

측정 온도 변화에 따른 백금실리사이드 정류성 접합의 파라미터 분석

장 창덕, 이 용재
동의대학교 전자공학과

Parameter Analysis of Platinum Silicide Rectifier Junctions according to measurement Temperature Variations

Chang Dug Jang, Yong Jae Lee
Dept. of Electronics Eng., Dong-Eui University
E-mail : yjlee@hyomin.dongeu.ac.kr

요 약

본 논문에서는, 백금 실리사이드와 실리콘 접합에서 n형 실리콘 기판의 농도와 온도 변화(상온, 50°C, 75°C)에 따라서 전류-전압 특성을 분석하였다. 측정된 전기적 파라미터들은 순방향 임계전압, 역방향 항복전압, 장벽높이(ϕ_{bn}), 포화전류, 이상인자와 동적저항의 변화이다. 결과로써, 기판 농도의 변화에 따라서는 순방향 임계전압, 역방향 항복전압, 장벽 높이, 동적저항은 감소하였으나 포화전류와 이상인자는 증가하였다. 온도 변화에 따라서는 역방향 항복전압과 동적저항이 증가하였다.

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. Measurement electrical parameters are forward turn-on voltage, reverse breakdown voltage, barrier height, saturation current, ideality factor, dynamic resistance according to junction concentration of substrates and 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 concentration variations. Reverse breakdown voltage and dynamic resistance were increased by temperature variations.

1. 서 론

집적회로에서 초고속, 저전력 논리소자를 위해
실리콘 표면에 알루미늄을 증착시킨 경우 실리

콘 표면에 불순물을 가볍게 주입시켜 접합의 유효
장벽 높이를 변화시켜 이용 범위를 넓혔으나^[1], 실
리콘 접합에서 가장자리 효과로 인하여 역방향 항
복전압을 주도하는 큰누설전류와 접촉저항에 문제
가 발생되었다^[2]. 이 불순물의 주입은 표면에서 전

계의 크기가 커짐에 따라 전하 캐리어의 열적 방출 때문에 위치 에너지의 유기된 영상력이 낮아지므로 증가된 쇼트키 효과가 유효장벽 높이를 낮추는 역할을 한다.^[3]

본 연구는 집적회로에서 재현성과 신뢰성에서 알루미늄과 실리콘의 접합에서 나타나는 스파이크 현상으로 생긴 큰 누설전류를 줄인 백금 실리사이드 접합을 형성 시켰으며, 응용에 필요한 정류성 접합 다이오드의 실리콘 기판 농도 변화에 따른 쇼트키 다이오드의 전기적 특성을 분석하였다. 정류성 접합 다이오드의 형성은 백금 실리사이드와 n형 실리콘 형태이다. 이 기판의 농도 변화와 더불어 온도 변화(상온, 50℃, 75℃)에 따른 소자에 미치는 영향으로 나타나는 순방향과 역방향의 전기적 특성 변화로써 임계전압, 항복전압, 포화전류, 이상인자, 동적 저항의 특성에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

2. 소자의 설계 및 제작

소자 제작을 위해 기판은 <111>, 비 저항이 0.8-1.2 [Ω -cm] n형 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 소자 공정의 전반적인 공정 흐름은 그림1과 같이 진행하였다.

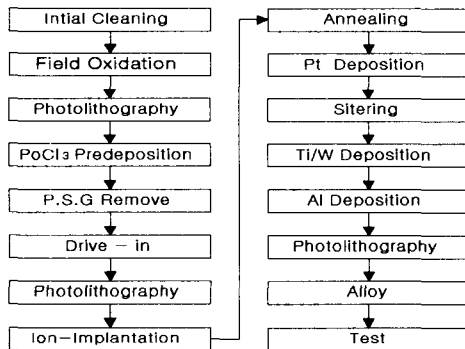


Fig. 1. Process Sequence
그림 1. 공정 흐름

먼저 실리콘의 저항성 접촉을 위한 POCl_3 처리 공정후 이온 주입 공정으로 기판농도 변화를 위하여 인을 2×10^{12} , 5×10^{12} , 8×10^{12} 및 1.2×10^{13} [atoms/cm^2]로 에너지 35[KeV]로 주입하고, 불순물 활성화를^[4] 위하여 925[℃]에서 30분간 질소 분

