

3D Visualization of Nano Devices

이준호, 박중봉, 박주철, 박경수, 송세안

삼성종합기술원 Analytical Engineering Center

최근 반도체 업계에서는 기존의 DRAM, SRAM 및 플래쉬 메모리들의 우수한 특성만 융합한 차세대 메모리소자로서 PRAM, MRAM, FeRAM, 고분자메모리 등 다양한 소자들의 개발이 활발하게 진행되고 있다. 실제 반도체 소자개발 과정에서 이들의 구조를 영상화하여 여러 변수와 전기적 특성을 correlation 하는 일은 매우 중요하며 특히 공정 중에 발생하는 defect 및 failure 원인 분석을 실시하고 소자의 특성을 개선하는 일은 필수적이다.

그러나 시료를 투과한 전자빔으로 얻어진 TEM 이미지는 실제 3차원으로 배열된 반도체 소자의 구조에 대해 완벽한 정보를 제공해주지 못하며 정보를 해석함에 있어 오류를 범하기 쉽다. 3D Electron Tomography는 2차원 투영으로 손실된 정보를 3차원으로 재구성하여 복원할 수 있는 기술로써 반도체 구조 관찰에 있어 효과적이다.

현재 가장 뛰어난 성능을 보이는 PRAM 소자는 상변화 물질인 GST를 TiAlN 전극에서 열을 가하여 비정질에서 결정질로 상변화를 일으켜 programming volume을 형성함으로써 read/write 동작을 하는 소자이다. PRAM의 구조를 관찰하기 위해 3D Electron Tomography을 이용하면 2차원 TEM 이미지에서는 얻을 수 없는 정보들을 얻게 된다. Fig. 1은 programming volume에 상변화를 일으키는 TiAlN 전극의 reconstruction된 단면 slice 이미지이다. 단면으로 가공된 2차원 TEM 이미지에서는 관찰하기가 거의 불가능하지만 Electron tomography를 이용하면 이처럼 반도체 구조의 3차원 구조 관찰이 가능해진다. 한편 programming volume의 형상은 TEM의 고니오미터를 움직일 때마다 결정질 GST 각각의 grain들에서 발생하는 회절 컨트라스트가 불연속적으로 변하여 연속된 각도로 관찰된 tilt 시리즈 이미지를 얻기 불가능하기 때문에 programming volume의 3D Electron Tomography 영상은 현재까지 구현된 바가 없다 (Fig. 2).

한편, 최근 Charge trap 플래쉬 메모리는 기존 floating 게이트의 한계를 극복하기 위해 SiO₂ 혹은 SiN_x 층 내부에 수nm 크기로 분포시킨 Si 혹은 metal의 나노결정을 이용하여 성능과 용량에 있어서 큰 혁신을 이루었는데 일반적으로 이러한 Si 나노결정들은 명시야상 관찰이나 STEM 관찰이 불가능하다. 왜냐하면 Si 나노결정입자가 시료 두께에 비해 매우 작아 매질(SiO₂, SiN_x)을 통과한 탄성산란 신호가 충분한 컨트라스트를 가지지 못하기 때문이며 오직 Bragg 조건이 맞는 각도에서만 관찰 가능하다. 그

러나 EELS 스펙트럼의 플라즈몬 영역에서 Si의 플라즈몬 excitations 구간에 에너지 필터링을 거치게 되면 Si 나노 결정립을 매질과 분리하여 이미징할 수 있으며(Fig. 3) 필터링된 플라즈몬 이미지의 tilt series를 촬영한 후 reconstruction을 수행하여 결정립의 형상, 밀도 및 적층구조 등 3차원 정보를 얻을 수 있다(Fig. 4).

이러한 실험들에는 삼성종합기술원의 FEI TITAN 80-300 kV과 Gatan Image Filter 865 Tridiem-ER을 사용하였고 FEI Inspect3D로 reconstruction한 후, AMIRA의 Voltex와 Isosurface법으로 rendering 처리하였다.

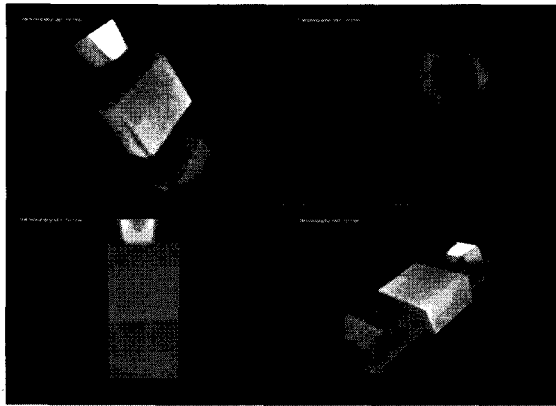


Fig. 1. PRAM 단일 cell의 3D reconstruction 형상.

