 근처의 피크도 조사되었다. 이는 위에서 언급한 바와 같이 결합상태의 손상에 의한 상태 및 Si-H 결합에 의한 상태가 포함되어 있으나 질화막 내 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>의 화학양론 조성을 만족하지 못한 실리콘의 미결합손을 의미하는 것으로 생각된다.

블로킹 산화막 형성을 위한 습식산화에 따른 질화막 내 산소의 확산을 조사하였으며 그 결과는 그림 2 (d)와 같다. 질화막의 습식산화에 따라 질화막 내로 확산한 산소는 실리콘과 결합하게 된다. 이때 91eV 근처의 Si 피크가 소멸되고 Si-O 결합상태가 증가하는 것으로 미루어 유입된 산소는 대부분 미결합손(91eV)을 보호하거나 미량 존재하는 Si-H 결합에서 수소를 치환하는 것으로 생각된다. 또한 72eV 근처의 피크도 강도가 작아지면서 낮은 에

너지 방향으로 이동하는 것은 Si-O 결합에 기인한다. 따라서 위에서 조사된 바와 같이 터널 산화막 위에 질화막을 형성하는 과정에서 발생하는 NH<sub>3</sub>에 의한 산화막의 질화는 산소와 질소의 치환반응으로 조사되었으며 질화막의 습식산화에 의한 산화는 상대적으로 결합력이 강한 Si-N 결합을 치환하기보다는 미결합손이나 미량의 Si-H 결합을 산소로 치환하는 것으로 설명된다.

**B. ONO구조의 XTEM 및 AES 분석**

ONO 박막에 대한 XTEM에 의한 두께 분석 결과는 그림 3과 같다. ONO 박막에 대한 단면 사진은 제작된 XTEM 시료에서 이미지의 중첩이 발생하지 않는 얇은 두께에서 촬영되었고 각각의 두께는 단결정 실리콘 기관의 원자간격으로부터 측정되었으며 그 결과 터널 산화막 23Å, 질화막 33Å, 블로킹 산화막 40Å이었다. 또한 사진으로부터 알 수 있는 바와 같이 Si-SiO<sub>2</sub> 계면의 거칠기는 양호하다고 판단되어 진다. 측정된 두께 결과를 이용하여 AES 성분분석의 계면을 정의할 수 있으며 이를 그림 4 및 그림 5에 수직의 점선으로 각각의 층을 표시하였다.

동일한 시편에 대한 AES 깊이 분포 분석 결과는 그림 4와 같다. 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 산소는 블로킹 산화막과 터널 산화막에서 두께의 마루를 이루며 질소는 질화막에서 피크를 가진다. 그러나 Auger 전자의 운동에너지가 각각 다른 산소와 질소 그리고 실리콘의 깊이에 따른 정량은 서로 다른 검출 깊이로 인하여 초박막의 ONO 적층구조를 분석하는 경우 많은 오차를 가지게 되므로 그림 2의 스펙트럼을 이용하여 해석하여야 한다. 질화막 벌크 내 산소의 농도는 오제전자의 이탈 깊이를 고려할 때 터널 산화막으로부터의 정보가 일부 포함되어 있어 정확한 정보를 얻기는 어려우나 그림 2(d)의 스펙트럼 분석과 정량화가 확인된 기준 시료의 스펙트럼을 비교하여 복합적으로 고려할 때 질화막 내 약 15%의 산소가 포함되어 있는 것으로 조사되었다. 그림 4에서 관찰되는 약 20%의 산소 농도와는 5%정도의 차이를 나타내며 이는 위에서 언급한 바와 같이 하부 산화막의 정보가 중첩되어 나타나는 오차이다. 질화막 내 산소 존재는 소자의 집적화, 저전압화 및 정전용량 향상을 위한 질화막 두께의 감소에 기인하며 더 이상 훌륭한 산소 장벽 특성을 가지지 못함을 의미한다<sup>7)</sup>. 그러나 질화막 내 산소 농도의 증가는 질화막 내 미결합손에 의한 기억트랩 중 얇은 트랩을 보호하여 트랩 준위

