

붕소 이온주입에 의한 p⁺n 접합 다이오드에 관한 연구

°김 동 수(金東秀), 정 원 채(鄭遠采)

경기대학교 전자공학과

전화 : (0331) 249-9795 / 팩스 : (0331) 249-9796

A study on P⁺N junction diode by boron implantation

Dong Soo Kim, Won chae Jung

Department of Electronic Engineering Kyonggi University

E-mail : °semicon@kuic.kyonggi.ac.kr

wcjung@kuic.kyonggi.ac.kr

Abstract

In this paper, we demonstrated an analytical description method of forward voltage drop and reverse voltage of P⁺N junction diode with <111> oriented antimony doped silicon wafer 60keV boron implantation computer simulation results. In order to make electrical activation of implanted carriers, thermal annealing are carried out by RTP method for 1min at 1000°C inert gas condition.

이보다 훨씬 깊어지게 되어 shallow junction을 형성하기가 무척 어렵다. 본 논문은 sb(antimony)가 도핑된 <111>방향의 실리콘 웨이퍼($\rho=0.004 [\Omega \cdot \text{cm}]$)에 60keV 에너지로 붕소 및 BF₂ 이온 주입하여 p⁺n 접합 다이오드의 농도 프로파일을 컴퓨터 모의실험을 통하여 관찰하였다. 이온 주입된 캐리어를 전기적으로 활성화시키기 위해 1000°C에서 1분 동안 inert N₂ 가스분위기에서 열처리하여 열처리전보다 더 PN접합영역이 확장됨을 알 수 있었다. 이온 주입된 농도 프로파일을 이용하여 p⁺n 접합 다이오드의 순방향 및 역방향 I-V 특성을 관찰한 결과 각각 0.82[V], 0.62[v]에서 turn on 현상이 -5.2[v]에서 역방향전압이 나타났다.

I. 서론

ULSI(ultra large scale integration)와 같은 고집적회로의 구현에 있어서는 소자 크기의 감소가 필수적으로 이루어져야 하는데, 이로 말미암아 집적밀도의 증가, 소자 동작 속도의 향상, 전력소비의 감소 등의 장점이 있다. 소자 크기의 감소에 있어, 수평적인 영역의 감소와 조화를 이루기 위해 수직적인 크기의 감소가 필요하다. p⁺n 접합을 형성할 때는 붕소이온을 주입하는데 붕소이온은 큰 projected range와 이온주입시 tail 부근에서 channeling 현상을 유발하여 접합깊이가 깊어지게 되고 열처리시 큰 확산속도로 인하여 실제 접합깊

II. 실험 및 모의실험

Channeling 현상을 억제하기 위해서 preamorphization(선비정질화)방법을 이용하거나 wafer를 7° tilt 하여 이온 주입한다. 이온주입장치를 사용하여 붕소이온(B⁺)의 채널링 효과를 억제하기 위해서 빔 축에 7°의 각도로 실리콘을 위치시켜 붕소를 이온 주입하였다.

이온 주입시 주입된 이온의 분포가 대칭적으로 나타나는 데 이온 주입된 전체농도는 식 (1)으로 나타내어

진다.

$$C(x) = N_{\square} \cdot f(x) \quad (1)$$

여기서 N_{\square} 는 주입된 이온의 dose량을 나타내고 $C(x)$ 는 깊이 에 따른 농도를 의미하며, $f(x)$ 는 정규화된 분포 함수이다.[2]

$$N_{\square} = \int_0^{\infty} C(x) \cdot dx \quad (2)$$

비정질의 material 경우, 주입된 이온의 분포는 대칭적인 분포로 간단한 가우시안 분포로 표현할 있고 이 때 사용되는 2 개의 파라미터는 각각 수직으로 입사된 이온의 평균 range (R_p) 와 standard deviation (ΔR_p) 이다. 우선 R_p 는 다음의 식으로 주어진다.

$$R_p = \langle x \rangle = \frac{1}{N} \sum_i x_i \quad (3)$$

여기서 x_i 는 x 축에서 "i" 이온의 수직 입사된 범위이다.

$$\Delta R_p = \left[\frac{1}{N} \left(\sum_i x_i^2 \right) - R_p^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

으로 주어진다. R_p 와 ΔR_p 를 사용하여 식 (1)를 다시 쓰면 다음과 같이 표현된다.[2]

$$C(x) = \frac{N_{\square}}{\sqrt{2\pi} \Delta R_p} \exp \left[-\frac{(x-R_p)^2}{2\Delta R_p^2} \right] \quad (5)$$

모의 실험에서 channeling 효과억제를 위하여 7° 로 이온 주입하였으나 channeling 효과에 따른 영향은 고려되지 않아서 Monte carlo 방법을 이용한 TRIM 데이터(표1 참고)를 재편성하여 다시 모의 실험하여 channeling tail을 나타내는 피어슨 함수를 적용하였다.

