

향상된 MDRANGE을 사용한 초미세 접합 형성에 관한 연구

강정원¹, 강유석¹, 손명식¹, 이강환², 변기량¹, 황호정¹

1)중앙대학교 전자공학과 2)김천 전문대학교

Tel : 02-820-5296, Fax : 02-825-1584, E-mail : kok@semi lab3.ee.cau.ac.kr

A Study on Ultra-Shallow Junction Formation using Upgraded MDRANGE

J.W. Kang¹, E.S. Kang¹, M.S. Son¹, K.H. Lee², K.R. Byun¹, and H.J. Hwang¹

1) Chung-Ang Univ. 2) Kim-Chun College

Tel : 02-820-5296, Fax : 02-825-1584, E-mail : kok@semi lab3.ee.cau.ac.kr

Abstract

We investigated the ultra-low energy B, P, and As ion implantation using ungraded MDRANGE code to form nanometer junction depths. Even at the ultra-low energies that were simulated in paper, it was found that channeling cases must be carefully considered. In the cases of B, channeling occurred above 500 eV, in the cases of P, channeling occurred above 1 keV, and in the cases of As, channeling occurred above 2 keV. Comparing 2D dopant profiles of 1 keV B, 2 keV P, and 5 keV As with tilts, we demonstrated that most channeling cases occurred not lateral directions but depth directions. Through thus results, even below 5 keV energy ion implant considered here, it is estimated that channeling effects are important in the formation of nanometer junction depths

1. 서론

급속한 반도체 제조 기술의 발전으로 인하여 2012년 경에는 MOS 소자의 채널 깊이와 접합 깊이는 각각 50nm와 20nm 영역이 될 것으로 예상된다.[1] 이온 주입 기술을 사용하여 나노 구조(nanostructure) 반도체 소자를 형성하기 위해서는 더욱 정교한 극 저 에너지 이온 주입이 요구된다. 이러한 극 저 에너지 이온 주입에 의해 형성된 나노미터 영역에 대한 시뮬레이션은 반드시 원자 단위에서 계산되고 연구되어야 한다. 원자단위 이온 주입 시뮬레이션을 위해서는 Monte Carlo 방법과 MD(molecular dynamics) 방법이 사용되고 있다. 응집물질(condensed matter) 내부와 표면에서 발생하는 현상들을 시뮬레이션하기 위해서는 MD 방법이 주로 사용되고 있다.[2-8] 그러나 MD 시뮬레이

션을 위해서는 계산량이 많기 때문에 주기적인 경계 조건을 사용하여 적은 수의 원자로도 좀더 현실적인 고려가 가능하도록 하고 있다. 이러한 주기적인 경계 조건을 사용한 시뮬레이션은 불순물의 1D 분포만을 얻을 수밖에 없으므로 차세대 GSI 소자 개발을 위하여서는 극 저 에너지 이온 주입에 따른 불순물의 1D 및 3D 분포를 예측해야만 한다. MD 방법을 사용한 이온 주입 시뮬레이션을 위하여 BCA(binary collision approximation) 방법에 사용하는 격자 생성 알고리즘을 적용하고, RIA(Recoil Ion Approximation) 방법을 사용하여 이온에 근접한 영역에 있는 원자들만을 대상으로 MD 계산을 수행하는 이온 주입 시뮬레이터인 MDRANGE[9]가 K. Nordlund에 의해서 개발되었다. 본 연구에서는 효과적인 MDRANGE을 반도체 공정에 알맞도록 개선하여 실리콘 반도체 소자 제조 공정에 사용되어지는 물질인 B, P, 및 As 극 저 에너지 이온 주입 시뮬레이션을 수행하여 불순물 원소에 따라서 이온 채널링 현상이 발생하는 에너지 영역과 불순물 분포에 관하여 연구한다.

