

JBS(Junction Barrier-controlled Schottky) 정류기의 PN접합구조에 따른 I-V 특성에 관한 연구

논문
13-1-3

A study on I-V characteristics in JBS rectifiers according to PN junction structures

안병목*, 정원채*

(Byong-Mok Ahn*, Won-Chae Jung*)

Abstract

In this paper, we demonstrated an analytical description method of forward voltage drop and reverse leakage current of the junction barrier controlled schottky rectifier with linearly graded junction and abrupt junction models. In this case, the vertical depths of device are 1[μm] and 2[μm], respectively. Through ion implantation and annealing process, we obtain the data of lateral and depth from implanted 2-dimensional profiles. Also we applied these data to models that indicate the change of depletion each on linearly-graded and abrupt junction as the forward and reverse bias. After applied depletion changes to electric characteristics of JBS rectifiers, we calculated the forward I-V, the reverse leakage current and temperatures vs. power dissipations according to each junction. When we compared the rectifier with calculated and measured data, from the calculated results, forward voltage drop with linearly graded junction is lower than that of abrupt junction and reverse leakage current with linearly graded junction is lower($\approx 1 \times 10^1$ times) than that of abrupt junction. Also, the power dissipations according to different junction depth(1[μm], 2[μm]) of device are calculated. Seeing the calculated results, we confirmed it from analytic model that the rectifier with linearly graded junction retained a low power dissipation up to 600[$^{\circ}\text{C}$] in comparison with the rectifier with abrupt junction.

Key Words(중요용어) : JBS(접합장벽조절쇼트키), linearly-graded junction(선형경사접합), abrupt junction(계단접합).

1. 서 론

Lepseiter와 Sze(1968), Zettler와 Cowley(1969)는 보호환(guard ring) 구조로 쇼트키 구조를 형성하여 이상적인 쇼트키 다이오드의 특성을 이끌어냈다¹⁾. 보호환으로 형성된 구조에서 원추형의 반경이 작은 계단 확산 접합의 경우는 접합 주위에 강한 전계가 나타나게 되고 항복전압은 평행 평판 접합의 항복전압 보다 낮게 된다. 그러나, 이상적인 선형 경사접합의 경우는 항복전압이 평행 평판 접합의 경우보다 더 높게 나타나게 되므로 우선, 쇼트키 장벽

정류기의 계단 접합에 의해 제한되는 항복전압의 한계를 선형경사 접합으로 형성하여 극복할 수 있음이 예상된다²⁾. 아울러 높은 역방향 전압 특성을 얻기 위해서 전력용 실리콘 디바이스는 확산에 의한 깊은 접합을 형성한다(50~140[μm]). 이렇게 깊게 확산한 불순물의 농도분포는 근사적으로 선형경사 p-n 접합을 형성한다^{2, 3)}. 그러나, 깊은 접합을 얻기 위해서 확산 공정을 수행하는데 공정상의 어려움이 따른다.

본 논문에서는 확산 공정 대신에 이온주입 공정을 선택하여 공정상의 어려움을 줄임과 동시에 확산에 의해서 깊은 접합을 형성했을 때 나타나는 선형 경사 접합과 동일한 효과를 얻기 위하여 이온 주입 공정을 선택하여 쇼트키 정류기를 선형경사 접합으로 형성한 후 전류-전압 특성을 계산하고자 한다. 그리고, 계단 접합으로 형성한 쇼트키 정류기의 이론적인 전류-전압 특성 및 실험 데이터와 선형 경사 접합으로 계산한 결과들을 서로 비교하여, 선형 경사 접합으로 형

* : 경기대학교 전자공학과
(경기도 수원시 팔달구 의의동 산94-6, Fax : 0331-249-9716 E-mail : wcjung@kuic.kyonggi.ac.kr)
1999년 8월 30일 접수, 1999년 12월 2일 심사완료

성했을 때 향상된 전류-전압 및 전력에 대한 결과들을 제시하고자 한다.