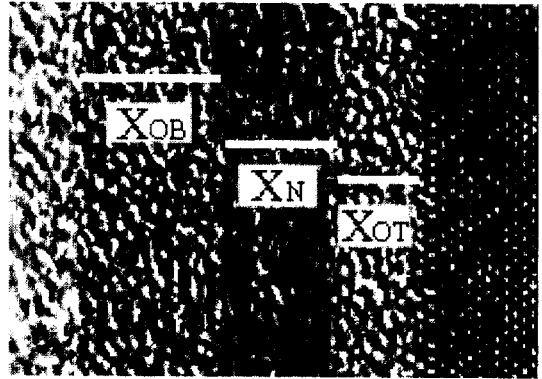


그림 3. 제작된 ONO 박막의 XTEM 분석  
Fig. 3. XTEM Analysis of ONO Film  
(X<sub>OB</sub>=40Å, X<sub>N</sub>=33Å, and X<sub>OT</sub>=23Å)

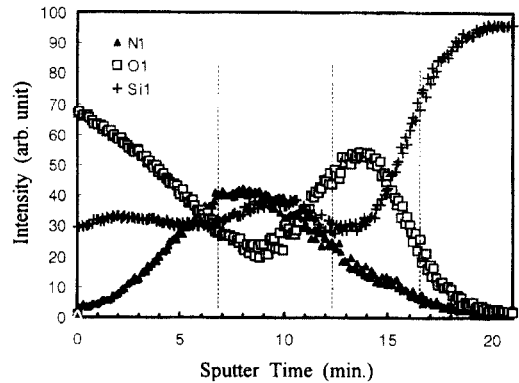


그림 4. ONO 박막의 AES 깊이 분포 분석  
Fig. 4. AES Depth Profile of ONO film

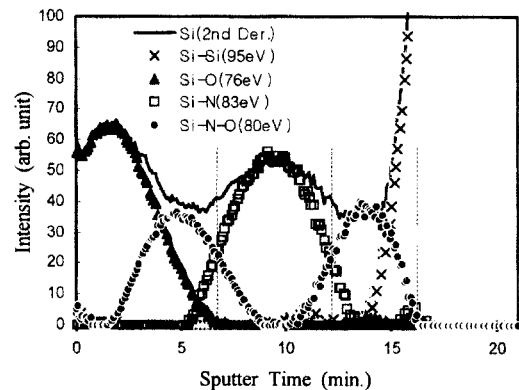


그림 5. Si LVV 2차 미분 스펙트럼의 선형 최소자승일치를 이용한 화학구조분석  
Fig. 5. Chemical Structure Analysis by Linear Least Squares Fit using Si LVV 2nd derivative spectrum

를 깊게 하므로 기억유지 특성의 감퇴율을 줄일 수 있으며 내구성도 향상시킬 수 있게 한다.<sup>8)</sup> 터널 산화막은 질화막 증착에 사용된 NH<sub>3</sub> 기체에 의하여 SiO<sub>2</sub> 상에서 SiOxNy 상으로 변화하며 질소의 확산은 터널 산화막의 장벽 높이를 감소시키며 프로그램 전압강화와 기억유지 특성 저하 및 절연파괴로 인한 누설전류를 증가시킬 것으로 예상된다.<sup>9)</sup> 질화막 위에 성장된 블로킹 산화막의 경우 SiO<sub>2</sub>뿐만 아니라 SiOxNy 상의 전이층이 존재하며 이곳에 분포하는 다량의 기억트랩은 질화막 벌크트랩의 감소에도 불구하고 낮은 프로그래밍 전압에 대해 큰 기억창을 갖게 한다<sup>11)</sup>. 이와 같이 산화막의 질화와 질화막의 산화 그리고 전이층의 존재는 다음과 같이 깊이 따른 실리콘의 결합상태 분석을 통하여 정확히 알 수 있다. Auger 스펙트럼에서 검출 깊이가 가장 작은 Si(LVV) 피이크를 이용하여 ONO 박막에 대한 선형최소자승 일치(linear least squares fit)를 수행한 결과는 그림 5와 같다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 ONO 박막은 SiO<sub>2</sub>/O-rich SiON/N-rich SiON/O-rich SiON의 구조를 갖는 것으로 조사되었으며 XTEM 분석으로부터 얻어진 두께 결과와 각각의 박막에 대한 Si LVV 스펙트럼을 이용한 결합상태에 의한 분석 결과는 잘 일치한다. 터널 산화막의 경우 질화막 증착에 사용된 NH<sub>3</sub> 가스의 영향으로 산화막 전체에서 질화가 이루어져 그림 2의 (b)에서 알 수 있는 바와 같이 80eV의 피이크 에너지를 가진다. 또한 질화막의 산화에 의하여 형성된 블로킹 산화막 40Å중 산화막 상부 약 20Å에서는 안정된 SiO<sub>2</sub> 상으로 구성되는 반면, 산화막 하부 즉, 질화막 계면 근처 약 20Å에서 터널 산화막과 유사한 화학적 구조를 가지는 oxynitride 층이 존재하는 것으로 조사되었다. 이는 질화막을 산화하는 과정에서 존재하게 되는 변환층(conversion layer)을 구조적으로 확인할 수 있는 결과이며, 스케일 다운 된 비휘발성 MONOS 기억소자에서의 기억특성에 기여한다고 보고되고 있다.