위기에서 어닐링하고, 알루미늄과 실리콘의 접합에서 나타나는 스파이크 현상으로 인한 누설전류를 줄이고 전기적 접촉저항을 낮추기 위해 실리콘 표면에 백금을 증착시킨후 특성 모델을 위해 열처리를 하여 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. 이 과정 후에 80[℃]의 왕수에 웨이퍼를 50-60초간 담그면 산화막 위의 백금은 완전히 에칭이 되고, 실리콘 위의 백금은 소결 처리에서 실리사이드가 형성이 되었기 때문에 실리사이드가 왕수에 녹지 않는다. 실리사이드의 형성여부의 확인은 면저항 측정으로 백금 증착 후의 22.3 - 22.8[Ω/\square]에서 소결 후 3.8 - 4.0[Ω/\square]으로 면저항이 낮아졌다. 이는 백금의 저항도 보다 백금 실리사이드의 저항도가 낮아지는 것으로 소자 제작 시에 소자의 기생 저항 성분을 감소시킨다. 전극 형성은 백금 실리사이드와 알루미늄의 금속학적 원할한 접착을 위해 확산 장벽 금속으로 Ti/W(Ti:10% target)를 백금과 같은 진공도에서 1분간 아르곤 분위기에서 스퍼터 식각 후 6분간 1250[A]을 증착시킨 후 순수 알루미늄을 증착시켜 전극을 형성시켰다.

3. 측정 및 결과 고찰

정류성 접합 다이오드의 순방향 임계전압과 역방향 항복전압의 측정을 위해 백금실리사이드와 n형 실리콘 접합 부분의 전류밀도가 1[A/cm²]일때의 전압을 기준값으로 측정을 하였다.

3.1 순방향 임계전압

기준전류 밀도에 따른 접합 부분의 넓이에 따라 다이오드는 25[μA]에서 기판 농도와 온도 변화에 따른 전압을 측정결과가 그림2이다. 기판의 농도와 온도 변화에 의한 백금 실리사이드의 임계전압에서 기판자체 농도에서 온도 변화(RT, 50℃, 75℃)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/cm^2]에서 온도 변화(상온, 50℃, 75℃)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.

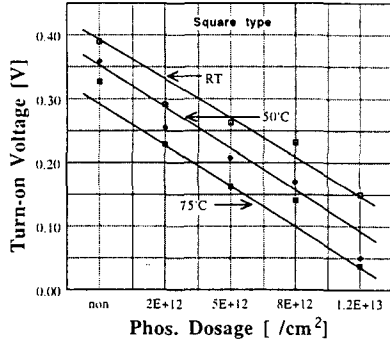


그림 2. 순방향 임계전압 특성
Fig 2. Characteristics forward turn-on voltage

정류성접합에서 상온, 50°C, 75°C의 온도변화상태에서 순방향 전류-전압특성은 순바이어스 상태에서 전류전도의 메카니즘은 저전류 상태에서 열 방출이론에 따른다^[5].

$$J_{TE} = [A^{**} T^2 \exp(-\frac{\Phi_{Bn}}{kT})] [\exp(\frac{qV_F}{kT}) - 1]$$

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

기판 농도와 온도가 변화에 따른 접합의 장벽높이와 이상인자와 포화전류를 구하기 위해 전류측을 로그축으로 하여 임계전압 이하에서 외삽법을 이용하여 측정하였다. 온도 증가에 따라 포화전류는 325[pA], 953[pA], 8.50[nA]로 증가하는 경향으로 측정된 결과가 그림3이다.

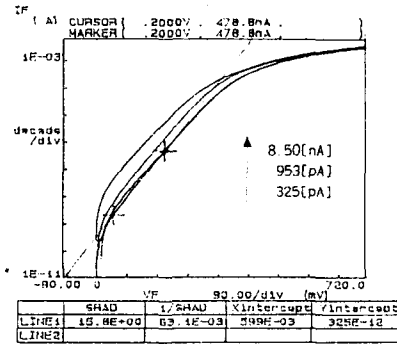


그림 3. 포화전류 측정
Fig 3. Measurement of saturation current

위의 결과에서 불순물 주입량과 온도 변화에 따른 이상인자는 포화전류의 측정결과로부터 다음식(1)로 표현되는 이상인자(n)를 구하면 각각 1.04, 1.05, 1.07, 1.67, 1.82이었다.

$$n = (q/KT)V/\ln(J/J_s) \quad \text{----- (1)}$$

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

이 결과의 의미는 온도 변화에 따라 전류가 형성되는 현상을 설명한다. 즉 이상인자가 1일 때는 전류가 거의 열 이온 방출에 의해 형성되며^[5], 1보다 점점 커감에 따라 열 이온 방출과 더불어 접합 장벽의 터널링 현상으로 기여하는 전류가 점점 더해짐을 의미한다.

다음으로 온도 변화에 따라 접합 장벽의 높이는 식(2)에 의해 각각 0.760, 0.758, 0.749로 낮아졌으며 이것으로 순방향 전압 인가시 낮은 전압에서 임계특성을 나타내게 된다.

정류성 접합 다이오드의 전류-전압 특성에서 온도 증가에서 측정 전위에 따라 동적저항도 각각 다르게 나타났으며 온도 증가에 따라 순방향 전압에서는 감소하고 역방향 전압에서는 증가함을 표1에서 볼 수 있다.

