

Electron Tomography용 시편제작 방법에 따른 반도체 소자의 3차원 영상 구현

손성규, 백태선, 김원, 김호정, 이순영

(주) 하이닉스반도체 연구소 분석개발팀

1. 서론

최근 반도체의 미세화와 고집적화에 따라 소자 구조가 3차원 형태로 복잡해 지고 있으며, 공정과정에서 발생하는 불량을 정확히 이해하기 위해서는 3차원적 해석 능력이 요구되고 있다. 현재까지 고집적화된 반도체 소자의 구조를 해석하기 위한 방법으로는 Transmission Electron Microscope (TEM)을 이용한 방법이 유일하다. 특히 3차원적 해석을 위해서는 Electron Tomography (ET)법[1]의 반도체 분야에 적용이 절실한 실정이다.

반도체와 같은 재료 분야에 ET법을 적용하는 경우는, 기존의 TEM법을 사용하면 각도가 기울어짐에 따라 회절 contrast등의 영향으로 contrast 변화가 급격하게 일어나, 3차원 영상 구현 시 재구축이 어렵게 된다. 이를 개선하기 위해 회절 contrast의 영향을 피하는 High-Angle-Annular-Dark-Field Scanning Transmission Electron Microscopy (HAADF-STEM) 법[2]이 개발되어 적용되고 있다. 아울러 기존의 TEM 시편을 이용한 ET법에서는 TEM 내부에서 시편을 기울일 수 있는 각도의 한계가 존재하게 되고, 이에 따라 재구축 시에 Missing wedge라는 정보를 잃어 버리는 영역[2]이 발생하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 대안으로 시편의 형태를 360도 회전시킬 수 있는 방법[3,4]이 개발되어 연구되고 있다.

새롭게 도입된 ET법을 반도체 소자에 적용한 사례도 보고[5,6]되고 있으나, 아직 초기 단계로 일부 한정된 영역에 적용되고 있으며, 최근에 개발된 Pillar형 시편에 대한 적용 사례 보고는 거의 전무한 실정이다.

이 연구에서는 ET법이라는 3차원 영상 구현 방법을 반도체 소자에 적용하여 3차원 구현 영상을 얻고자 했다. 시편의 형태에 따른 각기 다른 방식의 3차원 구현 방법을 적용하기 위해, Focused Ion Beam(FIB)를 통해 시편 제작하고, Thin film type과 Pillar type 시편으로부터 구현된 3차원 영상 결과를 보고하고자 한다.

2. 실험 방법

1) 시편제작

본 연구에서는 반도체 공정에서 metal contact부까지 진행된 시편을 사용했다. 관찰

할 contact부를 wafer상에 표시하여 FIB 가공으로 시편제작 했다. Thin film type시편은 3D tomography 전용 grid에 FIB(STRATA400S, FEI)를 사용하여 시편을 붙이고 가공하여 제작했다(Fig. 1(a)). Fig. 1(b)에서 보여지는 바와 같이 시편이 붙여지는 위치는 grid 중심 B기둥의 옆면에, 흰 점선으로 표시한 축을 중심으로 고 각도로 기울여도 장애물이 존재 하지 않게 균일한 두께로 가공되었다.

Pillar type시편은 3D 관찰 전용 holder를 사용하여 FIB(FB2000, Hitachi)에서 Needle stage 위에 올려진다. Fig. 1(c)에 보이는 영상은 3D-holder로, 축 방향 기어와 구동 기어, 그리고 구동 기어에 연결된 Needle stage를 나타내고 있다. Needle stage위에 올려진 Pillar시편은 Fig. 1(d)와 같이 올려지며, FIB내에서 가공되어 원하는 부위만 남겨지게 된다. 가공된 시편은 두께가 100~300 nm정도의 정사각 기둥에 가까운 형태로 제작된다.

2) 3차원 구현

Thin film type에서는 3D 전용 holder를 사용하여 TEM(Titan80-3000, FEI)을 이용하여 HAADF-STEM image를 얻었다. Image 기록 조건은 최대 기록 가능한 70도 범위에서 2도 간격으로 기울여서 얻었다. 얻어진 영상은 Inspect3D software를 사용하여 Alignment, 재구축한 후, Amira4.0을 사용하여 재구축된 3차원 영상을 가시화 했다.

