

온도변화에 따른 백금 실리사이드-엔 실리콘 접합의 전자 터널링 특성

장 창덕, 이정석, 이광우*, 이 용재
동의대학교 전자공학과
구미기능대학 전자 기술학과*

Electron Tunneling Characteristics of PtSi-nSi Junctions according to Temperature Variations

Chang-dug Jang, Jung-suk Lee, Kwang-woo Lee, Yong-jae Lee
Dept. of Electronics Eng., Dong-eui University
E-mail : yjlee@hyomin.dongueui.ac.kr
Dept. of Electronics Technology, Kumi Polytechnic College*

Abstract

In this paper, We analyzed the current-voltage characteristics with n-type silicon substrates concentration and temperature variations (Room temperature, 50°C, 75°C) in platinum silicide and silicon junction. The electrical parameters of measurement are turn-on voltage, saturation current, ideality factor, barrier height, dynamic resistance in forward bias and reverse breakdown voltage according to variations of junction concentration of substrates and measurement temperature variations.

As a result, the forward turn-on voltage, reverse breakdown voltage, barrier height and dynamic resistance were decreased but saturation current and ideality factor were increased by substrates increased concentration variations in platinum silicide and n-silicon junction. In increased measurement temperature (RT, 50°C, 75°C), the extracted electrical parameter values of characteristics were rised by increased temperature variations according to the forward and reverse bias.

1. 서론

초고속 바이폴라소자에서 크랩프 회로에 이용되는 여러 임계전압의 소자가 요구되며, 회로의

속도의 시뮬레이션 때에 기본 입력 자료가 요구된다. 이는 초고집적회로에서 고속, 저 전력 소모의 논리소자를 위해서 실리콘의 재료에서 신뢰성을 고려한 백금 실리사이드 접합의 쇼트키 다이오드

의 분석이 필요하다. 따라서 실리콘 표면에 불순물을 주입시켜 여러 농도의 정류성 접합의 유효장벽 높이를 변화시켜 이용 범위를 넓혔으나^[1], 실리콘 접합에서 가장자리 효과로 인하여 역방향 항복전압을 주도하는 많은 누설전류와 접촉저항에 문제가 발생되었다^[2]. 이 불순물의 주입은 표면에서 전계의 크기가 커짐에 따라 전하 캐리어의 열이온 방출 때문에 위치 에너지의 유기된 영상력이 낮아지므로 증가된 쇼트키 효과가 유효장벽 높이를 낮추는 역할을 한다.^[1,3,4]

본 연구는 초고속 바이폴라 집적회로에서 주로 이용되는 쇼트키 다이오드를 제작으로 재현성과 신뢰성에서 스파이크 현상이 없는 백금 실리사이드 접합을 형성시켰다. 또 공정 중에 응용에 필요한 정류성 접합의 실리콘 기판 농도 변화에 따른 쇼트키 다이오드의 전기적 특성을 분석하였다. 접합의 농도 변화와 더불어 응용시 온도 변화 (상온, 50℃, 75℃)가 소자에 미치는 영향으로 나타나는 순방향의 전기적 특성 변화로써 임계전압, 포화전류, 이상인자, 동적저항과 역방향의 항복전압 특성이 농도와 온도 변화에 따라서 각 소자에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

2. 설계 및 제작

소자 제작을 위해 기판은 <111>, 비저항이 0.8-1.2 [$\Omega\text{-cm}$] n형 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 소자 공정의 전반적인 공정 흐름은 그림1과 같이 진행하였다.