표 1. Monte carlo 방법을 이용한 TRIM 데이터의 range parameter.

R_p	0.2093	γ	-0.7066
ΔR_p	0.0588	β	3.3089

$$N(x) = D_1 \cdot f_1(x) + D_2 \cdot f_2(x) \quad (6)$$

여기서 $N(x)$ 는 주입된 전체농도를 D_1, D_2 는 각각의 피어슨분포의 도즈(dose)량을 $f_1(x)$ 과 $f_2(x)$ 는 각각의 피어슨함수의 규격화된 분포함수를 나타낸다. 또한 주입된 이온의 전체 도즈량은 다음의 식으로 나타내어진다.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} [D_1 f_1(x) + D_2 f_2(x)] dx = D_1 + D_2 = \int_{-\infty}^{+\infty} N(x) dx = D_{tot} \quad (7)$$

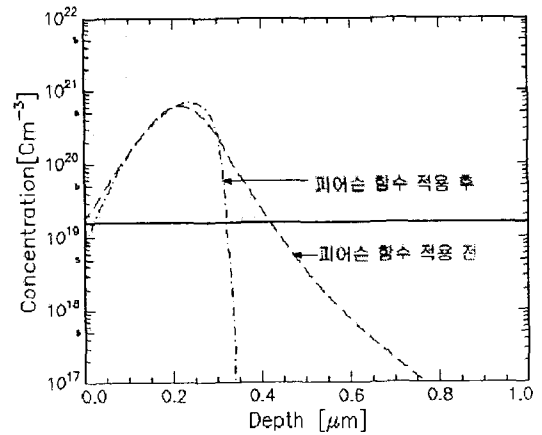


그림 1. 피어슨 함수적용 전, 후

그림 1에 피어슨 함수적용 전과 후의 농도프로파일에 나타내듯이 피어슨 함수를 적용후의 농도 프로파일이 channeling 효과억제가 나타남을 알수 있다. 그림 2에 피어슨 함수적용 후 1000°C에서 1분 동안 inert 분위기에서 열처리한 농도 프로파일을 보여주고 있다.

$$I = I_0 [\exp(V_a/mV_t) - 1] \quad (8)$$

P+N 구조에서 역포화 전류 I_0 는 다음의 식으로 나타낸다.

$$I_0 = qAD_p P_{no} / W_n \quad (9)$$

여기서 q 는 전자의 크기, A 는 다이오드의 단면적, D_p 는 다수 캐리어의 확산계수를 나타내며, P_{no} 는 소수 캐리어의 농도를 나타내고 W_n 은 접합깊이를 나타낸다. 그림 4는 붕소이온주입시 P+N 접합 다이오드의 순방향 I-V특성을 보여주고 있다.

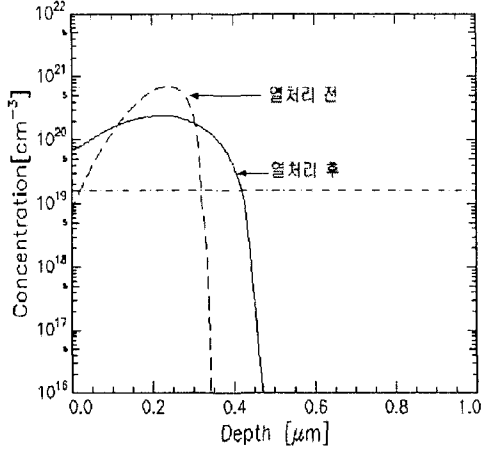


그림 2. 피어슨 함수적용 후 1000℃에서 1분 동안 inert N₂ 가스분위기에서 열처리한 붕소농도 프로파일.

열처리후의 농도 프로파일이 peak점은 낮아지고 더 넓은 범위에 걸쳐 프로파일이 나타남을 알 수 있다. 그림 3은 ICECREM 시뮬레이터를 이용하여 BF₂ 이온을 안티몬이 도핑된 웨이퍼에 이온주입했을 때 농도 프로파일을 나타내고 있다. (60KeV, Dose: 10¹⁶)

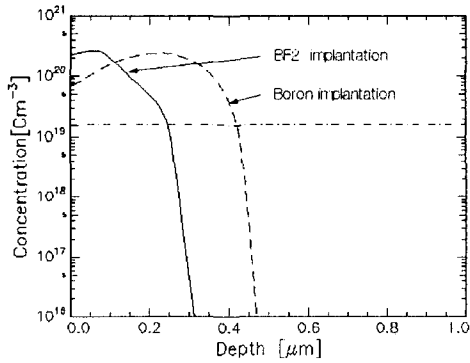


그림 3. BF₂ 이온을 이온주입 한 모의실험 결과.