2. MDRANGE 계산 방법 및 개선 사항

MDRANGE는 1 eV/amu - 1 MkeV/amu 에너지 영역에서 사용할 수 있으며 100 eV/amu - 100 keV/amu 에너지 영역에서 타당한 결과를 얻을 수 있는 시뮬레이터이다. 원자의 다음 위치와 속도를 계산하기 위하여 Smith - Harrison 알고리즘[10]과 계산 속도 향상을 위하여 VTS(variable time step)을 사용하고 있다. 주입된 이온만을 추적하기 위하여 RIA 방법을 사용하고, 이러한 이온과 주위의 실리콘과의 상호작용을 계산하기 위하여 시뮬레이션 셀(simulation cell)이 이온의 진행에 따라서 생성되어 일정한 실리콘

원자들로 분자 역할을 수행한다. 하지만, MDRANGE는 이온이 주입 영역이 $5.43 \text{ \AA} \times 5.43 \text{ \AA}$ 으로 1D 분포만을 얻을 수 있도록 되어 있다. 그러므로 본 연구에서는 반도체 소자의 극소형화에 인한 마스크 구조 및 도스에 따른 불순물 분포를 얻을 수 있도록 MDRANGE를 개선하였다.

3. 개선된 MDRANGE을 이용한 극 저 에너지 이온주입 시뮬레이션 결과 및 분석

그림 1은 에너지 500 eV, 도스 $3E+14$ 인 조건에서 MDRANGE와 SIMS[11] 데이터이다. SIMS와 MDRANGE 결과는 피크 값과 불순물 깊이 분포에 대해서 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

본 논문에서 시뮬레이션된 공정 조건은 $100 \text{ \AA} \times 100 \text{ \AA}$ 영역에 도스 $1E+15/cm^2$ 인 경우에 한하여 시뮬레이션 하였다. 극 저 에너지 이온 주입시 불순물에 따라서 채널링 현상이 발생하는 에너지 영역에 관하여 연구하기 위하여 이온 주입 방향에 $<100>$ 인 경우와 경사도 7° 인 경우를 비교하여 연구하였다. 표 1은 $100 \text{ \AA} \times 100 \text{ \AA}$ 영역에 도스 $1E+15/cm^2$ 으로 1000개의 붕소를 주입한 경우, 에너지, 실리콘 기판의 온도, 및 경사도에 따라서 실리콘 내부로 들어간 붕소의 개수 보여주고 있다. 온도가 에너지가 높을수록, 기판의 온도가 낮을수록, 경사도가 없을수록 더욱 많은 이온들이 실리콘 내부로 들어가는 것을 알 수 있다. 그림 2에서는 300 K에서 200 eV, 500 eV 및 1 keV 에너지 붕소 이온 주입시 경사도 7° 일 경우와 경사도 0° 일 경우 1D 분포의 차이를 보여주고 있다. 온도가 높을수록 원자들의 병진운동이 크기 때문에 이온들이 표면에 반발될 가능성이 많아진다. 200 eV인 경우, 경사도에 따른 차이가 거의 나타나지 않았지만, 500 eV와 1 keV인 경우에는 경사도에 따른 차이가 많이 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 차이는 500 eV와 1 keV 에너지 붕소 이온 주입인 경우에는 채널링 현상이 발생하기 때문이다. 하지만 200 eV인 경우에는 붕소 이온의 채널링이 거의 발생하지 않기 때문이다. 이와 같이 1 keV 이하의 극 저 에너지 붕소 이온 주입에서도 채널링에 대한 신중한 고려가 필요하다는 것을 알 수 있다.

그림 3-5는 극 저 에너지 인(P) 이온주입에 관한 1D 분포이다. 그림 3과 4에서 인의 경우 1 keV 에너지 이하에서는 경사도에 따른 불순물 분포에 큰 차이를 보이지 않는 것을 볼 수 있다. 하지만, 2 keV 이상이 경우에는 경사도에 따라서 농도 분포에 큰 차이를 보이고 있다. 또한 그림 5와 같이 5 keV 에너지 인 이온

주입인 경우 경사도에 따른 이온 채널링 영역이 절반 이상 줄어든 것을 볼 수 있다. 경사도 0° 에서 2 keV 인 이온 주입 결과와 경사도 7° 에서 5 keV 인 이온 주입 결과가 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 이와 같이 극 저 에너지 인 이온 주입시 에너지 1 keV 이하에서는 채널링 현상은 거의 발생하지 않지만, 1 keV 이상의 에너지에서는 채널링 현상에 대한 고려가 필요함을 알 수 있다.