**D. AFM표면 거칠기 분석**

ONO 박막의 미세 거칠기는 소자의 유전특성과 신뢰성에 많은 영향을 미친다.<sup>10)</sup> 본 소자의 ONO 박막 형성 후 표면의 거칠기를 AFM을 이용하여 분석한 결과는 그림 6 및 표 1과 같다. 그림과 표로부터 알 수 있는 바와 같이 거칠기는 2.2Å(rms)으로 분석되어 매우 우수하다고 판단되어 진다. 또한 AES 깊이 분포 분석에 있어서 Ar 스퍼터링에 의한 손상으로 인하여 초박막에서의 성분분석이나 계면

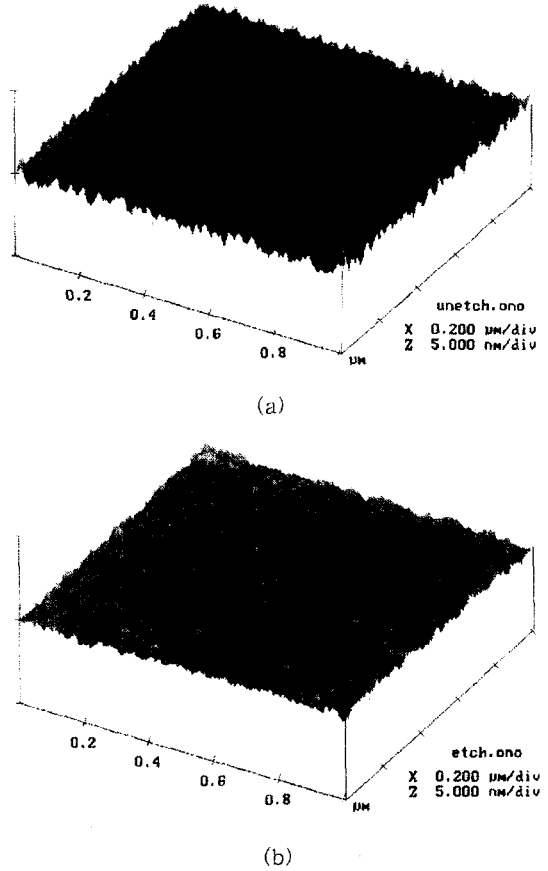


그림 6. 초박막 ONO 유전막 1μm×1μm 영역의 AFM 표면 미세 거칠기 분석

- (a) ONO 유전막의 표면
- (b) ONO 유전막의 AES 깊이 분포 분석 이후의 Ar 스퍼터링에 의한 표면 손상 분석

Fig. 6. AFM Surface Roughness Analysis of Scaled ONO Dielectric Film for 1μm×1μm Area Scan.

- (a) Surface of ONO Dielectric film
- (b) Ar Sputtering Damage analysis after AES Depth profile of ONO Dielectric film

분석이 많은 오차를 포함하는 것으로 보고되는 바, 본 분석에서 사용된 분석 조건이 분석 결과에 제공한 오차 범위를 조사하기 위하여 AES 깊이 분석 직후 표면 거칠기 분석을 수행하였으며 그 결과 분석 전의 표면상태보다도 더욱 양호하게 조사되어 본 분석에서 표면 거칠기에 의한 분석 오차는 2Å 이내인 것을 알 수 있다.

