

MeV 이온주입된 실리콘의 열처리시 불순물과 이차결합간의 상호작용 (Impurity-Defect Interactions in MeV Ion Implanted Silicon Upon Annealing)

홍익대학교 금속·재료공학과 장윤택, 노재상

1. 서론 :

최근 초고집적 CMOS 소자 제조에 고에너지 이온주입에 의한 retrograde well 및 buried layer 형성 기술이 주목받고 있다. 다단계 고에너지 이온주입 기술을 이용하여 제작된 retrograde well은 hot carrier 조절, punch-through, latchup 및 soft error 방지 등의 전기적 특성 면에서 유리하다. 나아가 well 하단에 고농도로 doping된 buried layer를 형성함으로써 latch-up 및 soft error rate 등 소자의 전기적 특성을 더욱 향상시킬 수 있다. 고에너지 이온주입에 의한 격자결함은 dopant activation 등의 공정 중 대부분 제거되지만 R_p 부근에 형성되는 이차결함은 고온 장시간의 공정에 의해서도 제거되지 않는다. 그러나 이러한 이차결함은 소자구동영역내 존재하는 불순물에 대해 효과적인 gettering site로 작용한다. 그러므로 고에너지 이온주입 기술을 실제 소자 제조에 적용하기 위해서는 이온주입에 의해 형성된 격자결함의 열처리 거동과 모재내 불순물과의 상호관계에 대한 연구가 수행되어야 한다. 본 연구에서는 B, P, Si 이온주입에 의하여 생성된 이차결함과 실리콘 모재내에 존재하는 oxygen과의 상호작용을 분석하였다.

2. 실험방법 :

Czochraski 법으로 성장시킨 p-type Si(100) wafer에 조사량 $1 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 에서 1.5 MeV B^+ , 3 MeV P^+ , 2 MeV Si^+ 이온주입을 실시하였다. 이온주입된 시편은 N_2 분위기 관상로에서 열처리하였다. 이온주입된 시편의 격자결함과 열처리 거동은 TEM, RBS 및 DCXRD 등을 이용하여 관찰하였다. RADS(rocking curve analysis by dynamical simulation)에 의해 깊이에 따른 변형 분포를 분석하였다. 이차결함과 모재내의 불순물과의 상호작용을 조사하기 위하여 SIMS 분석을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰 :

RBS 분석에 의하면 2 MeV Si^+ $5 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 로 이온주입시 격자결함은 표면으로부터 고립된 R_p 근처에 집중되며 조사량이 증가함에 따라 함께 증가하나 표면층의 격자결함은 쉽게 포화되는 것이 관찰된다. 이는 MeV 이온주입시 표면 부근에는 electronic energy loss가 우세하고 주입에너지를 상당히 잃는 모재 내부에서 결합 생성의 주된 원인인 nuclear energy loss가 우세하여지기 때문이다. XTEM 관찰 결과 as-implanted시 R_p 부근의 결함층은 dark band의 형태로 관찰되었고 열처리시 이차결함은 이곳으로부터 형성되었다. 2 MeV Si^+ 자기 이온주입시 이차결함이 형성되는 임계조사량은 $3 \times 10^{14} \sim 5 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ 사이로 관찰되었다. 3 MeV P^+ , $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 이온주입된 시편의 550°C-30분 열처리한 경우 표면으로부터 (+)변형이 형성되기 시작하여 약 $2.3 \mu\text{m}$ 에서 최대 7×10^{-4} 의 변형을 나타낸 후 급격히 감소하였다. 반면 700°C로 열처리 온도를 증가시킴에 따라 표면으로부터 $1.8 \mu\text{m}$ 부근까지의 변형은 완전히 제거되었고 약 $1.8 \mu\text{m}$ 에서 $2.5 \mu\text{m}$ 구간에서의 변형량도 2.9×10^{-4} 으로 감소하였다. XTEM 관찰 결과 열처리 온도 증가에 따라 변형 감소와 더불어 R_p 부근에 이차결함이 형성되었다. 즉 이차결함 형성의 열역학적 구동력은 모재내에 축적된 변형에너지임을 확인하였다. SIMS 분석에 의하면 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^2$, 2 MeV Si^+ , 1.5 MeV B^+ 로 각각 이온주입된 시편의 1000°C-60분 열처리시 DCXRD 결과 (+) 변형이 형성된 영역에서 모재내 존재하는 oxygen이 gettering 되는 것을 관찰하였다. 반면 2 MeV Si^+ , $1 \times 10^{16}/\text{cm}^2$ 이온주입 후 1000°C-60분 열처리시 R_p 영역에서는 특별한 oxygen peak이 없고 표면으로부터 $0.5 \sim 1 \mu\text{m}$ 영역에서 oxygen peak이 관찰되었다. 시편의 TEM 분석 결과 표면으로부터 매몰된 연속적인 비정질층은 solid phase epitaxy 성장하여 oxygen gettering 효과가 낮은 반면 표면 부근에서는 vacancy type의 결함농도 증가에 의해 커다란 oxygen gettering 효과를 나타내었다.

4. 참고문헌 :

- 1) K. Tsukamoto, S. Komori, T. Kuroi and Y. Akasaka, Nucl. Instr. and Meth., B59/60 (1991), p584
- 2) T. Kuroi, Y. Kawasaki, S. Komori, K. Fukumoto, M. Inuishi and K. Tsukamoto, Extended Abstract of the 1992 conf. on Solid states Devices and Materials, Tsukuba, 1992, p398