

일렉트론 홀로그래피를 이용한 2차원 도펀트 프로파일링

양준모, 박윤창, 현문섭, 박경진, 황옥중, 김중정*, Daisuke Shindo*
나노종합팹센터, *Tohoku University

1. 서론

전계효과트랜지스터(MOSFET) 크기가 나노급 (100nm 이하)으로 작아지고, 또한 접합(junction)의 깊이도 100nm 이하로 작아짐으로서 기존의 평판시료를 이용한 1차원 도펀트 프로파일(dopant profile) (특히 $p-n$ junction profile)의 측정평가만으로는 소자 개발 상에서 신뢰성 있는 자료를 도출하기 어렵게 되었다. 따라서 실제와 똑 같은 구조 및 형상으로 패터닝 된 시료에서 2차원(깊이방향 및 측면방향) 도펀트 프로파일링(dopant profiling) 기술이 요구되고 있다.

2차원 도펀트 프로파일링을 위한 많은 연구가 진행되어, 여러 측정기법이 개발되어 있다. 그 중에서 일렉트론 홀로그래피 (electron holography)는 투과전자현미경 (TEM)의 우수한 공간분해능을 이용하기 때문에 나노 소자의 평가에 가장 적합한 기술로 기대되고 있다. 전계방출형 전자총(FEG)의 고간섭 특성을 이용하면, TEM 내에서 일렉트론 홀로그래피가 가능하여 정전기 전위(electrostatic potential) 분포인 도펀트 프로파일을 실제 소자에서 2차원적으로 묘사할 수 있다[1-3]. 본 발표에서는 일렉트론 홀로그래피 분석기법을 이용하여 도펀트 프로파일링을 실시한 초보적인 연구 결과에 대해서 보고하고자 한다.

2. 실험 방법

이온주입에 앞서 p 형 Si [100] 기판 (10^{15} B/cm³)에 SiO₂ (800nm)를 증착한 후에 이온주입 마스크(mask) 공정이 진행되었다. 그리고, As 이온은 가속전압 300keV, 도즈량 1×10^{16} /cm²의 조건으로 이온 주입되었다. 마지막으로 1000°C에서 720분 동안 도펀트 활성화 어닐(anneal) 공정이 진행되었다.

일렉트론 홀로그래피를 위한 TEM 단면시편은 집속이온빔(FIB) 장치를 이용하여 임의의 두께에서 균일한 두께를 갖도록 제작되었다. 측정은 JEM-3000F FE-TEM을 이용하였고, 홀로그램 (hologram)은 slow scan CCD 카메라 (Gatan USC 1000)에 기록한 후에 전용 프로그램을 이용하여 위상정보와 진폭정보를 분리하였다.

3. 결과

그림 1(a)는 p 형 Si 기판에 형성된 N-MOS 소자를 보여주는 TEM상이다. FIB를 이용하여 임의의 두께로 균일하게 제작하였고, TEM상에서도 시편의 두께 편차는 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 그림1(b)는 홀로그래프의 위상정보를 재생한 위상재생상(reconstructed phase image)으로서, 하얀 영역이 n 형, 검은 영역이 p 형에 대응하고 있다. 위상재생상으로부터 불순물 농도의 분포를 전위 분포로서 2차원적으로 관찰할 수 있다. p 형과 n 형 영역에서의 위상변화와 TEM 시편의 두께를 측정하면, 전위차 V_{pn} 을 정량적으로 평가할 수 있고[1], 현재 정량해석 중에 있다.

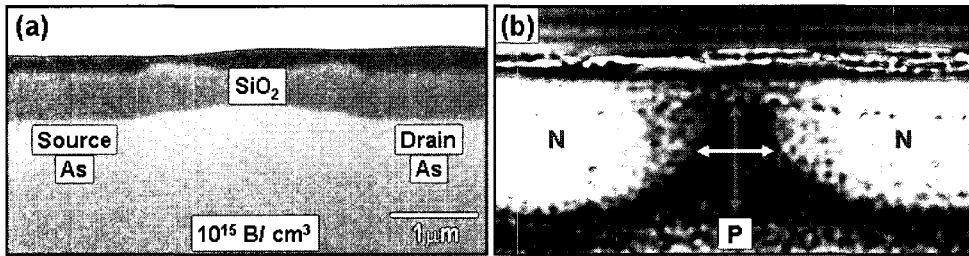


Fig. 1. Conventional TEM image (a) and reconstructed phase image (b) obtained from the Si MOSFET.

4. 결론

일렉트론 홀로그래피기법을 이용하여 N-MOS 소자에서의 정전기 전위 분포인 도펀트 프로파일의 측정에 성공하였다. 이 결과는 나노급 반도체 소자의 2차원 도펀트 프로파일링에서 일렉트론 홀로그래피 기술의 적용 가능성을 보여주는 것으로서, 향후 측정한계 및 정량해석 기법의 개발을 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 21세기 프런티어 연구개발사업 나노소재기술개발사업단(CNMT)의 연구비에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

[1] W. D. Rau *et al.*: PHYSICAL REVIEW LETTERS 82, 2614 (1999).
 [2] A. C. Twitchett *et al.*: PHYSICAL REVIEW LETTERS 88, 238302-1 (2002).
 [3] .A. Gribelyuk *et al.*: PHYSICAL REVIEW LETTERS 89, 025502-1 (2002).