주요 공정의 설명은 실리콘의 저항성 접촉을 위한 POCl_3 처리 공정 후 정류성 접합의 농도 변화를 위한 이온 주입 공정으로 엔-형의 인(Phos.) 이온의 주입량 2×10^{12} , 5×10^{12} , 8×10^{12} 및 1.2×10^{13} [atoms/cm^2]로 에너지 35[KeV]로 주입하였다. 이온의 활성화를^[3] 위하여 925[℃]에서 30분간 질소 분위기에서 어닐링하고, 알루미늄과 실리콘의 접합에서 나타나는 스파이크 현상으로 인한 누설

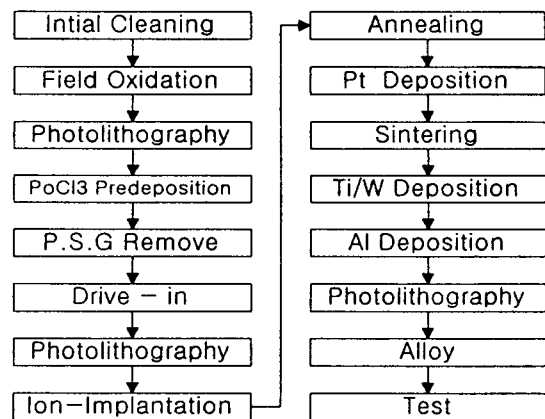


그림 1. 제작 공정 흐름

Fig. 1. Fabrication Process Sequence

전류를 줄이고 전기적 접촉저항을 낮추기 위해 실리콘 표면에 백금을 증착 시킨 후 백금 실리사이드를 형성시켰다. 실리사이드 형성을 위한 백금 증착은 3×10^{-6} [Torr]의 진공상태에서 아르곤을 유입시켜서 스퍼터 식각을 2분간 행한 후 약 600[A]의 백금 증착 후 550[℃] 질소 분위기에서 소결 처리하여 백금 실리사이드를 형성시켰다. 실리사이드의 형성 확인은 면저항 측정으로 백금 증착 후의 22.3 - 22.8[Ω/\square]에서 소결 후 3.8 - 4.0[Ω/\square]으로 접촉 저항이 낮아졌으며, 이는 백금의 저항도 보다 백금 실리사이드의 저항도가 낮아지는 것으로 소자 제작 시에 소자의 기생 저항 성분을 감소시키며, 최근 MOSFET의 게이트 전극으로도 각광을 받고 있다.^[3] 전극 형성은 백금 실리사이드와 알루미늄의 금속학적 원활한 접착을 위해 확산장벽 금속으로 Ti/W(Ti:10% 타겟)를 백금과 동일한 진공도에서 1분간 아르곤 분위기에서 스퍼터 식각 후 6분간 1250[A]을 증착 시킨 후 다시 순수 알루미늄을 증착으로 전극을 형성시켰다.

3. 측정 결과 및 고찰

제작한 쇼트키 다이오드의 순방향 특성과 역방향 전기적 특성의 결과 파라미터의 추출은 회로

분석 프로그램의 입력 자료가 될 수 있다. 순방향 임계전압의 측정을 위해 백금실리사이드와 n형 실리콘 접합 부분의 전류밀도가 $1[A/cm^2]$ 일 때의 전압을 기준값으로 하였다.

3-1 순방향 특성

임계전압의 기준전류 밀도에 따른 접합 부분의 넓이에 따라 정사각형 다이오드는 $25[\mu m]$ 에서 기판 농도에 따른 전압을 상온에서 측정한 결과가 그림2이다.