그림 6은 0.5 keV 와 1 keV 에너지 비소(As) 이온 주입 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 경사도에 따른 농도 분포의 차이를 거의 보이지 않는 것을 볼 수 있다. 하지만 그림 7에서와 같이 2 keV, 4 keV, 및 5 keV 에너지 비소(As) 이온 주입시에는 경사도에 따라서 깊이 방향에 대한 농도분포가 절반이상 줄어든 것을 볼 수 있다. 그림 8과 9는 5 keV 비소(As) 이온 주입시 경사도에 따른 2D 분포를 보여주고 있다. 이와 같이 극 저 에너지 비소(As) 이온 주입시에도 채널링 현상에 대한 신중한 고려가 필요하다고 사료된다.

4. 결론

본 연구는 향상된 MDRANGE을 사용하여 극 저 에너지 이온 주입시 경사도에 관한 불순물의 농도 분포를 계산하였다. 경사도에 따른 불순물의 1D 분포를 통하여 이온의 종류에 따른 채널링 현상의 발생에 관하여 연구하였다. 붕소(B)는 500 eV 이상이 에너지 이온 주입시 채널링 현상에 대한 고려가 필요함을 알 수 있다. 또한 인(P)의 경우 1 keV 에너지 이상, 그리고 비소(As)의 경우 대략 2 keV 에너지 이상에서 채널링 현상이 발생할 것이라는 것을 시뮬레이션을 통하여 알 수 있다. 극 저 에너지 이온 주입 기술을 이용한 나노 영역의 접합 깊이 형성을 위해서는 채널링 현상이 반드시 고려되어야 될 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] "National Technology Roadmap for Semiconductors", SIA (1994)
- [2] Kenjiro SUGIO, Yoshiharu SHIMOMURA and Tomas D. de la RUBIA, JPSJ, Vol. 67, n3, pp. 882 (1998)
- [3] T. D. de la Rubia, N. Soneda, M.J. Caturra, and E.A. Alonso, J. Nuclear Materials, 251, pp. 13 (1997)
- [4] D.J. Bacon, A.F. Calder, and F. Gao, J. Nuclear Material, 251, pp1 (1997)
- [5] R.E. Stoller, J. Nuclear Materials, 233-237, pp. 999 (1996)
- [6] H.L. Heinisch, and B.N. Singh, J. Nuclear

Materials, 232, pp. 206 (1996)

[7] T.D. de la Rubia, J.M. Perlado, and M. Tobin, J. Nuclear Materials, 233-237, pp. 1096 (1996)

[8] M.J. Caturla, T.D. de la Rubia, L.A. Marques, and G.H. Gilmer, Phys. Rev. B 54, pp.16683 (1996)

[9] K. Nordlund, Comp. Mat. Sci. 3, pp. 448 (1995)

[10] Smith, Harrison, Computers in Physics Sep/Oct 1989, 68 (1989)

[11] N.E.B. Cower et al. MRS vol. 469, pp. 265 (1997)

표 1 200eV, 500eV, 1000eV 에너지 붕소 이온 주입시 실리콘 기판 내부로 들어간 붕소 불순물의 개수.

