

Ti/Al 구조에서 FE-(S)TEM을 이용한 계면반응층의 평가 Analysis of Interface Layer by FE-(S)TEM in the Ti/Al Structure

현대전자 메모리(연) 분석개발팀 양준모, 최진태, 성해숙, 박태수, 이태권, 백태선, 박주철, 이순영
현대전자 메모리(연) 선형공정5팀 이석재

1. 서론

FE-TEM (field-emission transmission electron microscope)은 전계방출방식의 gun을 이용하기 때문에 기존의 열전자방출방식보다 brightness면에서 100배 이상 우수하고 전자빔의 공간분해능이 nanometer 이하 scale이기 때문에 원자 level에서의 물질의 구조분석 및 조성분석 (EDS 및 EELS 분석)이 가능하다. 반도체 device의 고집적화에 따라서 공정분석상에서의 FE-TEM의 유용성은 날로 증대하고 있다[1]. 또한 이 FE-TEM에 STEM (scanning transmission electron microscope) 및 에너지 filtering 장치를 장착함에 의해 2차원 공간에서의 원소 mapping이 가능하게 되었고, 최근에 digital 원소 mapping상의 해석을 통하여 조성의 정량분석에 관한 연구도 진행되고 있다[1,2]. 본 연구에서는 FE-(S)TEM을 이용하여 Ti/Al-1%Si-0.5%Cu 구조에서의 열처리에 따라 형성된 nanometer scale 반응층의 미세구조 평가 및 조성의 정량분석에 대하여 기술한다.

2. 실험방법

Si (001) 기판 위에 SiO₂를 증착하고, Ti 50nm를 sputter 방식으로 증착하였다. 그 위에 0.5% Cu를 첨가한 Al과 1% Si + 0.5% Cu를 첨가한 Al을 각각 700nm 증착한 후 후속 열처리를 수행하였다.

TEM 관찰용 시료는 Si의 [110] 방향이 관찰되도록 절단하여 기계적인 연마 후에 일반적인 ion milling법에 의해 제조하였고, 미소회절패턴의 촬영과 EDS 분석에는 JEM-3000F를 이용하였다.

EDS point 분석시에는 0.7nm의 nano-probe를 이용하였고, STEM을 이용한 원소 mapping시의 조건은 표 1과 같다.

Table 1. Parameters of EDS elemental mapping.

Scan area (nm)	Pixels	Magnification	Dwell time (msec)	Total time (min)
62.562.5	256256	1000000	25	27.32

3. 결과 및 고찰

Al-1%Si-0.5%Cu 구조에서 촬영된 HRTEM상을 그림 1에 나타내었다. Ti와 Al의 반응에 의한 Ti-Al 화합물은 형성되어 있지 않고, amorphous/crystal의 bi-layer로 구성된 균일한 박막이 관찰되고 있으며 각 층의 두께는 약 5nm 정도이다. 이 layer는 Ti의 diffusion barrier로 생각되며, 각 층의 구조를 미소회절법에 의해 분석하였다. 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 회절패턴의 해석 결과, amorphous처럼 보이는 D layer는 미세한 결정층이며, 상부의 E layer는 Al과는 다른 결정구조를 갖는 반응층임을 알 수 있다. 각각의 layer에 대한 Z contrast를 조사하기 위해 STEM법에 의한 관찰을 실시하여 그림 3에 STEM BF (bright field)상과 HAADF (high-angle annular dark field)상을 나타내었다. HAADF상으로부터 반응층은 bi-layer가 아니고 tri-layer임이 명확하게 확인된다 (화살표로 표시한 layer 참고). 이 반응층의 정밀한 조성 분석을 위하여 EDS 분석을 실시하였다. 그림 4(a)는 EDS 원소 mapping 결과로서 B layer에서는 Ti, Al, Si이 분포하고 (그림 4(a)에 Al map은 나타내지 않았음), C layer에서는 Ti와 Si이 주로 분포하고 있음을 알 수 있다. 또한 HAADF상에서 화살표로 표시한 layer는 상대적으로 Ti의 양이 적은 영역이라는 것이 확인된다.

각 layer에서의 조성의 정량평가를 위해 EDS mapping상의 해석을 수행하였다. Digital mapping상의 intensity profile은 검출된 특성 X-선의 강도에 비례한다. 특성 X-선의 강도비는 농도비에 비례 $C_A/C_B = k_{AB}(N_A/N_B)$ 하므로, background X-선을 제거하고, k-인자의 보정을 실시할 경우 정밀한 정량분석이 가능하다. 그림 4(b)는 그림 4(a)에서 직사각형으로 표시한 영역에서 얻어진 intensity profile에서 상기의 보정을 한 결과로서 B layer에서 Ti/Al/Si의 조성비는 약 1:3:1으로, C layer의 경우 Ti:Si의 조성비가 1:1로 평가되었다.

