1MeV 고에너지로 붕소(Boron)와 인(Phosphorus)을 이온주입 시 급속 열처리에 따른 도핑 프로파일

A Study on Boron and Phosphrous Doping Profile by RTA using 1MeV High Energy Ion Implantation

강희원, 전현성, 노병규, 조소행, 김종규, 김종준, 오환술

(H. W. Kang, H. S. Jeon, B. G. Roh, S. H. Cho, J. G. KIM, J. J. KIM, H. S. Oh)

전북대학교 전자공학과

1. 요 약

p형 실리콘 기판위에 100Å의 초기 산화막을 성장시킨 후 붕소(B)와 인(P)을 1MeV 이온주입 에너지로 4° tilting하여 붕소의 도즈량은 1×10^{13}[cm^{-2}]부터 5×10^{14}[cm^{-2}]까지, 인은 1×10^{13}[cm^{-2}]부터 1×10^{14}[cm^{-2}] 까지 변화시키며 이온 주입하였다.

이온주입 후 RTA로서 열처리 하였으며, 열처리 시간은 10초에서 40초까지, 열처리 온도를 1000℃에서 1100℃까지 변화하였다. 이 후 기판내의 불순물의 프로파일 및 미세 결함의 분포를 분석하기 위하여, SIMS, SRP, XTEM 분석을 실시하였고, 이를 Monte-Carlo 모델로서 시뮬레이션하여 비교하였다. SIMS 분석 결과 열처리 온도와 시간이 증가할수록 접합깊이가 증가하였고, 프로파일이 넓어짐을 볼 수 있다. SRP 측정에서 붕소는 주행거리(Rp)값은 1.8㎛~1.9㎛, 인의 경우는 1.1㎛~1.2㎛의 주행거리(Rp)값이 나타났다. XTEM 분석결과 붕소의 경우 열처리에 전후에도 결함을 볼 수 없었고 인의 경우 열처리 이후에 실리콘 결정내부에 있던 산소(O)와 인(P) 원자의 pinning효과에 의해 전위다이폴을 형성하여 표면손처로 성장함을 볼 수 있었다.

2. 서 론

소자의 고집적화에 의해 소자간 거리가 짧아짐에 따라 고 에너지 이온주입 방법을 이용 deep submicron CMOS 제조공정이 부각되어지고 있다. 이러한 고 에너지 이온주입에 의해 retrograde well의 형성이 가능해짐에 따라 CMOS구조에서 발생하는 latch up을 감소시킬 수 있으며, well형성시 발생하는 측면확산 문제를 줄일 수 있게 되었다. 또한 주입되어진 도펀트들의 활성화를 위해 고온에서 짧은 시간 열처리를 하는 RTA공정을 실시함으로서, 고온에서 장시간 열처리에 의한 도펀트들의 측면확산을 줄일 수 있다.

그러나 고 에너지로 주입된 이온에 의해 기판이 손상을 받음으로서, 도펀트들의 정확한 프로파일을 얻이 낼 수가 없기에 이온주입 후 도즈의 분포와 damage의 분포의 정확한 예측을 통한 반도체 소자의 크기를 감소시키려는 노력이 지속되어져 왔다.

특히 물리적인면에 기초를 둔 도핑 시뮬레이션은 서로 다른 이온 주입 조건에 따른 도핑프로파일을 보다 정확하게 이해하는데 기여하였다. 이러한 모델링중에서 이온주입시 채널링현상과 이온주입후 도펀트의 프로파일 형태와 결함사이의 상호 의존성에 의한 Monte-Carlo 모델을 이용하여 결함 축적 현상에 관해 조사하였다. 이러한 Monte-Carlo 모델은 도즈량의 증가에 따른 분포 모양의 변화 및 이온 충돌시 amorphous layer의 형성의 두가지 파라미터를 이용하는 Crystal-TRIM Code를 사용하였다.

3. 실험 방법

p-type (100) 방향의 10Ω-㎝의 저항율을 갖는 실리콘 웨이퍼에 초기 산화막을 100Å 성장 시킨 후, 붕소(B)와 인(P)을 GENUS사의 G1510 이온 주입기로 주입하였다. 이온주입 에너지는 1MeV로서 도즈량은 붕소(B)의 경우 1×10^{13}[cm^{-2}]~5×10^{13}[cm^{-2}], 인(P)은 1×10^{13}[cm^{-2}]~1×10^{14}[cm^{-2}]로 변화시키며 주입하였다. 이온주입 후 열처리는 RTA장정을 Heatpulse사의 AG-2146으로 수행하였다. 열처리 시간은 1000℃에서 1100℃까지, 열처리 온도는 10초에서 40초까지 변화시키며 실시하였다.

