

p⁺-n 박막접합 형성방법과 열처리 모의 실험을 위한 시뮬레이터 개발에 관한 연구

김보라, 김재영, 이정민, 홍신남
한국항공대학교

A Study on the Shallow p⁺-n Junction Formation and the Design of Diffusion Simulator for Predicting the Annealing Results

Bo-Ra Kim, Jae-Young Lee, Jeong-Min Lee, Shin-Nam Hong
Hankuk Aviation Univ.

Abstract : In this paper, we formed the shallow junction by preamorphization and low energy ion implantation. And a simulator is designed for predicting the annealing process results. Especially, it considered the applicable to single step annealing process(RTA, FA) and dual step annealing process(RTA+FA, FA+RTA). In this simulation, the ion implantation model and the boron diffusion model are used. The Monte Carlo model is used for the ion implantation. Boron diffusion model is based on pair diffusion at nonequilibrium condition. And we considered that the BI-pairs lead the diffusion and the boron activation and clustering reaction. Using the boundary condition and initial condition, the diffusion equation is solved successfully. The simulator is made of C language and reappear the experimental data successfully.

Key Words : Diffusion, Simulator, 선비정질화, 박막접합

1. 서론

반도체 집적회로 기술의 발전은 소자를 줄이거나 스케일링 할 수 있는 능력 덕택이다. 집적도, 속도와 전력소비효율의 향상으로 스케일링의 이득을 볼 수 있다. 소자가 정상적으로 동작하기 위해서는 소자의 폭과 채널길이가 같은 비율의 스케일링 상수에 의해 감소 되어야한다. 단순히 소자의 치수만을 줄이고 인가 전압을 같게 유지한다면 소자 내부의 전계가 증가 할 것이다. 이러한 현상들을 방지하기 위해 박막 접합 공정이 요구된다.[1] 주로 사용되고있는 박막 접합 형성 방법에는 이온주입 방법이 있는데 그 이유는 여러 공정면에서 우수하기 때문이다. 하지만 이온주입 시 결함이 발생하게 되는데 이 결함들을 제거하기 위해 열처리공정이 수행되어야 한다. 열처리 공정에는 짧은 시간 동안 고온에서 수행하여 주입된 불순물을 활성화 시키고 소자 표면의 손상을 제거하는 RTA(Rapid Thermal Annealing)와, 긴 시간동안 수행하여 불순물의 확산을 많이 시키지만 후속공정에서 많이 사용되고 있는 FA(Furnace Annealing)가 있다. 따라서 두가지 열처리를 모두 고려한 박막접합 형성 방법의 연구가 필요하다. 본 연구에서 전기적으로 활성화 된 보론의 분포를 ASR(Automatic Spreading Resistance)로 측정하였으며, 면저항은 4점 탐침기로 측정하였다.

실험결과 예측을 위해 공정과정을 모델링하여 시뮬레이션 하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 보론 확산 시뮬레이터를 제작 하였으며, 이를 이용한 시뮬레이션 결과를 실험 결과와 비교하였다.

2. 소자 제작 및 분석

시편 제작의 주요 공정 흐름도는 그림 1과 같다. P형 불

순물을 이온주입하기 전에 몇 개의 시편에 Ge 이온을 30keV의 에너지, $2 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 의 도즈로 이온주입하여 선비정질화한 시편과 선비정질화하지 않은 시편으로 구분하였다. 열처리 방법에 따른 접합 특성을 알아보기 위해 RTA와 FA를 조합하여 수행한 시편을 제작하였다.