4. 결론

FE-(S)TEM을 이용하여 Ti/Al-1%Si-0.5%Cu 구조에서 형성된 nanometer scale 미세 반응층의 EDS 원소 mapping을 실시하였고, mapping상의 해석을 통하여 nanometer scale 박막의 정량분석을 할 수 있었다. 이 분석기술은 고집적 반도체 device의 공정분석 및 물질의 계면반응층 평가시 응용이 크게 기대된다.

참고문헌

1. M. Kawasaki *et al.*: J. Electron Microsc. 47, 335 (1998).
2. M. Kawasaki *et al.*: J. Electron Microsc. 47, 477 (1998).

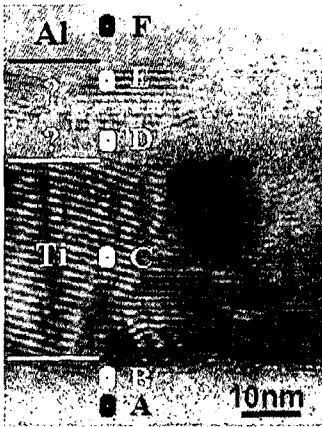


Fig. 1. HR TEM image obtained from the Ti/Al - 1% Si-0.5%Cu structure.

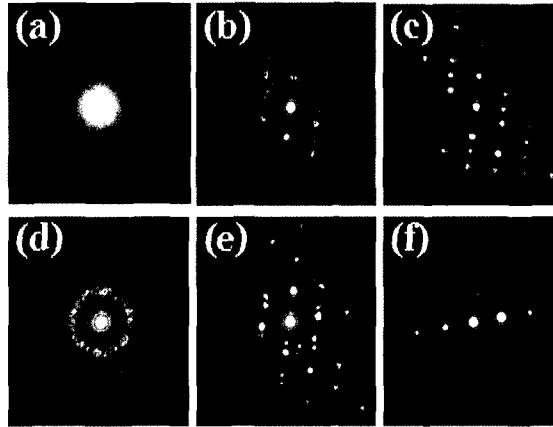


Fig. 2. Micro -diffraction patterns obtained in the layers indicated by A - F in the HRTEM image of Fig. 1.

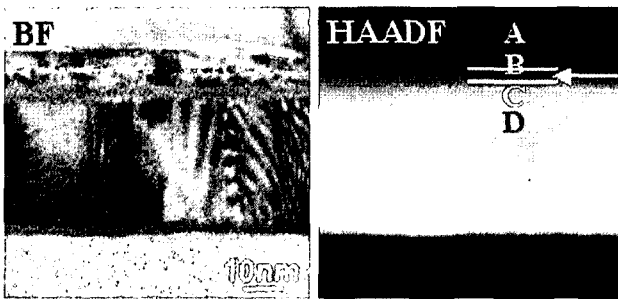


Fig. 3. STEM BF image and HAADF image.

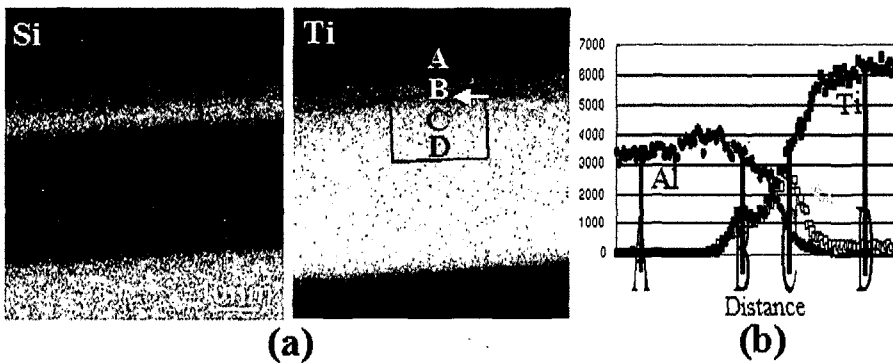


Fig. 4. EDS elemental maps (a) of Si and Ti. Concentration profiles (b) of Al, Si and Ti were obtained by the subtraction of background intensity and the correction of k -factors.