

고에너지 P 이온 주입한 실리콘에 형성된 격자 결함에 관한
고분해능 투과전자현미경 연구
(A high-resolution transmission electron microscopy study on the lattice defects
formed in the high energy P ion implanted silicon)

한국과학기술원 재료공학과 장기완, 이정용
홍익대학교 금속재료공학과 조남훈, 노재상

1 MeV 이상의 고에너지 이온 주입 기술은 retrograde well 형성 및 buried layer 형성에 응용되어 차세대 반도체 제작 기술로 최근 각광받고 있다. 또한 고에너지 이온 주입 기술의 응용은 소자의 집적도 증가, 제조 공정의 단순화, 고온 공정의 생략, 소자 활성 영역의 불순물이나 결함들을 비활성 영역으로 끌어 들여 존재 범위를 제한시키는 gettering 등의 많은 장점이 있다. 하지만, 고에너지 이온 주입후 열처리시 기존의 저에너지 주입의 경우와는 달리 이온 투영 범위(projected range, R_p) 근처에 집중된, 매우 안정적인 이차 결함(secondary defect)들이 형성된다. 본 연구는 실리콘 기판에 3 MeV의 고에너지로 P 이온을 주입하고, 열처리 전후에 존재하는 격자 결함들을 고분해능 투과전자현미경을 사용하여 원자 단위로 연구하였다.

이온 주입은 CZ (001) Si 웨이퍼 표면에 P 이온을 3 MeV의 에너지와 1×10^{15} ions/cm²의 조사량으로 주입하였다. 이온빔에 의한 열처리 효과를 막기 위해 이온빔 전류 밀도를 0.17 μ A/cm²로 하였다. 열처리는 시편을 vacuum sealing 하여 로에서 550°C- 1000°C에서 30 분- 1 시간 하였다. 단면 TEM 시편은 2-ton epoxy를 사용해서 sandwich 구조를 만든후 기계적 연마와 Ar ion milling을 통해 제작되었다.

그림 1은 이온 주입후 열처리 조건에 따른 실리콘 기판의 단면 투과전자현미경 명 시야 상(bright-field image)이다. 이온 투영 범위 근처에 분포하고 있는 검은 명암을 보이는 지역은 격자 결함이 형성하는 결함띠로서, DR(Defect region)로 표시하였다. 열처리 온도가 증가에 따라 결함띠의 폭이 상단부로부터 조금씩 줄어들지만 결함띠의 하단부는 거의 움직이지 않았다. 열처리를 하지 않은 시편에서 일차 결함(primary defect)들인 Lomer 전위, 60° 완전 전위, 적층 결함 등이 결함띠 내에 존재하였다. 이 결과로 점 결함 군집체(point defect cluster) 뿐 아니라 확장된 결함(extended defect)들이 열처리 하지 않은 상태에서 형성될 수 있음을 밝혔다. 이온 주입후 열처리시 침입형 Frank 루프, 60° 완전 전위, 석출물, 완전 전위 루프, <112> 막대 모양 결함등이 열처리 온도 및 시간에 따라 결함띠 내에 존재하였다. 1000°C, 1 시간 열처리시 이차 결함띠는 이차 결함들의 분포에 따라 두 부분으로 나누어졌는데, 이를 그림 2에 나타내었다. A 부분은 결함띠의 상단부로서 작은 완전 전위 루프들이 존재하고, B 부분은 결함띠의 하단부로서 작은 완전 전위 루프, 성장한 prismatic 루프와 <112> 막대 모양 결함들이 고밀도로 존재한다.

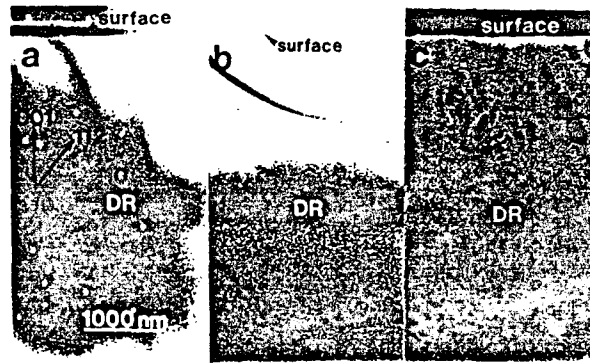


Fig. 1. Bright-field cross-sectional TEM micrographs of the silicon specimens implanted with 3 MeV P at a dose of 1×10^{15} ions/cm² (a) as-implanted (b) 550°C-30min.-Anneal (c) 700°C-30min.-Anneal

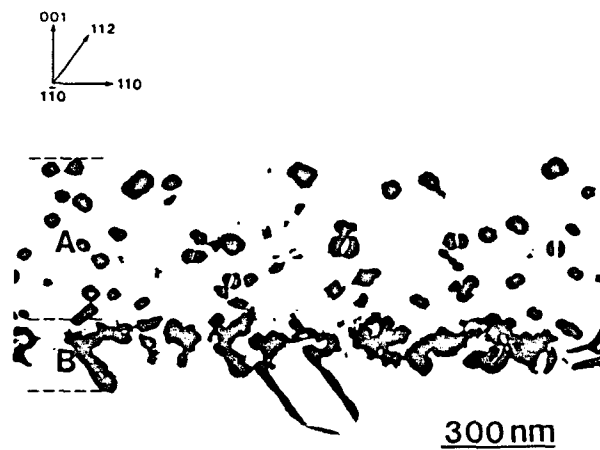


Fig. 2. Bright-field cross-sectional TEM micrograph of defect band in the 1000°C-60min annealed specimen.