

고에너지 이중이온주입( $3 \text{ MeV P}^+ + 3 \text{ MeV C}^+$ ) 한 실리콘의 결함거동

( Defect Behavior of a Doubly Implanted ( $3 \text{ MeV P}^+ + 3 \text{ MeV C}^+$ ) Silicon )

홍익대학교 금속·재료공학과 조남훈, 허태훈, 노제상

차세대 CMOS 소자 제조를 위한 retrograde well 및 buried layer 형성 기술에 고에너지 이온주입 기술( $\geq 1 \text{ MeV}$ )의 응용이 최근 주목받고 있다. Multiple high energy implantation을 사용하여 에너지 및 조사량을 독립적으로 조절함으로써 제조된 profiled retrograde well은 latchup 특성을 포함한 소자의 전기적 특성들을 향상시킨다. 나아가 well 하단부(표면으로부터 수  $\mu\text{m}$  이하)에 고농도로 doping된 buried layer를 형성함으로써 latchup 및 soft error 방지 등의 전기적 특성을 더욱 개선시킬 수 있다. 고에너지 이온주입 기술을 사용하는 경우 표면으로부터 수  $\mu\text{m}$  정도의 깊이까지 dopant 주입이 가능하며 열처리 공정이 종래의 thermal drive-in 공정에 비하여 매우 짧다는 장점을 가지고 있다. 기존 CMOS구조의 well 제조시 수행하였던 thermal drive-in 공정은 어느 의미에서는 gettering 공정을 포함하고 있는데 반하여 고에너지 이온주입에 의한 retrograde well 공정은 그러한 과정이 생략되어 있다고 판단된다. 그러므로 신뢰성 있는 소자 제조 및 수율 향상을 위해서는 격자결합 및 불순물들을 최소화하는 gettering 기술이 확보되어야 한다.

고에너지 이온주입기술을 사용한 gettering은 제거 대상에 따라 불순물 gettering과 격자결합 gettering으로 나누어질 수 있다. 고에너지 이온주입기술에 의한 gettering 연구는 최근에 이루어지고 있으며 특히 격자결합의 gettering 기구에 관한 정확한 해석은 아직 정립되어 있지 못한 실정이다. 본 연구에서는 격자결합에 관한 gettering의 주된 기구를 규명하고자 carbon 이온주입을 실시하였다. Carbon 이온은 경량 원소이므로 낮은 이온주입에너지로도 큰 Rp 값을 얻을 수 있는 장점과 열처리에 의해 이차결합을 형성하지 않는 특이한 현상을 보이는 원소이다. 인위적으로 모재내에 P 이온주입에 의해 격자결합층을 형성시키고 그 하단에 C 이온주입하여 격자결합층간의 상호작용을 연구하였다. 고에너지 이온주입된 시편의 결함거동에 관련될 수 있는 net defect의 개념을 도입하여 일차결합층의 위치를 조절함으로써 격자결합제거를 위한 극한조건의 모델실험을 수행하였다. 본 연구는 모델실험을 통하여 격자결합의 gettering에 관한 원자기구의 제시 및 carbon의 높은 불순물 gettering 효과에 관한 원인을 규명하는데 주 목적을 두고 있다.

우선 실험을 실시하기 이전에 TRIM-code를 사용하여 시행착오 방법으로 결함을 소거할 수 있는 최적 이온주입 조건을 인위적으로 구하였다. 본 모델실험의 구성은 3가지로 이루어져있다. 첫번째로  $3 \text{ MeV P}^+$ ,  $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 의 이온주입을 실시하였다. 이후 열처리에 따른 격자결합의 거동이 관찰되었다. 두 번째로  $3 \text{ MeV C}^+$ ,  $1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 의 이온주입을 실시하여 격자결합 거동을 분석하였다. 최종적으로 하나의 시편에 2가지 조건으로 동시에 이온주입하여 각각 이온주입된 시편과 상호 비교하였다. Cz P형 (100) 실리콘웨이퍼에 NEC Tandem Accelerator를 사용하여 고에너지 이온주입을 실시하였다. Channeling 방지를 위하여 시편은 7° 기울였다. 각각의 시편은  $550^\circ\text{C} \sim 1000^\circ\text{C}$ 에서 30~60분간  $\text{N}_2$  분위기를 유지한 관상로에서 열처리하였다. 모재내에 발생한 격자결합의 분석을 위하여 XTEM (cross sectional transmission electron microscopy)과 DCXRD (double crystal X-ray diffractometry)가 사용되었다. Rocking curve 분석시  $\text{Cu K}\alpha_1$  X-ray 빔을 사용하였으며 기준단결정은 (100) 표면을 갖는 실리콘 결정으로 이루어졌다. 측정된 rocking curve는 RADS(rocking curve analysis by dynamical simulation)을 사용하여 변형량을 분석하였다.

고에너지 이온주입에 의해 발생한 격자결합들은 모재의 깊숙한 영역인 Rp 부근에 집중되어 있었다. 발생한 일차결합은 열처리에 의해 이차결합의 형태를 취할 수 있었으며 이온종류에 크게 영향을 받았다. 즉 P 이온주입에 의해 발생한 일차결합은 열처리시 이차결합을 형성하는 반면 C의 경우에는 이차결합으로 성장하지 못하였다. 이러한 이차결합의 형성은 일차결합들의 strain relaxation의 결과임을 DCXRD 관찰을 통하여 확인할 수 있었다. 모델 실험을 통하여 MeV 이온주입에 의한 격자결합 gettering의 원자적 기구는 공간적으로 분포를 달리하고 있는 vacancy와 interstitial의 상호결합이 주된 기구로 작용함을 알 수 있었다. 또한 carbon 이온의 뛰어난 불순물 gettering 효과는 열처리를 통하여도 감소하지 않고 남아있는 커다란 변형량에 의한 응력장 효과임이 밝혀졌다.