시료를 세작한 후 SRP를 이용하여 농도프로파일을 관찰하였으며, 이온주입시 발생한 결함을 관찰하기위해 XTEM 분석을 실시하였다.

4. 실험 결과

1. SIMS 측정

그림 1은 붕소를 1MeV, $3\times10^{13}[cm^{-2}]$ 이온주입후 열처리 시간은 10초로하고 열처리 온도가 1050℃, 1100℃에서 열처리 온도에 따른 SIMS 농도프로파일이다. 열처리 온도가 증가할수록 프로파일이 넓어지며, 주행거리가 증가하는 것을 볼 수 있다.

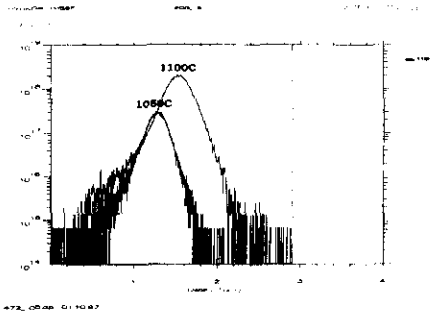

그림 1. 붕소를 1MeV, 3E13/cm^{2}의 도즈량으로 이온주입후 열처리 온도 변화에 따른 도핑프로파일

그림 2는 붕소를 1MeV, $3\times10^{13}[cm^{-2}]$ 이온주입후 열처리 온도를 1050℃에서 고정하고 열처리 시간을 10초, 40초인 경우이다. 열처리 시간이 클수록 주행거리가 기판 깊숙히 이동하며, 프로파일이 넓어지는 것을 볼 수 있다.

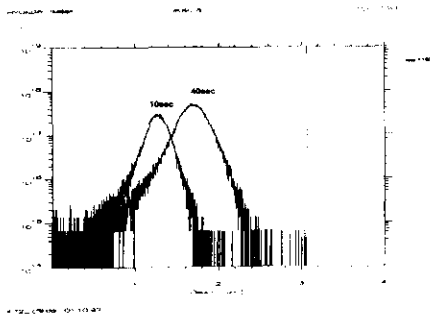

그림 2. 붕소를 1MeV, 3E13/cm^{2}의 도즈량으로 이온주입 후 열처리시간 변화에 따른 도핑프로파일

그림 3은 인을 1MeV, 5×10^{13} $[cm^{-2}]$ 이온주입한 후, 열처리 시간을 10초로 고정하고 온도를 1000℃, 1100℃로 할 때인 경우이다. 열처리 온도가 클수록 주행거리에서의 농도의 최대값이 증가하며 도핑 프로파일이 넓어진다.

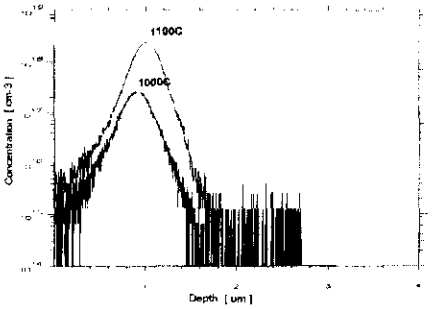

그림 3. 인을 1MeV의, 5E13/cm^{2}의 도즈량으로 이온주입후 열처리 온도 변화에 따른 도핑프로파일

그림 4는 인을 1MeV, 5×10^{13} $[cm^{-2}]$ 이온주입후 열처리 온도를 1050℃로 고정하고, 시간을 변화시킨 경우이다. 열처리 온도가 증가할수록 프로파일이 넓어지며, 주행거리가 증가하는 것을 볼 수 있다.

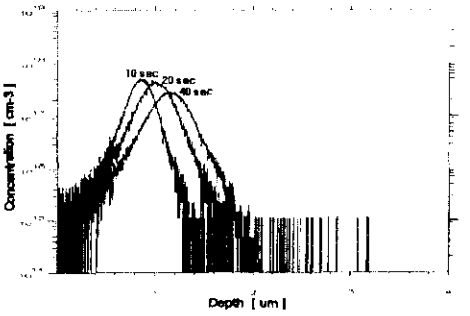

그림 4. 인을 1MeV, 5E13/cm^{2}의 도즈량으로 이온주입 후 열처리 시간 변화에 따른 도핑프로파일

2. SRP측정 및 시뮬레이션 비교

그림 5는 붕소를 1MeV, $3\times10^{13}[cm^{-2}]$ 이온주입후 열처리 시간은 10초로하고 온도를 변화를 줄 때 SRP 측정결과와 시뮬레이션 결과이다.

SRP 측정에서 주행거리는 1.8㎛로 측정되었으며, 시뮬레이션에서는 1050℃이하에서 1.9㎛로 나왔다.