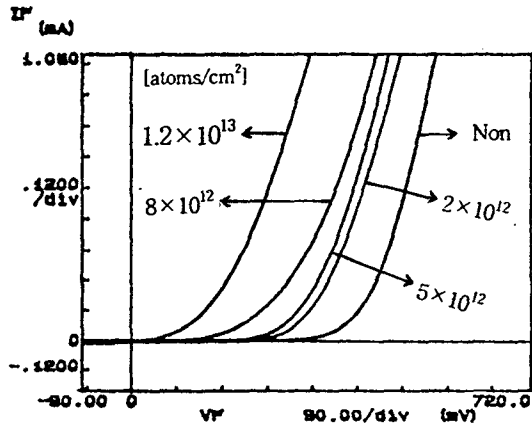


그림 2. 이온 주입량의 임계전압 특성
Fig. 2. Turn-on voltages characteristics of ion dosages

기판의 농도와 온도 변화에 의한 백금 실리사이드의 임계전압에서 기판자체 농도에서 온도 변화(상온, $50^\circ C$, $75^\circ C$)에 따른 임계전압은 $0.38 - 0.32[V]$ 이고, 각 불순물 2×10^{12} , 5×10^{12} , 8×10^{12} 및 1.2×10^{13} [atoms/cm²]에서 온도 변화(상온, $50^\circ C$, $75^\circ C$)에 따른 전압의 변화는 $0.29-0.22$, $0.26-0.16$, $0.23-0.14$ 및 $0.15-0.04[V]$ 로 각각 측정되었다. 또 온도의 영향으로 변화될 수 있는 특성의 임계전압 결과가 그림3으로써, 온도 변화는 상온, $50^\circ C$, $75^\circ C$ 의 상태에서 임계전압 변화는 동일한 농도에서 온도증가에 따라 감소되는 특성이 나타났다. 이는 온도 증가에 따라 반도체내부 열전자의 왕성한 운동에 따라 터널링 성분의 증가로

사료되며, 열이온 추출식1로 전류량의 증가로 설명 가능하다.

순방향 전류-전압 특성은 순방향 바이어스 상태에서 전류전도의 메카니즘은 열방출 이론에 따른 다음식(1)이다.^[24]

$$J_{TE} = [A^{**} T^2 \exp(-q \frac{\phi_{BN}}{kT})] [\exp(\frac{qV_F}{kT}) - 1] \quad \text{-- (1)}$$

여기서 A^{**} 리차르드슨 상수, T 절대온도, ϕ_{BN} 은 장벽 높이, k 는 볼츠만 상수를 나타내며 온도가 증가할수록 전체 전도전류는 증가한다.

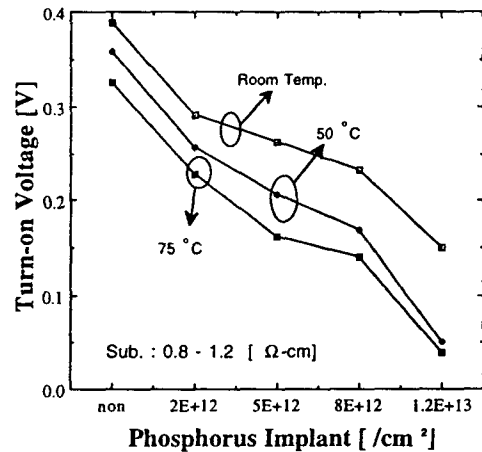


그림3 온도 변화에 따른 임계전압의 특성
Fig.3 Characteristics of Turn-on Voltage according to Temperature Variations

기판 농도와 온도의 변화에 따른 접합의 장벽높이와 이상인자와 포화전류를 구하기 위해 임계전압 이하에서 전류축을 로그축으로 하여 외삽법을 이용하여 측정하였으며, 온도 증가에 따라 포화전류는 $325[pA]$, $953[pA]$, $8.50[pA]$ 로 증가하는 경향으로 측정된 결과가 그림4이다.

위의 결과에서 불순물 주입량과 온도 변화에 따른 이상인자는 포화전류의 측정결과로부터 다음식(2)로 표현되는 이상인자(n)를 구하면 각각 1.04, 1.05, 1.07, 1.67, 1.82로 추출 되었다.

$$n = (qKT)V / \ln(J/J_s) \quad \text{-- -- -- (2)}$$

$$\phi_{BN} = \frac{kT}{q} \ln(A^{**} T^2 / J_s) \quad \text{-- -- -- (3)}$$

이 결과의 의미는 온도 변화에 따라 전류가 형

성되는 현상을 설명한다. 즉 이상인자가 1일 때는 전류가 거의 열 이온 방출에 의해 형성되며^[3,4], 1보다 점점 커감에 따라 열 이온 방출과 더불어 접합 장벽의 전자의 터널링 현상으로 기여하는 전류가 점점 더해짐을 의미한다.