2. 이 론

이온주입에 의한 주입된 이온의 측면 퍼짐과 수직 깊이 침투에 대한 데이터를 얻기 위해 수행된 MICROTEC의 이온주입 모델은 다음과 같다.

주입된 이온의 1차원 프로파일에 대한 가우시안 분포는

$$I(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} \exp\left[-\frac{(y-R_p)^2}{2\sigma_y^2}\right] \quad (2.1)$$

이다. 여기서, R_p 는 투사 범위, σ_y 는 수직 평균 편차, y 는 웨이퍼 표면으로부터의 거리를 각각 나타낸다. 주입된 이온의 2차원 프로파일은 다음과 같다.

$$I(x,y) = \frac{I(y)}{2} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{x-x_r}{\sqrt{2}\sigma_x}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{x-x_l}{\sqrt{2}\sigma_x}\right) \right] \quad (2.2)$$

여기서, x_r 과 x_l 는 각각 그리드 셀에 대한 왼쪽, 오른쪽 가장자리로부터의 거리를 각각 나타낸다.

JBS 정류기의 전기적 특성을 해석하기 전에 순방향과 역방향 바이어스를 인가했을 때 공핍층의 변화에 대한 결과식을 간단하게 먼저 알아본다.

계단접합의 경우는 접합부 양쪽의 도핑 차이가 이 두 형태 물질 사이에서의 전위차를 생기게 하고 선형경사 접합의 경우는 균일하게 도핑(doping)된 n형 반도체의 경우, 순수한 n형 도핑 농도는 접합으로부터 n형 영역으로 확장하는 거리에 대한 선형함수로 나타내게 된다. 이와 같은 유효 도핑 분포를 선형경사 접합으로 정의한다.

순방향 바이어스를 인가했을 때 계단접합과 선형경사접합의 공핍층의 변화는 아래 식과 같다.

$$W_a = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{qN_D}(V_{bi}-V_F)} \quad \text{: 계단접합} \quad (2.3)$$

$$W_l = \left[\frac{12\epsilon_s}{qa}(V_{bi}-V_F) \right]^{1/3} \text{:선형경사접합} \quad (2.4)$$

여기서, a 는 순(net) 불순물 기술기(cm^{-3}).

역방향 바이어스를 인가했을 때 계단접합과 선형경사 접합의 공핍층의 변화는 아래와 같은 식으로 표현된다.

$$W_a = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{qN_D}(V_{bi}+V_R)} \quad \text{: 계단접합} \quad (2.5)$$

$$W_l = \left[\frac{3\epsilon_s}{2qa}(V_{bi}+V_R) \right]^{1/3} \text{:선형경사접합} \quad (2.6)$$

이들 공핍층 모델은 장벽조절쇼트키 정류기의 전기적 특성을 나타내는 모델에 적용된다.

본 논문에서 모의실험한 쇼트키 정류기의 모델은 그림 2.1과 같다. JBS 정류기는 종래의 쇼트키 정류기의 누설전류를 줄이기 위해 개발되었다. JBS 구조에서는 드리프트 영역에 그리드가 형성되어 있는 쇼트키 정류기이다. JBS 정류기에 순방향 바이어스를 인가하면 공핍층의 폭은 감소하게 되고 JBS 셀 구조에서의 파라미터 $2d$ 는 증가하게 되어 채널전류가 형성된다. JBS 정류기에 역방향 바이어스를 인가하면 공핍층의 폭은 증가하고 계속해서 역방향 바이어스를 인가하면 양측의 P*으로부터 확장된 공핍층은 서로 만나게 되어 핀치오프(pinch-off)를 형성하게 된다. 즉 전자에 의한 전위장벽을 형성하게 된다. 형성된 전위장벽은 쇼트키 장벽이 낮아지는 효과를 저지하게 된다. 결국 높은 역방향 바이어스 인가시 높은 누설전류가 종래의 쇼트키 정류기에서는 나타나는데 JBS 정류기에서는 이와 같은 높은 누설전류는 나타나지 않는다.

