

## 알루미나와 실리카/실리콘 기판의 계면 분석

### Analysis of Interfacial Layer between Alumina and Silica/Silicon Substrate

최일상, 김영철\*, 장영철\*\*

하이닉스 반도체, \*한국기술교육대학교 신소재공학과, \*\*메카트로닉스공학부

#### Abstract

Metal oxides with high dielectric constants have the potential to expand scaling of transistor gate capacitance beyond that of ultrathin silicon dioxide. However, during deposition of most metal oxides on silicon, an interfacial region of  $\text{SiO}_x$  is formed and limits the specific capacitance of the gate structure. We deposited aluminum oxide and examined the composition of the interfacial layer by employing high-resolution X-ray photoelectron spectroscopy and X-ray reflectivity. We find that the interfacial region is not pure  $\text{SiO}_2$ , but is composed of a complex depth-dependent ternary oxide of  $\text{AlSi}_x\text{O}_y$  and the pure  $\text{SiO}_2$ .

#### 1. Introduction

고집적 소자의 저전압 동작을 위해 게이트 산화막 두께가 점점 줄어들어 따라, 실리카보다 큰 유전상수를 갖는 금속 산화물이 게이트 산화막 재료로 부각되고 있다[1, 2]. 실리콘과 접촉시 열적으로 안정하다고 알려져 있는 금속 산화물로는  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{HfO}_2$  등이 있으며, 특히  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 의 경우 알루미나와 실리콘의 계면반응이 MOS 소자에의 그 적용가능성에 있어 중요한 이슈이다[3, 4]. 알루미나의 증착과 후속열처리동안, 알루미나와 실리콘사이에 반응이 진행되어 실리카막이 생성된다. 본 연구에서는 실리카/실리콘 기판에 플라즈마 원자층 증착법 (plasma enhanced atomic layer deposition)으로 만들어진 알루미나 사이의 계면반응에 관한 것이다. 알루미나와 실리카/실리콘 계면층으로 알루미늄실리케이트와 순수 실리콘 이중층이 관찰되었다.

#### 2. Experimental

두께 40 nm인 알루미나 박막은  $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ 과 산소 플라즈마의 반복적인 공정으로 실리카(1 nm)/실리콘 기판에 증착되었다. 막의 미세구조는 투과전자현미경(TEM)으로 관찰되었고, x-선 광전자 분광법(XPS)과 glancing incidence x-ray 반사법(GIXR)으로 계면분석을 진행하였다.

#### 3. Results and Discussion

그림1은 실리콘 격자의 원자 분해능을 보여주는 고분해능 투과전자현미경 사진으로 알루미나/실리카/실리콘 단면을 보여준다. 알루미나 막은 비정질이고 알루미나와 실리콘 사이에 존재하는 3 nm 두께의 계면층이 존재한다. 알루미나와 실리카 층이 TEM 사진에서 잘 구별되지 않는 이유는 알루미늄과 실리콘의 원자산란 인자가 비슷하기 때문이다.

알루미나와 실리콘 사이의 계면영역의 두께와 화학적인 상태를 조사하기 위해 XPS가 이용되었다. 깊이분해능을 유지하기 위해 물리적인 스프터링법을 사용하지 않고 화학적인 습식 에칭법을 이용하여 막을 제거하였다. 그림 2는 Al 2p, O 1s, 그리고 Si 2p의 XPS 스펙트럼을 보여준다.

SiO<sub>x</sub>와 알루미나 사이에 약 2 nm 두께의 계면층이 존재하는 것을 알 수 있었다. 알루미나의 식각률은 약 7 nm/min이며 340초 식각 후 Al 2p 신호는 사라졌다. 실리카의 식각률은 0.12 nm/min에서 순수 실리카의 식각률인 0.018 nm/min으로 줄어들었다. Al 2p 신호가 사라지는 때의 실리카막의 두께는 0.7 nm로 측정되었다. 알루미나와 실리카 사이에 존재하는 계면층의 화학적 성질을 알아보기 위해 그 계면층을 희석 HF 용액으로 식각하였다. 식각률이 아주 작은 결과로부터 그 계면층은 알루미늄 실리케이트일 것으로 추정할 수 있었다.

이 결과를 확인하기 위해 x-선 반사법으로 측정된 반사율의 실험적 결과와 이론적 모델을 비교하였다. 알루미나와 실리카 사이에 알루미늄 실리케이트 층이 존재하는 3층 구조가 존재하지 않는 2층 구조보다 실험적 결과와 잘 일치하는 최적의 이론적 모델임을 알 수 있었다.

이상의 결과로부터 알루미나를 플라즈마 원자층 증착법으로 실리카/실리콘 기판에 만들면 그 사이에는 알루미늄 실리케이트 계면층이 생기는 것을 알 수 있었다.