Pillar type에서는 시편의 회전이 360도로 자유로우므로, STEM(HD2000, Hitachi)을 사용하여 5도 간격으로 회전한 image를 0도에서 180도까지 HAADF-STEM image를 얻었다. 재구축은 전용 software 인 Hitachi Electron Microscope Image Prompter (EMIP)의 3D Reconstruction system을 사용하여 3차원 영상을 얻었다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2에서는 Thin film type의 반도체 contact부 시료의 재구축된 영상을 보여주고 있다. FIB를 사용하여 관찰하고자 하는 특정부위만을 제작하여 연속영상을 얻고 재구축한 결과로, 0도에서의 2차원 영상과 거의 동일하게 재구축된 결과가 얻어졌다.

재구축된 결과를 보면, Contact주위에 barrier metal인 Ti/TiN이 존재 하는 형상과, 하부 gate와 연결 부분에서 점선으로 나타낸 barrier metal이 채워진 부분이 재현되어 있다. 하지만, contact부분의 W과 아래 gate부의 W은 두께는 거의 비슷하나 Z-contrast image가 사용되었음에도 contrast차이가 보여지고 있다. 또한, 화살표로 표시한 부분과 같이 artifact의 존재가 재구축된 결과에서 보여지고 있다. 이러한 재구축된 결과는 고각도에서의 정보가 부족하고, 완벽하지 않은 alignment의 영향으로 허상이 재구축에 영향을 주어 나타나는 것으로 사료된다.

Fig. 3에서는 Pillar type으로 제작된 Thin film type 시편과 동일부의 contact 불량

시료를 재구축한 결과를 보여주고 있다. FB2000에서 특정부위를 선별하여 가공하고, 3D-holder needle stage위에 올려, HD2000에서 관찰 가능한 두께 이하의 Pillar형태로 가공하여 시편을 제작하고, HD2000에서 영상을 기록하고 재구축한 결과를 보여주고 있다.

재구축된 결과를 보면, contact부와 아래 gate부 W의 contrast 차이는 거의 없으며, 하부 gate와 연결 부분에서 점선으로 나타낸 gate부를 파고 Ti/TiN의 barrier metal이 채워진 부분이 재현되어 있다. 또한, contact부와 gate부의 W 접촉 부위는 한 가운데 부분에서만 연결된 결과가 보여지고 있다. 이 실험에서 사용된 시료는 불량 시편으로 gate와 연결되는 contact부가, 먼저 채워진 barrier metal등의 영향으로 접촉부 W이 일부분만 연결되어 contact 저항이 증가하는 결과가 초래되었음을 확인 할 수 있었다.

이와 같이 ET법은 반도체 소자에서 3차원 구조 분석 및 불량분석 등에 기여할 것으로 예상되고 있다. 특히 Pillar type은 360도 방향에서 정보를 얻을 수 있으므로, 정보가 결여 되는 Missing wedge효과 없이 3차원적 실제 입체상이 재현될 수 있다. 그러므로 복잡한 미세 구조를 분석하기 좋고, 성분 분석을 응용한 3차원 영상 구현 등의 응용 능력이 뛰어날 것으로 예상된다.

4. 결 론

반도체 소자에 대해 FIB방법으로 Thin film type과, Pillar type의 시료를 제작하고, TEM을 이용한 3차원 영상 구현 실험을 통해 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 1) FIB를 이용하여 3D-tomo관찰용 Thin film type과 Pillar type의 시편제작이 가능해졌다.
- 2) 반도체 소자에서 Thin film type과 Pillar type시편의 3차원 영상 구현이 가능해졌다.
- 3) Thin film type에 비해 Pillar type이 Alignment의 영향, Missing wedge효과 등 정보 누락 인자가 적어 3차원 구현 능력이 우수할 것으로 사료된다.

References

- [1] R.A. Crowther, D.J. Derosier, A. Klug, Proc. Royal Society London. Series A, Math. Phys. Sci., 317 (1970), 319-340.
- [2] P.A. Midgley, M. Weyland, Ultramicroscopy 96 (2003), 413-431.
- [3] N. Kawase, M. Kato, H. Nishioka, H. Jinnai, Ultramicroscopy 107 (2007), 8-15.
- [4] T. Yaguchi, M. Konno, T. Kamino, M. Ogasawara, K. Kaji, T. Ohnishi, Proc. 29th ISTFA (2005), 382-388.
- [5] C. Kbel, A. Voigt, R. Schoenmakers, M. Otten, D. Su, T. C. Lee, A. Carlsson, J.

Bradley, *Microsc. Microanal.* 11 (2005), 378-400.

- [6] C. Kbel, J. Kbel, S. Kujawa, J. S. Luo, H. M. Lo, J. D. Russell, *AIP Conference Proceedings* 817(2006), 223-228.