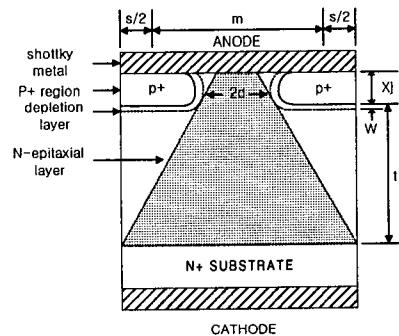


그림 2.1. 파라미터를 가지고 정의된 접합장벽조절 쇼트키 정류기의 단위 셀 구조.

Fig. 2.1. Unit cell structure of junction barrier controlled schottky rectifier with parameters.

접합장벽조절 쇼트키 정류기의 구조를 선형경사접합으로 가정하고 해석하기 위하여 구조적인 파라미터들을 그림 2.1에 나타내었다. 여기서, s 는 개방된 마스크 원도의 크기이고, m 은 마스크 원도의 크기이다. x_j 은 접합의 깊이를 나타내며 $2d$ 는 전류가 흐르는 경

로의 폭을 나타낸다. 이때 확산에 의해 형성된 P* 접합에서의 측면으로의 퍼짐을 Baliga는 85%로 가정하였지만⁴⁾, 본 논문에서는 확산 공정이 아닌 이온주입 공정으로 P* 접합을 형성하고 이때 측면으로 퍼짐을 50%로 설정하였다. 이와 같은 사실은 MICROTREC 모의실험을 통하여 해석적인 방법으로 결정하였다.

표 2.1은 접합장벽조절 쇼트키 정류기에 대한 기본적인 수식들을 정리하였다. 정류기의 동작과 표에 나타난 파라미터들에 대한 자세한 설명은 참고문헌 [4]를 참조한다.

표 2.1. 접합장벽조절 쇼트키 정류기에 대한 기본적인 수식들.

Table 2.1. Basic equations of junction barrier-controlled schottky rectifier.

쇼트키 장벽에서의 순방향 전압강하
$V_{FS} = \phi_B + \frac{kT}{q} \ln\left[\left(\frac{m+s}{2d}\right) \frac{J_{FC}}{A^*T^2}\right]$
에피층에서 나타나는 저항
$R_{epi} = \rho \frac{(x_j+t)(m+s)}{m+s-2d} \ln\left[\frac{m+s}{2d}\right]$
접합장벽조절쇼트키 정류기의 순방향 전압강하
$V_F = \phi_B + \frac{kT}{q} \ln\left[\left(\frac{m+s}{2d}\right) \frac{J_{FC}}{A^*T^2}\right] + \rho \frac{(x_j+t)(m+s)}{m+s-2d} \ln\left[\frac{m+s}{2d}\right] J_{FC}$
접합장벽조절쇼트키 정류기의 누설전류
$J_L = \left(\frac{2d}{m+s}\right) A^*T^2 \exp\left[-\left(\frac{q\phi_B}{kT}\right)\right] \cdot \exp\left(-\frac{q\Delta\phi_b}{kT}\right)$
공간전하 생성과 확산전류에 의한 누설전류
$J_{LD} = q\sqrt{\frac{D}{\tau}} \frac{n_i^2}{N} + \frac{qn_iW}{\tau}$
접합장벽조절쇼트키 정류기의 전력소모
$P_D = J_F V_F \frac{t_{on}}{T} + J_R V_R \frac{t_{off}}{T}$