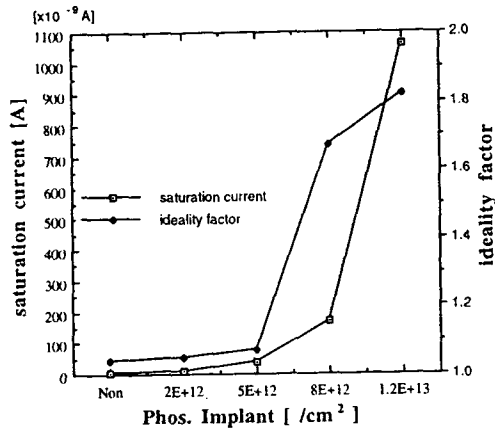


그림 4. 이상인자와 포화전류 측정
Fig. 4. Measurement of Ideality factor and saturation current

전류-전압 특성의 전류 성분에 미치는 가장 큰 영향인 온도 변화에 따른 접합 장벽의 높이는 식 (2)에 의해 각각 0.76, 0.76, 0.74eV로 낮아졌으며, 이는 순방향 전압 인가 때의 낮은 전압에서 임계 전압 특성을 나타내게 된다.

3-2 역방향 특성

실리콘과 알루미늄의 정류성 접합에서의 문제점을 해결한 공핍층 증가로 인한 높은 전장의 역방향 항복전압을 측정하기 위해 기준 전류밀도가 10[A/cm²]일 때를 전압값으로 측정하였다. 기준전류 밀도에 따른 접합 부분의 넓이에 따라 50[μm] × 50 [μm] 정사각형 다이오드는 250[μA]에서 불순물 변화에 따른 전압을 측정된 결과가 그림5이다.

역방향 전압이 인가되었을 때 전류-전압 특성은 역시 열방출 이론식(1)에서 VF 대신 VR 대체 시킨 식에 따른다.^[1,4]

$$J_{BR} = [A^{**} T^2 \exp(-q \frac{\Phi_{BN}}{kT})] [\exp(\frac{qV_R}{kT}) - 1]$$

이식에서 V_R이 조금만 커도 exp($\frac{qV_R}{kT}$)는 0이 되어 역방향 포화치에 이르게 하며, 항복은 일정한 전장의 크기 ~10⁶[V/cm]에 도달한다.

정류성 접합 다이오드의 불순물 주입량과 온도 변화에 따라 역방향 전압 인가시 농도 변화에 따라서는 애벌런치 항복에서 터널링에 의한 항복현상이 나타나며, 중간정도의 농도에서는 눈사태의 전류 성분과 터널링의 전류 성분이 공존하여 특성을 나타낸다.

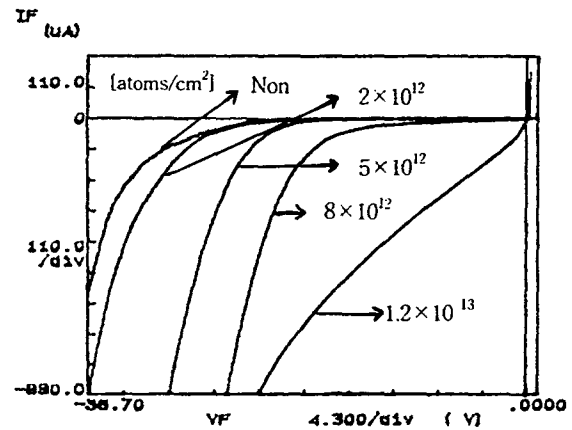


그림5 이온 주입량에 따른 항복전압 특성
Fig.5 Characteristics of Breakdown Voltage according to Ion Implantation Dosage

기판농도와 온도 변화에 따른 전압은 38.6-45.3[V], 29.7-36.2[V], 28.4-29.5[V], 24.4-27.1[V], 11.2- 8.1[V]로 농도에 따라서 전체적으로 감소하였다. 이는 접합에서 고농도가 될수록 공핍층이 얇아져서 전자가 터널링 할 수 있는 확률이 접합 농도만큼 증가되기 때문에 전류량이 증가된 결과로써 눈사태 항복성분에서 터널링 전류 성분의 증가로 인해 항복전압은 낮아지는 결과를 도출한다. 1.2×10¹³ [atoms/cm²]와 같이 다량 주입 시에는 장벽을 통한 전자의 터널링을 위하여 공핍영역이 충분히 얇아지면서 거의 저항성 특성으로 나타났다. 기판의 측정 온도 변화에 따라서는 증가하는

결과가 나타났다.