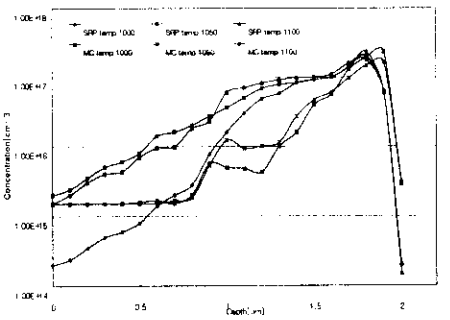

그림 5. 1MeV로 붕소 이온주입 후 열처리 온도에 따른 SRP프로파일과 시뮬레이션프로파일 비교 (도즈량 3E13/㎠, 열처리 시간 10초)

그림 6은 붕소를 1MeV, 3×10^{13}[cm^{-2}] 이온주입후 열처리 온도를 1050℃에서 고정하고 시간을 증가시킬 때 SRP 측정값과 시뮬레이션 계산값이다.
주행거리는 측정값은 1.8㎛로 측정되었고, 시뮬레이션에서는 1.9㎛로 나왔다. 그림 1, 2 모두 주행거리 근처에서의 도핑프로파일은 유사하나, 표면가까이에서 측정값인 SRP 프로파일과 계산값인 시뮬레이션 값에 오차가 발생하였다..

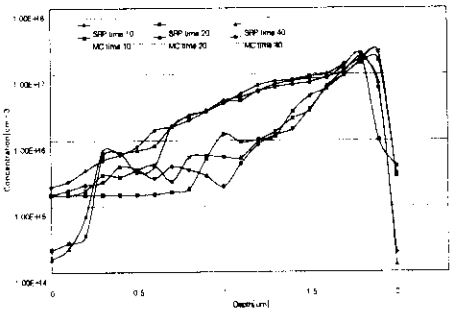

그림 6. 1MeV로 붕소 이온주입 후 열처리 시간에 따른 SRP프로파일과 시뮬레이션 프로파일 비교 (도즈량3E13/㎠, 열처리 온도 1050℃)

이는 붕소의 경우 이온주입 모델에서 scattering 계산시 사용되는 interatomic potential은 중성 입자로서 구해지는데 붕소를 고 에너지로 이온주입시 붕소이온이 부분적으로 strip되어 interatomic potential이 거리가 멀어짐에 높아져 충돌이 발생할 때 충돌각(scattering angle)의 증가를 가져온다. 이러한, 충돌각의 증가로 인하여 실제 실험에서는 dechannelin[1]을 일으키므로, 오차가 발생하는 것으로 사료된다.

그림 7은 인을 1MeV, 5×10^{13} [cm^{-2}] 이온주입한 후(), 열처리 시간을 10초로 고정하고 온도를 변화시킬때 SRP 측정값과 시뮬레이션 계산값을 비교한 것이다. 주행거리는 1.2㎛로서 측정값과 시뮬레이션 결과가 거의 일치하는 것을 보여주고 있다.

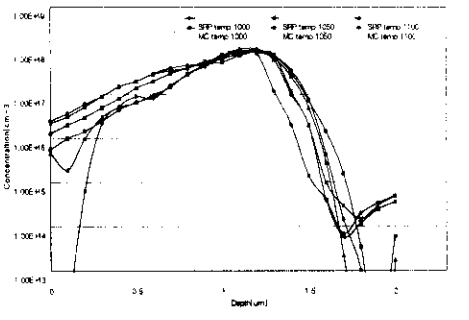

그림 7. 1MeV로 인 이온주입 후 열처리 온도에 따른 SRP프로파일과 시뮬레이션 프로파일 비교 (도즈량 3E13/㎠,열처리 시간 10초)

그림 8은 인을 1MeV, 5×10^{13}[cm^{-2}] 이온주입후 열처리 온도를 1050℃로 고정하고, 시간을 변화시켰을때 측정한 SRP 프로파일과 시뮬레이션 결과이다.

그림 3, 4에서 알 수 있듯이 인을 이온주입한 경우는 주행거리와 도핑프로파일 모두 계산값이 거의 일치함을 알 수 있다.

