

MeV 이온주입된 단결정 실리콘내의 이차결합 형성기구

Atomistic Mechanism of Secondary Defect Formation in MeV Ion Implanted Silicon

홍익대학교 금속·재료공학과

조남훈[✉] 노계상

초고집적 회로 제조 공정에 MeV 이온주입 기술의 응용이 최근 주목을 받고 있다. 차세대 CMOS 회로의 well 제조 기술 중의 하나인 retrograde well 형성 공정과 buried layer 제조시 MeV 이온주입이 수반된다. MeV 이온주입 기술을 응용함으로써 latchup 및 soft-error 등의 전기적 특성과 소자의 집적도를 향상시킬 수 있다. 그러나 MeV 이온주입시 생성되는 격자결합은 고온열처리에도 매우 안정함으로 격자 결함 거동의 정확한 이해가 필요하다.

Cz p-type Si (100) Wafer에 Tandem Accelerator를 사용하여 1 ~ 3 MeV Si, P, B 및 C 이온주입을 실시하였다. 사용된 조사량은 $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 범위였으며 각각의 시편은 관상로에서 열처리하였다. 격자결합의 분석을 위하여 XTEM, RBS, DCXRD 및 SIMS가 사용되었다.

MeV 이온주입시 조사량 증가에 따르는 일차결합의 형성 과정을 관찰하기 위하여 RBS 분석을 실시하였다. 2 MeV Si⁺ 이온주입 한 시편에서 격자결합은 R_p 부근에 집중되었으며 조사량 증가시 이곳에서만 격자결합이 증가하였다. 반면 표면부근은 임계조사량 이상에서 쉽게 포화되어 결함의 밀도가 낮은 수준으로 유지되었다. XTEM 관찰 결과 MeV 이온주입시 발생한 일차결합들은 dark band의 형태로 관찰되었으며 표면부근에는 어떠한 격자결합도 발견할 수 없었다. 열처리시 Si 자기 이온주입된 시편의 일차결합은 이차결합으로 성장하였고 as-implanted시 XTEM상 dark band가 관찰된 시편으로부터 이차결합이 발견되었다. 일차결합의 이차결합 성장을 위한 열역학적 구동력을 규명하기 위하여 모재변형을 민감하게 검출하는 DCXRD 분석을 실시하였다. 3 MeV P⁺ 이온주입된 시편의 as-implanted, 550°C-30min 및 700°C-30min 열처리 온도 증가시 모재내에 축적되어 있는 격자변형이 감소하였고 XTEM 관찰 결과 변형 감소와 더불어 이차결합이 형성되었다. 즉 이차결합 형성의 열역학적 구동력은 모재내에 축적된 변형에너지임을 확인하였다. 이차결합 형성에 미치는 dopant activation의 영향을 관찰하기 위하여 isochronal annealing을 수행하였다. 1.5 MeV B⁺ $3 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ 이온주입된 시편의 XTEM 관찰 결과 as-implanted 시편에서 격자결합을 발견할 수 없었으나 열처리 온도를 상승시킴에 따라 dopant activation에 결과 이차결합이 점차 증가하는 양상을 보였다. 열처리시 R_p 근처에 발생하는 이차결합을 형성하는 주된 요체는 Si self interstitial이라는 것이 규명되었다. Interstitial 우세 영역은 Frenkel separation과 열처리시 dopant activation의 두가지 효과에 의하여 형성되어질 수 있음을 분석하였다. 이차결합의 형성은 일차결합의 농도와 특히 이온종류에 관계있으며 본실험 결과 B, P, Si 및 C 순으로 이차결합 형성이 용이하였다. 특히 C 이온주입된 시편에서는 $1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 이상의 고조사량 이온주입시에도 어떠한 dislocation 형성도 TEM으로 관찰할 수 없었다. 따라서 전술한 2가지 self interstitial 발생 요인 이외에도 주입 원자와 모재원자와의 상호작용도 고려되어야 함을 관찰하였다. 실험 결과들을 토대로 MeV 이온주입시 이차결합 형성의 원자적 기구가 제시되었다. 형성된 이차결합층은 모재 내부에 존재하는 oxygen 등의 불순물들을 포획하는 효과적인 gettering site로 작용하였다.