온도 변화에 따라서 항복전압의 증가는 열방출 이론에 의해 증가된 포화전류와 순 바이어스에서 장벽높이 $q\Phi_{BO} - q\Delta\Phi_F$ 는 영 전압 보다 약간 크며, 역 바이어스의 장벽높이 $q\Phi_{BO} - q\Delta\Phi_R$ 는 영 전압 보다 약간 낮은값이 추출되었다. 기판 농도와 온도 변화에 따른 역 방향 항복전압의 추출 결과가 그림6이다.

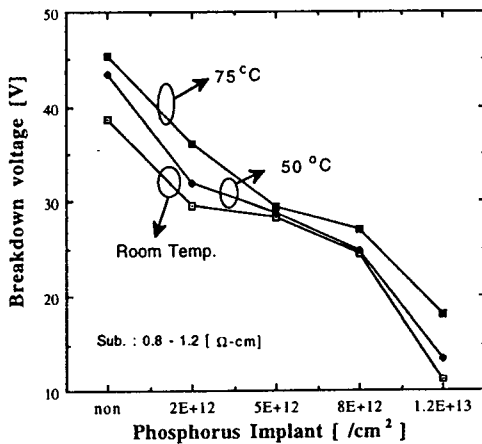


그림 6. 온도 변화에 따른 역방향 항복전압
Fig. 6. Breakdown Voltage of Reverse bias According to Temperature Variations

4. 결론

백금 실리사이드(PtSi)와 엔-형 실리콘의 정류성 접합은 안정성과 재현성을 갖춘 특성을 나타내며, 이온 주입으로 기판농도의 변화에 따른 특성을 예측할 수 있는 특성을 나타내었다.

순방향 특성으로는 인의 주입량의 증가에 따라서 순방향 임계전압이 낮아지며, 임계전압 이하에서의 포화전류는 증가 하였고, 이상인자는 1 에서 2 가까이 증가되었다. 이는 터널링에 의해 전류가 형성되는 성분이 증가함을 나타낸다.

장벽높이는 에너지대의 금속과 반도체의 일함수의 차이로 낮아지며, 공핍층의 길이는 짧아지며, 동적

저항이 감소 되었다.

역방향 항복 전압은 이온 주입량이 증가함에 따라 항복 전압값이 낮아지는 특성을 나타내는데, 기판 자체의 농도에서의 눈사태 항복에서 이온량의 증가로 고농도의 접합이 되면서 터널링의 항복 전자가 증가 하기에 항복값이 감소 되어졌다.

온도 변화에 따른 전류-전압 특성 결과는 상온, 50°C와 75°C에서는 측정 온도 증가에 따라서 열방출 이온으로 증가된 전도전류와 낮아진 장벽에 의해 순방향 임계전압은 감소하고, 이상인자, 포화전류는 증가되었다. 역방향 항복전압과 동적저항은 온도 증가에 따라서 동일 농도의 접합에서 증가되는 특성이 나타났다.

참고 문헌

- [1] S. M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices", Second Edition, p. 279-284
- [2] T. Teraji, S. Hara, H. Okushi, and K. Kajimura, "Ideal Ohmic contact to n-type 6H-SiC by reduction of Schottky barrier height", Appl. Phys. Lett. 71 (5), 4, 1997
- [3] S. odanaka, A. Hiroki " Potential Design and trasport Property of 0.1 μm MOSFET with Asymmetric Channel profile" IEEE Trans. on Electron Device, Vol.44, No.4, pp595-600, 1997
- [4] J. Crofton, P. G. McMullin, J.r. Williams and M. J. Bozack, "High-temperature ohmic contact to n-type 6H-SiC using nickel", Appl Phys. Vol.77, 1317 (1995)
- [5] R. Rghunathan, D. Alok, and B. J. Baliga, Fellow, "High Voltage 4H-SiC Schottky Barrier Diodes", IEEE Elec. Dev. Lett. vol 16 (1995)