표1. 동적저항의 결과

Table 1. Measurement results of dynamic resistance

온도	상온	50°C	75°C
전압			
-20v	38.2E3 Ω	62.4E3 Ω	104E3 Ω
-10v	2.20E6 Ω	4.99E6 Ω	11.8E6 Ω
영 전압	210E3 Ω	42.4E3 Ω	16.3E3 Ω
0.2v	2.77E6 Ω	1.84E3 Ω	855 Ω
0.5v	990E3 Ω	138 Ω	154 Ω

3.2 역방향 특성

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 불순물과 온도의 변화에 따른 전압을 측정된 결과가 그림6이다.

역방향 전압이 인가되었을 때 전류-전압 특성은 역시 열방출 이론을 따른다^[5].

$$J_{TE} = [A^{**} T^2 \exp(-a \frac{\Phi_{Bn}}{kT})] [\exp(\frac{qV_F}{kT}) - 1]$$

여기서 V_F 대신 역전압 V_R 을 대치 시키면 된다. 이식에서 V_R 이 조금만 커도 $\exp(\frac{qV_R}{kT})$ 는 0이 되어 역방향 포화치에 이르게 한다.

정류성 접합 다이오드는 불순물 주입과 온도 변화에 따라 역방향 전압인가시 농도 변화에 따라서는 애벌런치 항복에서 터널링에 의한 항복현상이 나타났다. 하지만 온도 증가에 따라서는 항복전압이 증가하는 특성을 보였다. 기관농도와 온도 변화에 따른 전압은 38.65 - 45.32[V], 29.65 - 36.15[V], 28.35 - 29.50[V], 24.45 - 27.10[V], 11.20 - 18.05[V]로 농도에 따라서 전체적으로 감소 하지만 온도 변화에 따라서는 증가하는 결과가 나타났다. 1.2×10^{13} [atoms/cm²]와 같이 다량 주입 시에는 장벽을 통한 전자의 터널링을 위하여 공핍 영역이 충분히 얇아지면서 거의 저항성 특성으로 나타났다.

온도 변화에 따라서 항복전압의 증가는 열방출 이론에 의해 증가된 포화전류와 순바이어스에서의 장벽높이 $q\Phi_{B0} - q\Delta\Phi_F$ 는 제로 바이어스보다 약간 크며 역바이어스의 장벽높이 $q\Phi_{B0} - q\Delta\Phi_R$ 는 제로바이어스보다 약간 작게 나타났다.

기관 농도와 온도 변화에 따른 역방향 항복전압의 결과가 그림4이다.

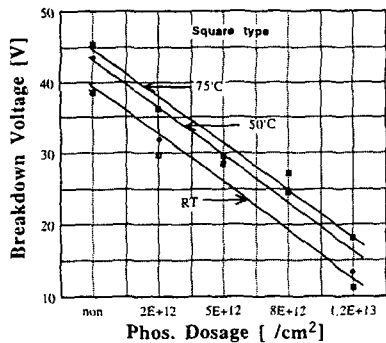


그림 4. 역방향 항복전압 특성

Fig 4. Characteristics of reverse breakdown voltage

증가되는 불순물 주입량은 정류성 접합 부분의 농도를 증가 시키면서 이 농도는 반도체의 공핍층을 점점 좁게 하여 역방향 전위로 항복전압에서 기여한 전류 성분은 주로 터널링에 의한 항복현상

으로 나타났다.

4. 결론

이상의 결과에서 백금 실리사이드를 이용한 기판농도와 온도 변화에 따른 정류성 접합의 전류-전압 특성을 분석하였다. 불순물 주입으로 인하여 주입량의 증가에 따라 동적저항이 감소 되었으며, 고농도의 접합으로 인해 접합 장벽이 낮아지면서 순방향 임계전압이 감소 되어지며, 임계전압 이하에서의 이상인자는 1에서 2가까이 증가되었다. 역방향 항복 전압은 불순물 주입이 증가함에 따라 항복 특성이 감소 되어졌으며, 이는 터널링에 의해 전류가 형성되는 성분이 증가함을 나타낸다.

온도 변화에 따라서도 순방향 임계전압은 증가된 열방출 이론, 동적저항의 감소와 접합장벽의 감소로 낮아졌으며, 역방향 항복전압은 열방출 이론에 의해 증가된 전류 밀도와 동적저항의 증가로 인해 증가되어 나타났다.

참고 문헌

- [1] 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)
- [2] S. M. Sze " Physics of Semiconductor Devices ", Second Edition, p. 279-284
- [3] B. W Shen, et al "A Highly Reliable Aluminum Metallization for Micron and Submicron VLSI Application", IEEE 3rd IVMIC, PP191-197, June, 1986
- [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)