

Ⅱ~2] [젊은진공과학자상 후보]

Surface Roughness and Defect Morphology in Low Temperature Electron Cyclotron Resonance Hydrogen Plasma Cleaned (100) Silicon

Ki-Hyun Hwang^{a)}, Euijoon Yoon^{a)}, Ki-Woong Whang^{b)}, and Jeong-Yong Lee^{c)}
ISRC, Seoul National University^{a),b)}, Dept. of Materials Engineering, KAIST^{c)}

a) also with the Dept. of Inorganic Materials Engineering,

b) also with the Dept. of Electrical Engineering.

1. 서론

실리콘 계열의 저온 에피 성장과 초고집적 IC 생산공정은 자연산화막 등의 표면 오염물질을 저온에서 제거할 수 있는 저온 기판 세정화 공정이 필수적이다. 여러 가지 저온 세정화 공정 기술중 수소와 아르곤 등의 플라즈마를 이용한 건식 세정화 기술은 패턴닝된 기판의 세정화와 박막 증착전의 *in situ* 세정화를 가능하게 해준다. 특히, 수소 플라즈마를 이용한 세정화의 경우 저온에서 표면 오염물질의 제거하는데 효과적인 것으로 알려져 있다.^[1] 아르곤 플라즈마를 이용한 세정화의 경우 물리적 식각을 통하여 표면 오염 물질을 제거하게 되므로 세정화 도중 기판내에 격자 결함을 유발시키는 문제점이 있지만 수소 플라즈마 세정화는 화학적 식각을 이용하므로 세정화 도중 물리적 충격에 의한 격자 결함 유발의 문제점은 발생하지 않는다. 그렇지만 실리콘 기판이 저온에서 수소 플라즈마에 노출될 경우 {111} platelet 형태의 결함이 형성되고^[2] 기판 표면이 거칠어 지는 문제점이 발생한다고 보고되어 있다.^[3] 그러나 수소 플라즈마를 이용한 저온 세정화 공정중에 기판이 거칠어지는 원인에 대해서는 아직 잘 밝혀지지 않았다.

본 실험에서는 실리콘(100)기판을 저온($\leq 440^\circ\text{C}$)에서 전자 공명 수소 플라즈마로 세정할 때 표면이 거칠어지는 현상에 대해서 기판 표면 영역에서 수소 이온에 의해 유발되는 {111} platelet 결함의 형성 및 성장과 연관지어 설명하고자 한다.

2. 실험 방법

본 실험에서 사용한 초고진공 전자 공명 화학 기상 장치(Ultra-high Vacuum Electron Cyclotron Resonance Chemical Vapor Deposition)와 실험 절차는 다른 논문에 이미 발표한 바 있다.^[4] 저온에서 실리콘 기판을 전자 공명 수소 플라즈마로 세정할 때 기판의 표면 형상과 결함의 형성과 성장을 *in situ* RHEED, *ex situ* AFM, TEM, HRTEM을 이용하여 관찰하였다.

3. 결과 및 토의

440 $^\circ\text{C}$ 에서 세정할 때 기판의 바이어스가 기판 표면 거칠기에 미치는 영향을 관찰하였다. 이때 세정화 조건은 마이크로 웨이브 파워 100W, 마그네트 전류 50A, 수소 압력은 2mTorr, 세정 시간은 3분이었다. 기판에 음의 바이어스를 가하여 수소 이온의 유입량을 증가시킬 경우 기판이 거칠어졌고 반면 양의 바이어스를 가하여 수소 이온의 유입량을 감소시킬 경우 평탄한 기판을 얻을 수 있었다. 이로부터 수소 이온의 유입량이 증가할수록 표면이 더욱 거칠어 진다는 것을 알 수 있었다. 이때 +10V의 세정화 조건에서 평탄(root-mean-square roughness 0.6Å)하고 기판의 오염물질이 제거된 깨끗한 실리콘 표면을 얻을 수 있었다.

