

Arsenic implantation graph comparing with Dopant diffusion simulation and 1-D doping simulation (performed by synopsys sentaurus process)

임주원
 전자전기공학부, 단국대학교, 경기도 용인시 수지구 죽전로152
 E-mail: lj224@naver.com
 박준성
 정보통신공학부, 광주과학기술원, 광주광역시 북구 첨단과기로123
 E-mail: quasarp@gist.ac.kr

본 논문에서는 3-stream model에 기반한 Dopant diffusion simulator를 사용하여 실리콘 기판 내부의 As이온의 확산을 시뮬레이션한 결과와 Dual-Pearson Analytic model에 기반하여 Ion implantation을 1-D doping simulation한 결과를 토대로 여러 공정·설계에서 diffusion simulator의 사용가능함을 확인하였다.

서론

Dopant diffusion simulator는 실리콘 기판 내부의 As이온이 확산되는 현상을, 파라미터로 받은 dose, energy, temp, duration 값으로 계산해주는 simulator이다. 이 중 dose와 energy값으로부터 이온 주입 직후의 As이온 분포를 계산하고, 확산 공정 이후의 분포는 temp 값에 따라 As이온, Interstitial, Vacancy의 확산에 고려하여 계산한다. 이를 사용하여 diffusion simulation 그래프가 Arsenic implantation 그래프와 일치함을 보인다.

Ion implantation은 반도체 재료에 불순물을 주입하는 공정으로 가장 널리 쓰이는 방법이며, Ion implantation이 기반을 둔 Dual-Pearson Analytic model은 최근 가장 진보된 분포함수이며, S process에 있어 default analytic implantation model이다.

Pearson distribution의 값 $p(x')$ 는 R_p , ΔR_p , γ_1 , β 의 파라미터로 나타내고 식은

$$P(x') = \frac{1}{2b_2} \ln(b_2 x'^2 + b_1 x' + b_0) - \frac{b_1/b_2 + 2a_0}{\sqrt{4b_2 b_0 - b_1^2}} \tan^{-1} \frac{2b_2 x' + b_1}{\sqrt{4b_2 b_0 - b_1^2}}$$

이다. 여기서 R_p 는 최고점의 위치, ΔR_p 는 무질서도, γ_1 는 비대칭도, β 는 첨도를 의미한다.

Dual Pearson의 경우는 가 표면영역의 분포를, 는 그보다 깊은 영역의 분포를 나타내며 위의 네 가지 파라미터가 두 세트 필요하다.

위치 x 에서의 농도 C 는

(N_0 분포의 최고점 농도, r : two pearson

functions의 비) 이다.

계산 방법

Diffusion simulation의 input parameter인

$$(x' = x - R_p, a_0 = -\frac{\gamma_1 \Delta R_p (\beta + 3)}{A}, b_0 = -\Delta R_p^2 (4\beta - 3\gamma_1^2)/A, b_1 = a_0, b_2 = -(2\beta - 3\gamma_1^2 - 6)/A, A = 10\beta - 12\gamma_1^2 - 18, N_0 = \frac{Q}{\int_0^\infty \exp[P(x')] dx})$$

depth, dose, energy, temp를 조절해 가면서 3-stream diffusion model 그래프를 관찰하고 이 그래프를 origin 프로그램을 사용하여 y축을 log scale로 변환하여, Ion implantation을 1-D doping simulation한 여러 그래프들을 비교하였다.

결과 및 논의

1) Fig. 2는 Fig. 1의 dose split 그래프를 diffusion simulator를 사용하여 같은 조건에서 시뮬레이션한 것이다. As이온의 에너지가 80keV, 온도는 1100°C이고 확산시간이 60sec일 때 As이온의 양에 따라 실리콘 기판 내부의 As이온의 확산을 관찰할 수 있다.

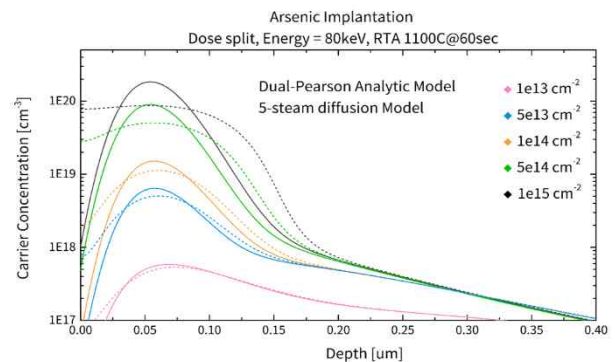


Fig. 1. Dose split 그래프 (sentaurus)

Fig. 2. Dose split 그래프 (diffusion simulation+origin program)

Dept h	Dose	Energy	Temp	Duration
1um	1e13cm ⁻²	80keV	1100°C	60sec
	5e13cm ⁻²			
	1e14cm ⁻²			
	5e14cm ⁻²			
	1e15cm ⁻²			

Table. 1. Dose split 파라미터

2) Fig. 4는 Fig. 3의 energy split 그래프를 diffusion simulator를 사용하여 같은 조건에서 시뮬레이션한 것이다. As이온의 양이 10¹⁴cm⁻², 온도는 1100°C이고 확산시간이 60sec일 때 As이온의 에너지에 따라 실리콘 기판 내부의 As이온의 확산을 관찰할 수 있다.