BF₂이온이 붕소이온보다 무겁기 때문에 붕소이온을 이온주입 했을 때보다 접합깊이가 더 작아짐을 관찰하였다.

일반적인 다이오드 전류-전압특성은 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

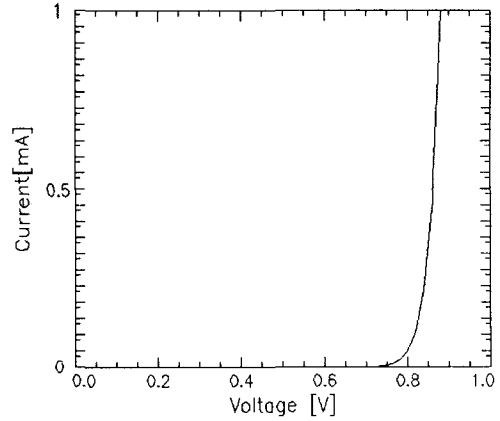


그림 4. 붕소이온주입시 P+N 접합다이오드의 순방향 I-V 특성곡선

이때 순방향 전압강하는 0.82[V]정도의 전압부터 나타났다.

그림 5는 BF₂ 이온주입시 순방향 I-V특성곡선을 나타내고 있다. 붕소 이온주입 일 때 보다 순방향 전압강하가 더 낮은 전압에서 나타남을 알 수 있다.

III. 결론

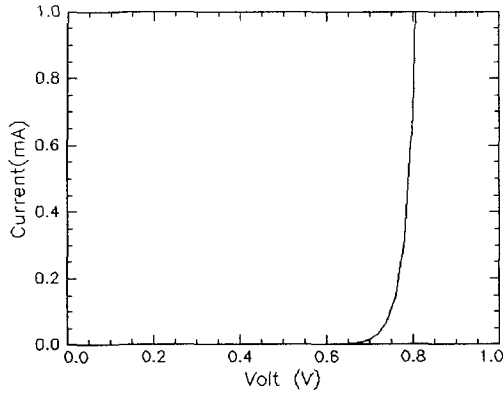


그림 5. BF2 이온주입시 P-N 접합다이오드의 순방향 I-V 특성곡선

항복전압은 다음의 식에 의하여 구해질 수 있다.

$$\begin{aligned}
 |BV| &= \frac{1}{2} x_d E_{\max} \\
 &= \frac{1}{2} E_{\max} \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{qN_D} (V_{bi} + |BV|)} \\
 &\approx E_{\max} \sqrt{\frac{\epsilon_s}{2qN_D} + |BV|}
 \end{aligned}$$

으로부터

$$|BV| = E_{\max}^2 \frac{\epsilon_s}{2qN_D} \quad (10)$$

위 공식에 의해 항복전압이 -5.2[V]에서 나타났다.

표2는 111 방향성의 실리콘웨이퍼에 각각 sb(antimony), as(arsenic), p(phosphorus)을 60keV 에너지로 이온 주입한후 1000℃에서 1분 동안 inert N₂ 가스분위기에 서 열처리했을 때 pn접합깊이를 나타내고 있다.

표 2. 붕소이온을 다른 원소로 도핑한 111방향의 실리콘웨이퍼에 이온주입했을 때 PN접합깊이 (1000℃ 1분 동안 inert N₂ 가스분위기에 서 열처리)

	Sb	As	P
PN접합깊이	0.42μm	0.42μm	0.42μm

본 논문에서는 sb(antimony)가 도핑된 <111>방향의 실리콘 웨이퍼에 60keV 에너지로 붕소와 BF₂를 이온 주입하여 p-n 접합 다이오드를 형성한 후 열처리전과 후의 농도 프로파일을 컴퓨터 모의실험을 통하여 관찰 하였다. 또 이온 주입된 농도 프로파일을 p-n 접합 다이오드 전압-전류관계식에 적용하여 순방향일 때 각각 0.82[V], 0.62[V]의 turn on 전압을 관찰하였다.

참고문헌

- [1] W. Lerch, "Ion Implantation and Rapid Thermal Annealing in synergy for Shallow Junction Formation" phys. stat. sol.(a)158. 117(1996)
- [2] Badih El-Kareh, IBM Corporation. "Fundamental of Semiconductor Processing" p. 383-387, 1995
- [3] David J.Roulston, OXFORD "An Introduction to the physics of Semiconductor Devices" p.59-89.