**Table 1.** AFM Surface Roughness of Scaled ONO Dielectric Film

Samples	Roughness image. Rms (Rq)	Roughness image. Ra	Roughness image. Rmax
Surface of ONO film	2.2Å	1.8Å	20.3Å
After AES Depth Profile	1.5Å	1.2Å	2.2Å

#### 4. 결 론

NVSM용 초박막 ONO 적층 게이트 유전막을 AES 및 AFM으로 분석 고찰하였다. ONO 적층막에서 터널 산화막과 질화막 그리고 계면에서의 결합상태 분석은 Si LVV AES 피이크의 2차 미분법을 사용하였으며 적은 양의 검출 전자에 대해서도 정확하게 피이크를 분석할 수 있어서 미세한 결합상태의 변화를 고찰할 수 있었다. 분석 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

산화막 위에 질화막을 화학증기증착 시킬 때 산화막의 질화는 산화막 내에 SiO<sub>2</sub> 내의 산소와 NH<sub>3</sub> 내의 질소의 반응으로 SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub> 상을 이룬다. 이러한 질소의 확산은 터널 산화막의 장벽 높이를 감소시켜서 프로그래밍 전압강하와 기억유지 특성 저하 및 절연파괴로 인한 누설전류의 증가 등을 초래할 수 있다.

두께가 57Å 되는 질화막 위에 블로킹 산화막을 습식산화로 성장시킬 때 산소의 확산이 질화막 대부분에서 관찰되었다. 질화막으로 확산한 산소는 Si-N-O 결합을 이루었으며 질화막의 띠틈격 내에 얇은 트랩을 보호하게 되어 트랩 준위를 깊게 하며 기억유지 특성과 내구성을 향상시킬 것으로 고찰되었다. 질화막과 블로킹 산화막 계면에는 SiO<sub>x</sub>N<sub>y</sub> 상의 변환층의 존재가 관찰되었고 이곳에 존재하는 다량의 계면트랩 때문에 얇은 질화막에도 불구하고 낮은 프로그램 전압에 대해 큰 기억창을 갖게 된다. 터널 산화막 두께 23Å, 질화막 두께 33Å, 블로킹

산화막 두께 40Å인 ONO 박막의 화학적 구조는 SiO<sub>2</sub> (블로킹 산화막)/O-rich SiON(계면)/N-rich SiON(질화막)/O-rich SiON(터널 산화막)으로 조사되었다.

ONO 박막 형성 후 표면의 거칠기는 rms 2.2Å으로 매우 우수하다고 사료되며 AES 깊이 분포 분석 직후의 Ar 스퍼터링에 의한 손상도 양호한 것으로 조사되어 분석의 신뢰성도 확보할 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지원 '97 핵심전문연구비(과제 번호 : 971-0802-022-2)에 의해 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. E. Suzuki, et al., IEEE Trans. Electron Dev., Vol.30, No.2, p.122, 1983.
2. D. Briggs, et. al., "Practical Surface Analysis", John Wiley & Sons, New York, Vol.1, 2nd Ed., App.3, p.566, 1990
3. P. N. Paylor, Surface Interface Analysis, Vol.26, p.134, 1998
4. H. H. Madden, J. Electrochem. Soc., Vol.128, No.3, p.625, 1981
5. F. Pavlyak, Surface Interface Analysis, Vol.20, p.221, 1993
6. I. J. R. Baumvol, J. Electrochem. Soc., Vol.143, No.9, p.2938, 1996.
7. T S. Chao, J. Appl. Phys., Vol.73, No.4, p.1732, 1993.
8. V. J. Kapoor, et al., J. Electrochem. Soc., Vol.139, No.3, p.915, 1992.
9. X. Guo, et al., IEEE Electron Dev. Lett., Vol.19, No.6, p.207, 1998
10. H. Tanaka, et al., IEEE Trans. Electron Dev., Vol.40, No.12, p.2231, 1993.