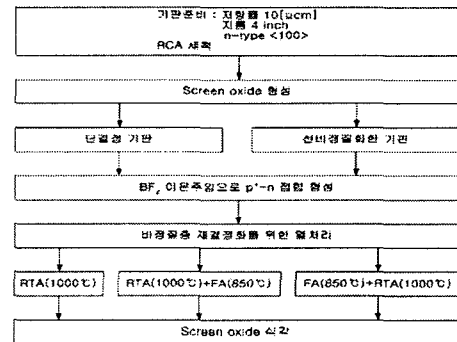


그림 1. 시편제작 공정 흐름도

활성화된 보론 이온에 대한 분포를 ASR을 이용하여 측정하였고 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 여기서 보면 선비정질화한 시편이 선비정질화하지 않은 시편보다 접합깊이가 작음을 알 수 있다. 그 이유는 결함과 관련된 확산 모델을 가지고 설명할 수 있다. 선비정질화할 때 결함이 발생하는데 이러한 결함은 불순물의 분포와 함께 보론 이온 확산에 영향을 주게 된다. 틸새(interstitial)는 열처리 초기에 매우 빨리 확산하고 결공(vacancy)과 결합하여 그 수가 급격히 감소한다. 따라서 점결함에 의해 발생하는 TED 현상은 열처리 초기온도와 밀접한 관계가 있다.[2-3] 그리고 열처리 순서에따른 접합깊이를 비교해 보면 FA를 RTA

보다 먼저 수행한 시편이 보론의 활성화에 유리함을 알 수 있다.

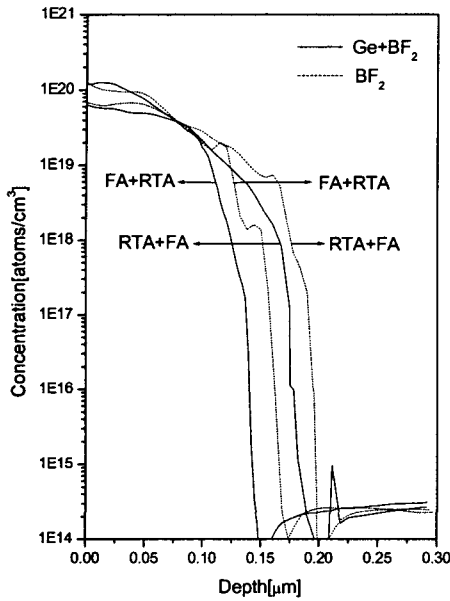


그림 2. ASR로 측정된 열처리별 보론 분포

RTA 공정으로 활성화된 보론이 그 뒤에 비교적 온도가 낮은 FA 공정을 수행 하면 고체내 용해도 제한이 낮아져서 침전물을 형성하기 때문이다.

표 1. 4-point probe로 측정된 면저항.

[단위 : Ω/□]

이온주입 방법	열처리 조건		
	RTA	RTA+FA	FA+RTA
BF ₂	216	256	208
Ge+BF ₂	198	230	204

이온주입 방법과 열처리 방법에 따른 면저항을 4점 탐침기로 측정하여 표 1에 나타내었다. 이온주입면에서는 선비정질화 한 시편의 면저항이 작음을 확인할 수 있고, 열처리 방법면에서는 FA를 RTA보다 먼저 수행한 시편이 더 작음을 알 수 있다. 1000°C의 RTA를 수행하게 되면 주입된 이온은 충분히 활성화가 되며, 그 후에 RTA 온도보다 낮은 온도인 850°C의 FA를 수행하게 되면 오히려 활성화가 저하됨을 의미한다. 따라서 박막접합을 형성하기 위한 공정을 할 때 후속 열처리인 FA를 고려하면 FA를 RTA보다 먼저 수행하는 것이 좋은 결과를 얻을 수 있다.