에너지 온도 및 경사도		200eV	500eV	1000eV
77K	tilt=0	876	914	952
	tilt=7	869	894	923
300K	tilt=0	872	914	948
	tilt=7	862	882	921
600K	tilt=0	859	890	926
	tilt=7	849	872	899

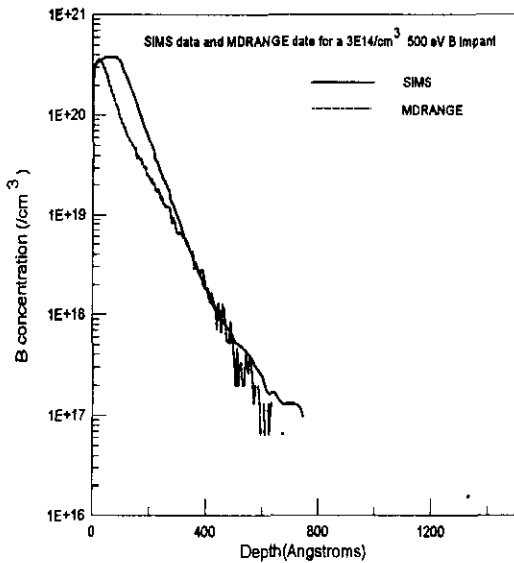


그림 1. SIMS data[11] and MDRANGE data for a 500 eV, $3 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ B implant

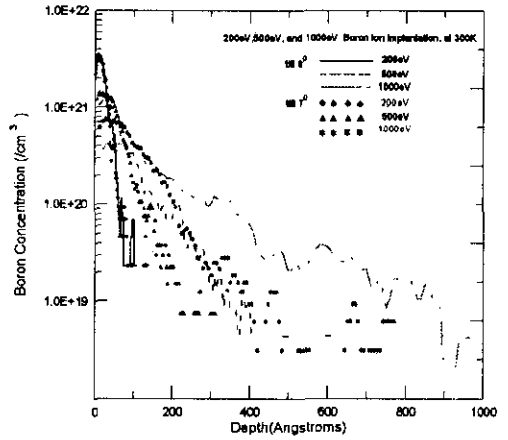


그림 2 그림 5. 300K, 200eV, 500eV, 1keV 에너지 붕소 이온 주입시 기울기 7°의 효과.

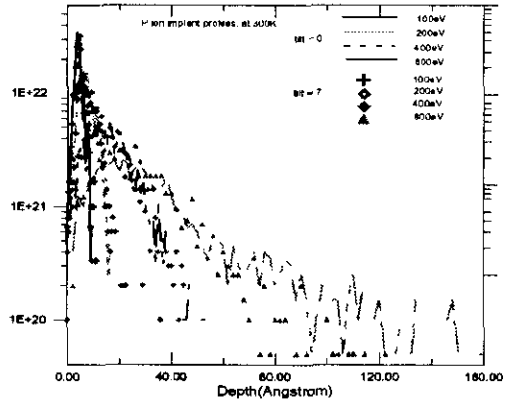


그림 3. 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 keV 인(P) 이온 주입 시물래이션.