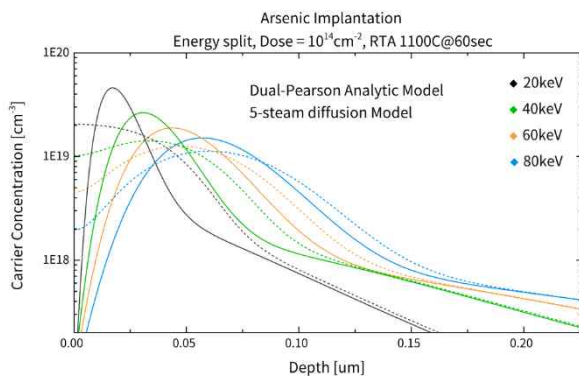


Fig. 3. Energy split 그래프 (sentaurus)

Fig. 4. Energy split 그래프 (diffusion simulation+origin program)

Depth	Dose	Energy	Temp	Duration
1um	10 ¹⁴ cm ⁻²	20keV	1100°C	60sec
		40keV		
		60keV		
		80keV		

Table. 2. Energy split 파라미터

3) Fig. 5의 Arsenic ion implantation 그래프에서 dual-pearson model에 주어진 파라미터를 diffusion simulator에 입력하여 Fig. 6와 같이 일치하는 결과를 얻었다. As이온의 양은 10¹⁴cm⁻², 에너지는 80keV, 확산시간이 60sec, rapid thermal annealing (RTA)가 1100°C일 때의 그래프이다.

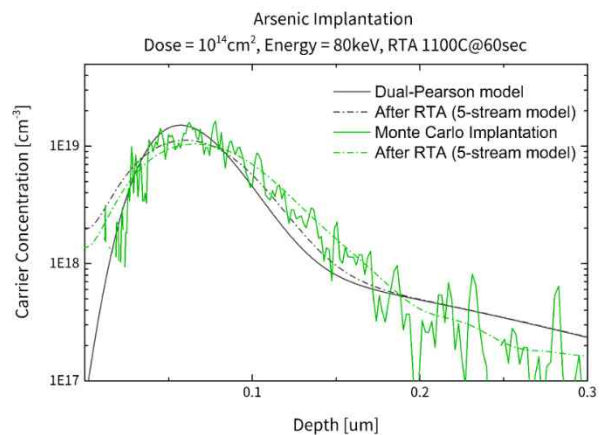


Fig. 5. Dual-Pearson model 그래프 (sentaurus)

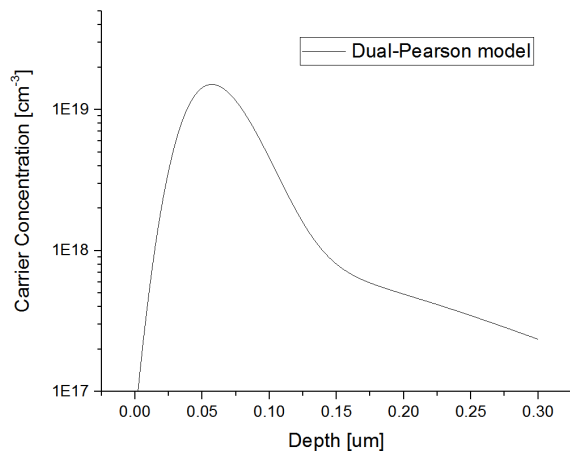


Fig. 6. Dual-Pearson model 그래프 (diffusion simulation+origin program)

Depth	Dose	Energy	Temp	Duration
1μm	1e14cm ²	80keV	1100°C	60sec

Table. 3. Dual-Pearson model 파라미터

결론

이온 주입과 확산 시뮬레이션은 각각 Dual-Pearson Analytic model, 3-stream model에 기반한다. Arsenic implantation 그래프와 확산 시뮬레이션을 실행하여 얻은 그래프를 비교해보면 동일한 파라미터에서 같은 형태의 그래프를 볼 수 있었다. 따라서 EDISON 코드 dopant diffusion simulator는 mosfet, PN junction 등의 여러 공정 설계에서 신뢰성이 높은 doping profile로서 사용될 수 있다.

감사의 글

본 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 첨단 사이언스·교육 허브 개발 사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (2012M3C1A6035302)

참고문헌

- [1] Ho, C. P., & Hansen, S. E. (1983). SUPREM III-A Program for IC Process Modeling and Simulation. RT No. SEL, 83-001.
- [2] Tasch, A. F., Shin, H., Park, C., Alvis, J., & Novak, S. (1989). An improved approach to accurately model shallow B and BF₂ implants in silicon. *Journal of the Electrochemical Society*, 136(3), 810-814.
- [3] Bork, I., & Molzer, W. (2000). Appropriate initial damage conditions for "three-stream" point defect diffusion models. In *Simulation of Semiconductor Processes and Devices, 2000. SISPAD 2000. 2000 International Conference on* (pp. 175-178). IEEE
- [4] <http://www.iue.tuwien.ac.at/phd/khalil/node64.html> (dual-pearson distribution function)