3. 보론 확산 시뮬레이터

공정과정을 모델링하여 시뮬레이션하기 위해서는 이온주입 모델과 확산 모델이 필요하다. 본 연구에서는 이온주입 모델로 Monte Carlo 모델을 사용하였다. 이 모델은 이온주입시 일어나는 채널링과 충돌에 의한 정결함을 포함

하고 있고, 이 모델로 Silvaco사의 SSUPREM을 이용하여 시뮬레이션 하였다. 그리고 그 결과를 확산 시뮬레이션의 초기조건으로 사용하였다. 확산 모델로는 결함의 생성과 재결합, 틈새와 정공의 전하상태, 틈새-정공의 재결합, 불순물(보론)-결함 쌍의 모델을 사용하여 확산 방정식으로 표현하였다.[4] 표현된 확산 방정식은 시간에 대한 일차 미분과 공간에 대한 이차 미분을 포함하는 일련의 연립 미분 방정식이 된다. 확산에 영향을 주는 전계는 Poisson 방정식을 풀어 구하였다. 틈새와 결함의 표면 경계 조건은 상수 값으로 정하였고 다른 경계 조건은 Neumann 조건을 사용하였다. 주어진 초기조건과 경계 조건을 사용하여 FDM(Finite Difference Method)과 수치해석 방법을 이용하여 전체 미분방정식을 풀어 시뮬레이터를 제작하였다.

제작한 시뮬레이터로 모의 실험을 한 결과를 그림 3에

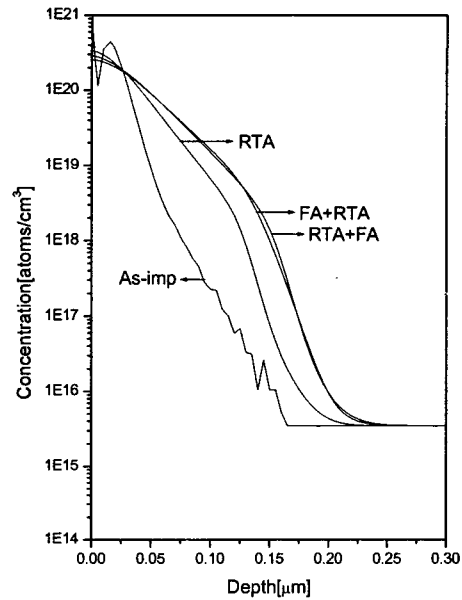


그림 3. 확산 시뮬레이션 결과

나타 내었다. 그 결과를 앞의 실험결과와 비교하였을 때 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 유사함을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 박막 접합 형성 방법을 알아보기 위해 선비정질화 한 시편과 그렇지 않은 시편을 제작하여 각 시편에 대해 열처리 방법을 바꿔가면서 실험을 하였다. 그 결과 선비정질화 한 시편의 접합깊이가 작음을 알 수 있었고, 열처리 면에서는 FA를 RTA보다 먼저 수행한 시편의 접합깊이가 작음을 확인할 수 있었다. 또한 공정결과를 예측할 수 있는 시뮬레이터를 이온주입 모델과 확산 모델을 이용하여 제작하고, 시뮬레이션 결과를 실험 결과와 비교하였다. 그 결과 제작된 시뮬레이터의 모의실험 결과가 실제 실험결과와 흡사하게 나타나 제작된 시뮬레

이더가 실험 결과를 예측하는데 사용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(D00462)

참고 문헌

- [1] Ben G. Streetman and Sanjay Banerjee, "Solid State Electronic Device", Prentice Hall, Inc., 2000.
- [2] B. Baccus, E. Vandenbossche and M. Lannoo, "Modeling High Concentration Boron Diffusion under Amorphixation Conditions", J. of Applied Physics, Vol. 77, p. 5630-5641, June, 1995.
- [3] Shin-Nam Hong, "0.2- μm p⁺-n Junction Characteristics Dependent on Implantation and Annealing Prodeses", IEEE Electro Device Lett., Vol. 20, No. 2, p. 83-85, Feb. 1999.
- [4] Hiroyuki Kinoshita and Dim-Lee Kwong, "Physical Model For the Diffusion of Ion Implanted Boron and BF₂ during Rapid Thermal Annealing", Electron Device Meeting, 1992. Technical Digest., International, p. 165-168, Dec. 1992.