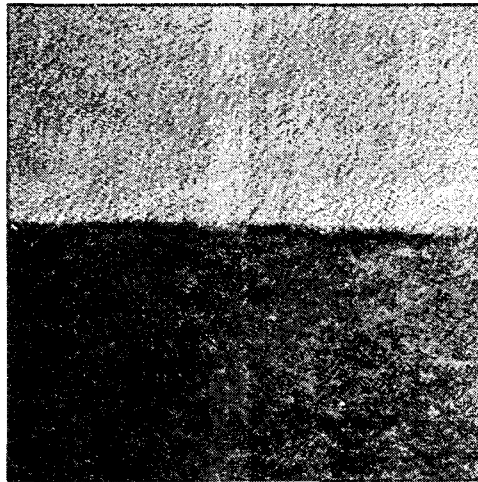


그림 1. 알루미나와 실리카/실리콘 기판의 계면에 대한 고분해능 TEM 단면사진

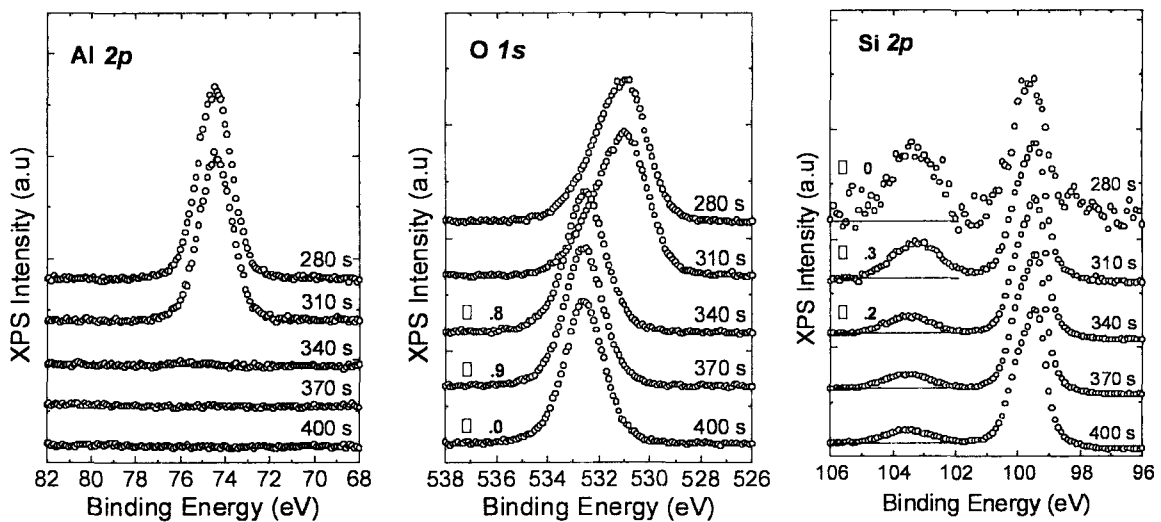


그림 2. 알루미나와 실리카/실리콘 기판 계면 근처에서 습식 식각 시간에 따른 (a) Al 2p, (b) Si 2p, (c) O 1s XPS 스펙트럼

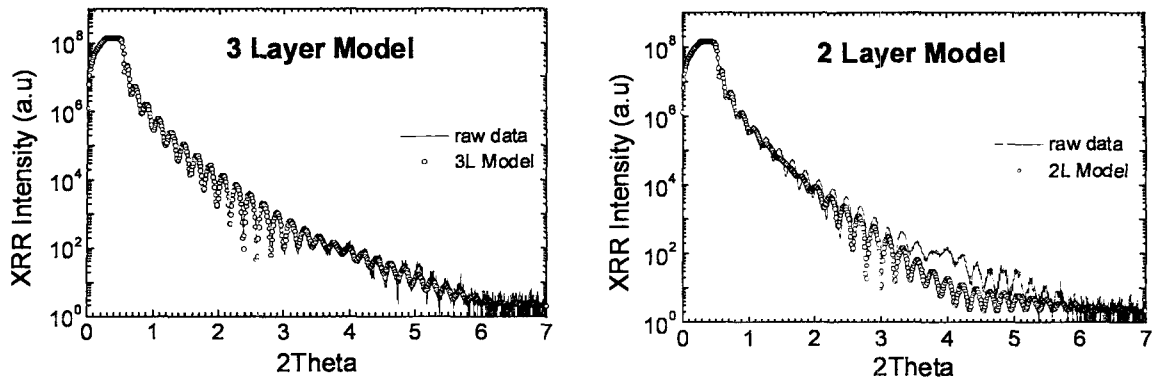


그림 3. 알루미늄과 실리카/실리콘 시편의 GIXR 스펙트럼

## References

- [1] D. Buchanan, IBM J. Res. Cev. vol. 43, p.245 (1999).
- [2] L. Feldman, E. P. Gusev and E. Garfunkel, in Fundamental Aspects of Ultrathin Dielectrics on Si-based Devices, edited by e. Garfunkel, E. P. Gusev, and A. Y. Vul (Kluwer Academic, dordredit, 1998), p. 1.
- [3] E. P. Gusev, M. Copel, E. Cartier, I. J. R. Baumvol, C. Krug, and M. A. Gribelyuk, Appl. Phys. Lett. vol. 76, p.176 (2000).
- [4] S. W. Whang, Y. K. Choi, K. B. Chung, H. K. Jang, and C. N. Whang, J. Vac. Sci. Technol. vol. 19, p.410 (2001).