기판의 바이어스를 +10V로 유지하여 수소 이온의 유입량을 일정하게 고정시킨 가운데 세정화 온도를 변화시킨 실험에서는 세정화 온도를 440 $^\circ\text{C}$ 에서 세정화 온도를 385 $^\circ\text{C}$ 로 변화시켜도 *in situ* RHEED관찰에서는 streaky한 2 \times 1패턴이 관찰되었다. 그러나 335 $^\circ\text{C}$ 이하의 세정화에서는 spotty한 패턴이 관찰되었다. *ex situ* AFM을 이용한 표면 거칠기의 관찰 결과는 위의 *in situ* RHEED결과와 일치하였다. 세정화 온도가 335 $^\circ\text{C}$ 일 경우 기판의 거칠기가 최대값을 보였고 세정화 온도가 더 낮아질수록 기판의 거칠기가 서서히 감소하였다. 이러한 표면 거칠기의 온도 의존성의 원인을 밝히기 위한 TEM 및 HRTEM분석에서 335 $^\circ\text{C}$ 이하에서는 세정화 온도가 증가할수록 {111} platelet의 성장이 관찰되었고 그 이상의 온도에서는 {111} platelet의 형성이 관찰되지 않았다. 이 {111} platelet는 수소원자가 Si-Si결합을 끊고 Si-H결합을 형성한 것이므로^[2] 기판 표면영역에 {111} platelet가 형성되면 {111}방향으로 Si-H결합이 존재하는 것으로 생각할 수 있다. 이러한 {111} platelet는 {111}방향의 식각속도를 줄여주게 되어 표면을 거칠게 한다. 그러므로 335 $^\circ\text{C}$ 부근에서 {111} platelet의 성장이 최대로 발생하였으므로 기판 표면의 식각이 {111} platelet주변에서 깊이 발생하여 표면 거칠기가 최대값을 보이는 것으로 생각한다. 그러나 385 $^\circ\text{C}$ 이상의 세정화의 경우 수소의 빠른 확산에 의해서 {111} platelet형성이 억제되므로 수소 플라즈마에 의한 세정

화에 의한 표면의 거칠어짐은 유발되지 않았다. 또한 표면 거칠기가 최대값을 보이는 335°C 세정화 온도에서 기판의 바이어스를 +100V, 마이크로 웨이브 파워를 25W, 마그네트 전류를 40A, 수소 압력을 11 mTorr로 유지하여 수소 이온의 입사를 억제할 경우 기판을 30분 동안 수소 플라즈마에 노출시켰음에도 불구하고 streaky한 2×1의 RHEED패턴을 얻을 수 있었다. 그러므로 세정화 온도가 낮아질수록 수소 이온의 입사량을 줄여주어야 표면이 거칠어지지 않는다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

440°C에서 실리콘(100)기판의 전자 광명 수소 플라즈마 세정화시 수소 이온의 입사량이 표면 거칠기에 영향을 주었다. 일정한 수소 이온이 입사할 때 세정화 온도가 낮아질수록 표면의 거칠기는 갑자기 증가하다가 335°C 부근에서 최대값을 보이고 서서히 감소하는 경향을 관찰하였다. 이러한 표면 거칠기의 온도 의존성은 기판 표면 영역에 수소 이온에 의해 형성된 {111} platelet결함 형성 및 성장과 밀접한 연관을 가지고 있는 것으로 생각한다.

5. 참고문헌

- [1] T. Hsu, B. Anthony, R. Qian, J. Irby, S. Banerjee, A. Tasch, S. Lin, H. Marcus, and C. Magee, *J. Electron. Mater.* **20**, 279(1991).
- [2] N.M. Johnson, F.A. Ponce, R.A. Street, and R.J. Nemanich, *Phys. Rev. B* **35**, 4166(1987).
- [3] M. Ishii, K. Nakashima, I. Tajima, and M. Yamamoto, *Jpn. J. Appl. Phys.* **31**, 4422(1992).
- [4] H.-S. Tae, S.-H. Hwang, S.-J. Park, E. Yoon, and K.-W. Whang, *Appl. Phys. Lett.* **64**, 1021(1994).



Fig. 1 HRTEM micrograph for a Si surface after 3-min hydrogen plasma cleaning at 240°C showing the rough surface topography and the {111} platelet defects in the subsurface region is strongly related to the rough surface topography.