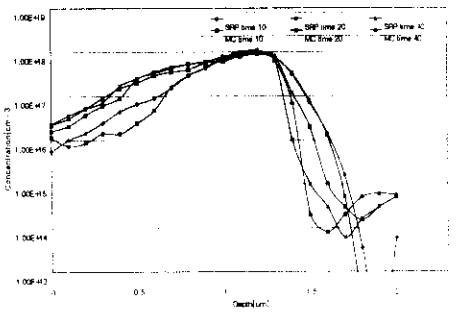

그림 8. 1MeV로 인 이온주입 후 열처리 시간에 따른 SRP프로파일과 시뮬레이션 프로파일 비교 (도즈량 3E13/㎠, 열처리 온도 1050℃)

3. XTEM 측정결과

그림 9와 그림 10은 붕소를 1MeV, 5×10^{13}[cm^{-2}]으로 이온주입후 as-implanted시료와 1050℃, 10초간 열처리한 시료의 XTEM 측정결과이다. as-implanted 시료에서 interstitial 또는 vancancy에 의한 집결합을 거의 무시할 수 있으므로 결함을 발견 할 수 없고 열처리 후에도 이온주입량이 5×10^{13} [cm^{-2}]에서 2차결함이 잔류하지않고 거의 완전히 결정성이 회복됨을 볼 수 있다.

그림 9. 붕소를 도즈량 5E13/㎠으로 이온주입한 시료 (as-implanted)

그림 10. 붕소를 5E13/㎠의 도즈량으로 이온주입후 1050℃, 10초간 열처리한 시료

그림 11과 그림 12는 인을 1MeV, 1×10^{14}[cm^{-2}]으로 이온주입후 as-implanted시료와 1100℃, 40초간 열처리 한 시료이다. 인의 경우 열처리 이전에 관측되지 않았던 결함이 열처리 이후에 관측되어 졌다. 이는 이온주입시 발생한 미소결함은 원자 크기로 매우 작기 때문에 관측되지 않았으나 주입량이 1×10^{14}[cm^{-2}]에서 열처리시 전위루프에 의한 이차결함이 발견되었다. 이것은 열처리 이후에 실리콘 결정내부에 있던 산소(O)와 인(P)원자의 pinning 효과에 의해 전위다이폴을 생성하여 표면근처로 성장하기 때문이라 사료된다.

그림 11. 인을 도즈량 1E14/㎠으로 이온주입한 시료 (as-implanted)

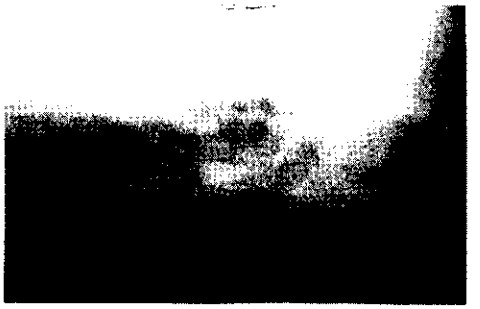

그림 12. 인을 1E14/㎠의 도즈량으로 이온주입후 1050℃, 40초 열처리한 시료

5. 결 론

실리콘에 1MeV의 에너지로 붕소와 인을 이온주입 후 열처리에 따른 농도프로파일과 점 결정결함을 관측하였다. SIMS 결과 열처리 온도가 증가하고 열처리 시간이 증가할수록 도핑프로파일이 넓어졌다. SRP 측정결과 이온주입후 주입되어진 도펀트들은 주행거리(Rp) 근처에 분포되었고 Monte-Carlo 결과와 비교하면 붕소의 경우 표면근처에서의 프로파일이 크게나왔고 이는 주입이온들의 dechanneling에 의해 발생한 것으로 사료된다. XTEM 분석결과, 붕소의 경우 5×10^{13} [cm^{-2}]에서 1050℃, 10초간의 열처리하면 결함을 볼 수 없었고 인의 경우는 1×10^{14} [cm^{-2}]에서 1100℃, 40초간 열처리하면 이온주입시 발생한 점 결함들이 이차결함으로 생성됨을 볼 수 있었다.

參 考 文 獻

[1] K. Tsukamoto, S. Kuroi and Y.Akasaka,"High energy ion implantation for ULSI" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B59/60, pp.584-591

[2] R.J. Schreutelkamp, W.X. Lu, J.R. Liefting,V. Raineri, J.S. Custer and F.W. Saris, "Reduction of Secondary Defect Formation in MeV As ion implanted Si(100)", *Nuclear Instruments and Method in Physics Research*, B59/60, pp614-618, 1991.

[3] M. Posselt, B. Schmidt, C.S. Murthy, T. Feudel, "Modeling of Damage Accumulation during Ion Implantation into Single-Crystalline Silicon"

[4] S. J. Morris, B. Obradovic, S. H. Yang, A. F. Tasch, " Modeling of Boron, Phosphrous, and Arsenic Implants into Single-Crystal Silicon over a Wide Energy Range" *IEEE IEDM* pp.28.5.1-28.5.4. 1996.

[5] Morris, Leonard Rubin, Dirk Wristers, "Buried Layer/Connecting Layer High Energy Implantation for Improved CMOS Latch Up", Proceeding of the Eleventh Internation Wesley Conference on Ion Implantation Technology, pp796-799, 1996.