

## 초고진공 전자 사이클로트론 공명 화학 기상 증착 장치에서 기판 DC 바이어스가 *in situ* 플라즈마 세정 및 저온 실리콘 에피 증착에 미치는 영향

태홍식, 황석희, 박상준, 윤의준, 황기웅

서울대학교 전기공학과 및 무기재료공학과

600℃ 이하의 저온에서 양질의 실리콘 에피 성장은 Si-based heterostructure 소자 제작을 위한 가장 필수적인 공정들 중의 하나가 되었고 저온 실리콘 에피탁시에 있어서 초고진공 분위기의 이용은 이제는 잘 알려진 일이다. 그렇지만 몇몇 기법들은 *in situ* 세정 능력을 갖추지 못했고 에피층과 기판사이의 세정정도가 단지 HF dip후의 불완전한 수소의 termination에 의존하고 있다. 플라즈마 세정은 저온에서 기판 표면에 존재하는 산소나 탄소와 같은 불순물을 비열적으로 제거할 수 있는 방법이다. 그렇지만 통상적인 플라즈마 세정은 아르곤에 의한 physical sputtering을 이용하고 따라서 defect-free 에피탁시를 위해서는 이온에 의해 야기된 damage가 annealing되어야 한다. 따라서 아르곤 플라즈마 세정대신 수소 플라즈마를 이용한 세정이 여러 그룹에서 이용되고 있다. 초고진공 전자 사이클로트론 화학 기상 증착에서 수소의 ECR-플라즈마에 의한 해리는 상당한 양의 수소 원자와 이온을 생성하므로 짧은 시간동안 실리콘 기판이 수소 플라즈마에 노출되어도 reflection high energy electron diffraction (RHEED)에 의해 관측한 결과 실리콘 표면이  $1 \times 1$  에서  $2 \times 1$  구조로 reconstruction되는 것이 확인되었고, 수소 플라즈마로 세정된 실리콘위에 성장된 에피층에 대한 secondary ion mass spectroscopy (SIMS)에 의한 분석결과는 기판과 에피층사이의 계면에 산소나 탄소의 pile-up이 관측되지 않았다.

플라즈마 파워, 기판으로부터 ECR layer의 떨어진 정도, 기판 온도, 전체 입력, 그리고 기판 DC 바이어스가 *in situ* 수소 플라즈마 세정과 저온 실리콘 에피탁시에 미치는 영향이 RHEED, cross-section transmission electron microscopy (XTEM), plan-view TEM, and high resolution TEM (HRTEM)에 의하여 분석되었다. 기판 온도 560℃, 마이크로 웨이브 파워 100W, 그리고 floating 기판에서 2분 동안 수소 플라즈마로 처리한 결과 비록 RHEED 분석은 선명한 half-order streak을 갖는  $2 \times 1$  reconstruction을 보여주고 있으나 plan-view TEM 분석은 high density의 defect가 생성되었음을 보여주고있다. 또한 cross section TEM은 70~100nm 길이의 defect가 생성되었음을 보여주고 있으며 high resolution TEM은  $\{111\}$ ,  $\{001\}$  planar defect가 생성되었음을 보여주고 있다. 수소 플라즈마 세정시 발생하는 damage production은 기판에 +10V DC 바이어스를 인가함으로써 억제되었다. defect-free한 깨끗한 실리콘위에  $\text{SiH}_4/\text{H}_2$  플라즈마를 이용한 실리콘 에

피증착 실험이 다양한 조건에서 수행되었다. 플라즈마 증착동안 기판 DC 바이어스는 근본적으로 성장되는 실리콘의 결정구조를 -50V의 음의 바이어스에서 다결정 실리콘으로 부터 +10V 이상의 양의 바이어스에서 단결정 실리콘 구조로 바꾸어 준다. 기판 온도 560℃, +10V이상의 DC 바이어스가 인가된 조건에서 마이크로 웨이브 파워, ECR layer의 위치, 및 전체압력을 최적 제어한 결과 양질의 무전위 ( dislocation-free ) 실리콘 에피층을 얻었다. ECR 플라즈마를 이용한 저온 에피택시에서 종종 기판 바이어스는 무시되어왔다. 그렇지만 우리의 실험결과는 *in situ* 세정과 플라즈마 증착시 이온 에너지의 정확한 조절이 UHV-ECRCVD에 의한 저온 실리콘 에피택시에 있어서 매우 중요하며 기판 DC 바이어스가 가장 효과적인 변수임을 보여준다.

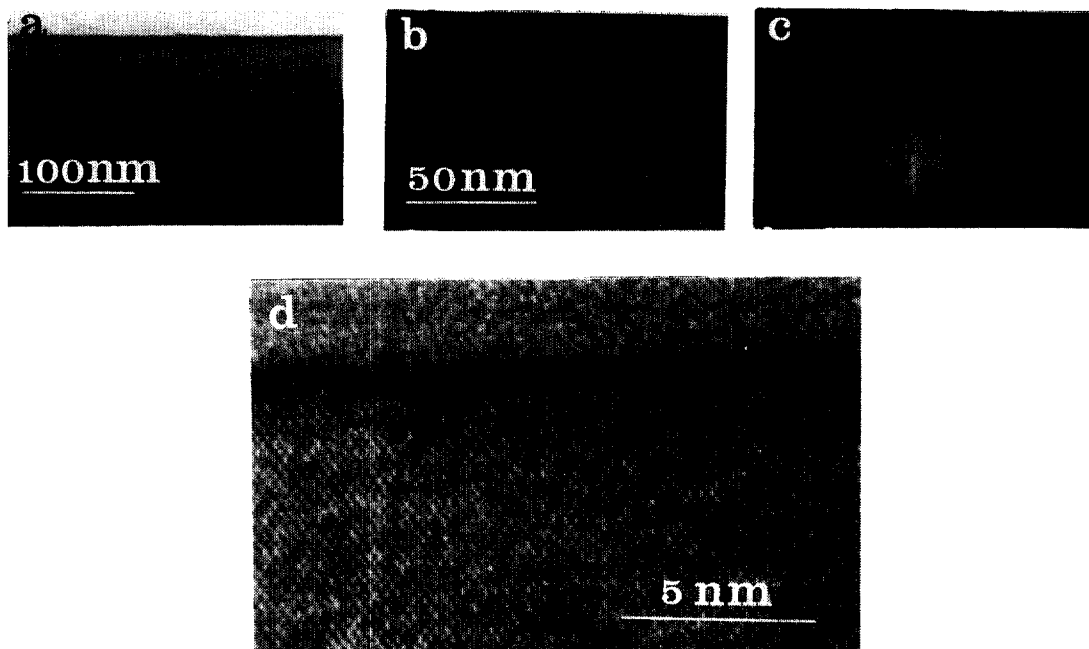


그림 1. UHV-ECRCVD장치에서 +10V 조건에서 수소 플라즈마로 세정된 damage-free 한 실리콘 기판위에 +100V 조건에서 SiH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> 플라즈마로 성장된 무전위 실리콘 에피층에 대한 ( a ) cross section TEM, ( b ) plan-view TEM, ( c ) RHEED, ( d ) high resolution TEM