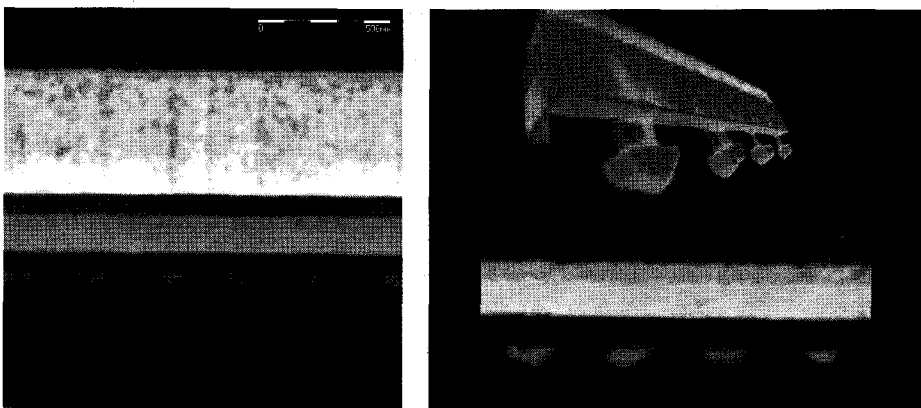


Fig. 2. PRAM cell array의 3D reconstruction 형상.

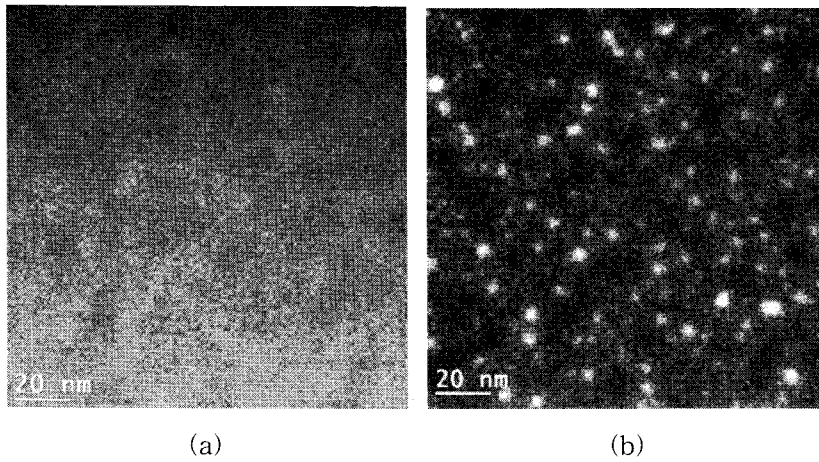


Fig. 3. SiO₂와 SiN_x 층 사이에 분포된 Si 나노결정립의 (a) BF-TEM image (b) plasmon loss image.

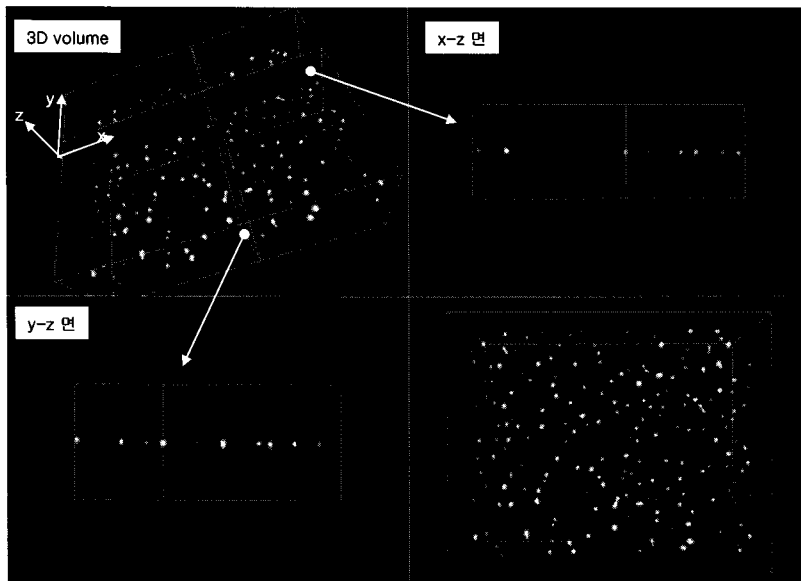


Fig. 4. SiO₂와 SiN_x 층 사이에 분포된 Si 나노결정립의 3D reconstruction 형상.