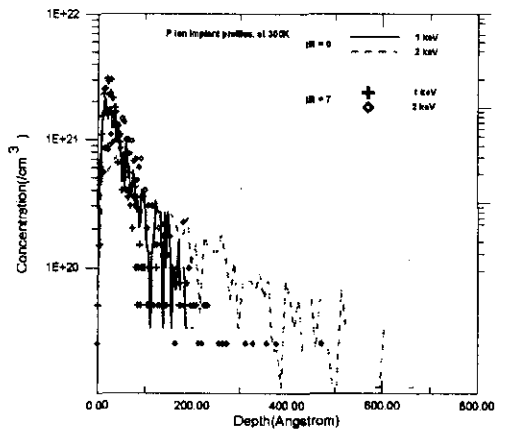


그림 4. 1 keV, 2 keV 인(P) 이온 주입 시물래이션

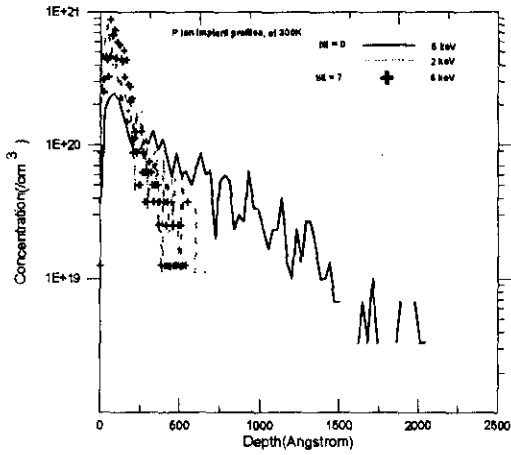


그림 5. 2 keV, 5 keV 인(P) 이온 주입 시뮬레이션

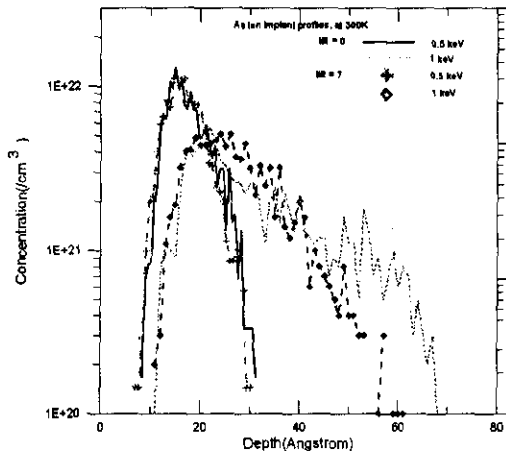


그림 6. 0.5 keV, 1 keV 에너지 As 이온 주입 시뮬레이션

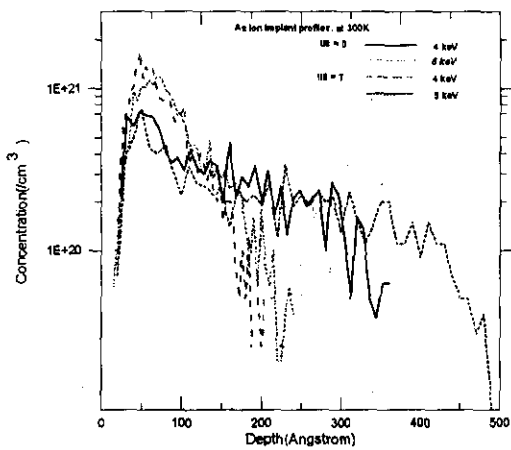


그림 7. 4 keV, 5 keV 에너지 비소(As) 이온 주입 시뮬레이션

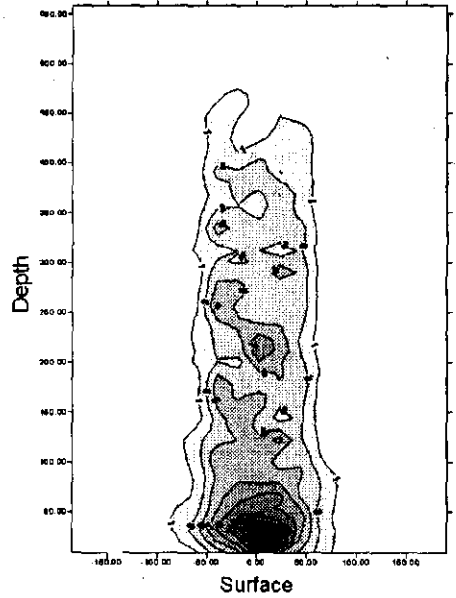


그림 8. 100Å×100Å 영역에 As 5keV, Tilt=0° 2D 분포

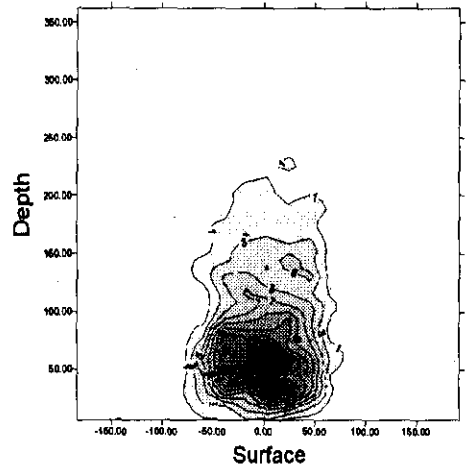


그림 9. 100Å×100Å 영역에 As 5keV, Tilt=7° 2D 분포