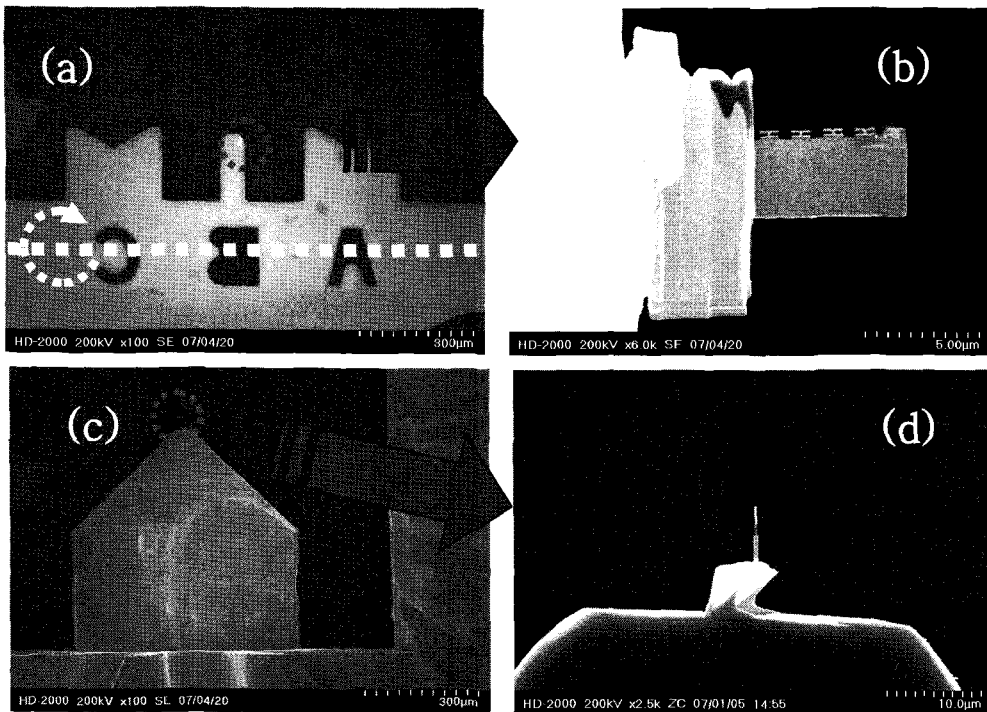


Fig. 1. (a) Secondary Electron(SE) image of specimen set on Grid, (b) SE. micrograph of the prepared specimen mounted in Fig. 1(a), (c) partial view of specimen set on 3D-holder using HD2000, (d) HAADF-STEM image of a micro-pillar sample mounted on a top the needle stub in Fig. 1(c).

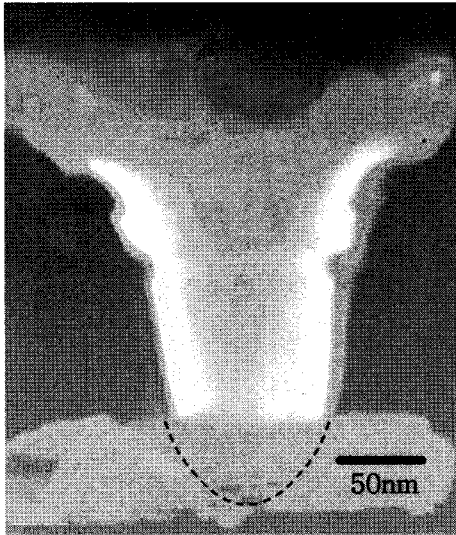


Fig. 2. Reconstructed contact image using Titan 3D Reconstruction system.

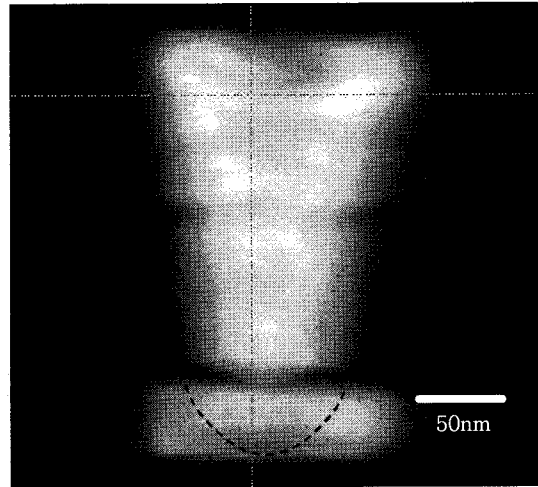


Fig. 3. Reconstructed contact fail image using HD2000 3D Reconstruction system.