3. 해석 결과 및 검토

접합장벽조절 쇼트키 정류기의 구조를 해석하기 위해 디바이스의 활성영역은 0.01 cm²로 형성하였다. 이 디바이스의 개방 원도우의 폭은 s=5~[μm] 이고, (m+s)=10[μm] 이다. 정류기는 저항이 0.5[Ω·cm]인 n형 에피층으로 두께가 6[μm]으로 강하게 도핑된 n⁺ 기판 위에 성장되었다. 디바이스는 순방향 전도 전류와 역방향 누설전류의 영향을 조사하기 위해 P+ 접합의 깊이를 1[μm], 2[μm]로 각각 형성하였다. 이때 확산에 의해 형성된 P+ 접합에서의 측면으로의 퍼짐을 Baliga는 85%를 가정하였지만⁴⁾, 본 논문에서는 MICROTREC 모의실험을 통하여 확산 공정이 아닌 이온주입 공정으로 인(P)이 도핑된 기판 위에 비소가 도핑된 n형 에피층을 형성한 후, 붕소(P+)를 이온 주입하여 모의실험 하였는데 그 결과, 주입된 붕소의 측면 퍼짐을 50%(주입에너지는 300~400[keV])으로 설정하였다. MICROTREC 모의실험에 의해 결정된 측면 퍼짐에 대한 결과는 표 3.1에 나타내었다. 표 3.1에서 나타낸 것처럼 이온 주입에너지가 증가함에 따라서 YL/XJ의 비가 감소

표 3.1. 이온 주입 에너지에 따른 수직 깊이와 측면 분포.

(공정 조건 : 비소가 1×10¹⁴[cm⁻³]으로 도핑된 에피층에 붕소(도즈=1×10¹⁵[cm⁻²])를 이온 주입한 후, 1000℃, 10 [sec]동안 이널트(inert) 질소 가스 분위기에서 열처리).

Table 3.1. Vertical depth and lateral spreading according to implantation energy.

에너지 [keV]	수직깊이(X _J) [um]	측면퍼짐(Y _L) [um]	(Y _L /X _J) × 100(%)
100	0.771	0.428	55.5
200	1.095	0.587	53.6
300	1.344	0.662	49.3
400	1.593	0.738	49.2
500	1.792	0.789	44.0
600	1.941	0.837	43.1
700	2.140	0.845	39.5
800	2.290	0.912	39.8
900	2.439	0.940	38.5
1000	2.514	0.968	38.5

함을 알 수 있었다. 그림 3.1은 에너지에 따른 Y_L/X_J 의 비를 그래프로 나타내었다. 그림 3.2, 3.3, 3.4는 비소가 도핑(doping)된 에피층에 붕소를 이온 주입한 경우(300[keV]~1[MeV]), 2차원적인 도핑 농도분포를 나타내고 있다.

그림 3.5는 P+ 접합의 깊이가 1[μm]인 쇼트키 장벽 조절 정류기의 순방향 I-V 특성을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 해석적인 결과들은 실험 데이터와 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 이때 순방향 전압강하는 0.052[V] 정도의 극히 낮은 전압부터 나타났다. 선형경사접합으로 해석한 결과는 계단접합

으로 해석한 결과 보다 미약하지만 낮은 전압강하가 나타났다. 실험데이터와 차이는 열처리 시간에 따른 확산 깊이의 결정과 해석적인 파라미터에 사용된 리차드슨 상수의 결정으로부터 비롯된 것이라 생각된다. 그림 3.6과 그림 3.7 그리고 그림 3.8은 그림 3.5에서와 같이 순방향 전압강하를 계산한 결과를 나타내고 있다. 아래 4개의 그림으로부터 장벽의 높이가 낮은 것을 선택함으로써 접합장벽조절 쇼트키 정류기가 보다 낮은 순방향 전압강하를 나타냄을 알 수 있다. 접합의 깊이가 2[μm]인 경우에도 위의 경우와 유사한 결과가 나타남을 확인 할 수 있었다^{6, 7)}.

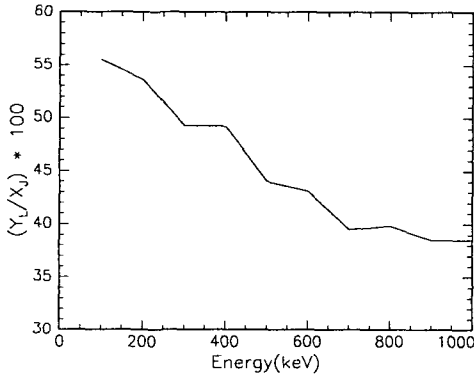


그림 3.1. 주입 에너지와 측면 퍼짐-수직 깊이 비율의 관계.

Fig. 3.1. Relationship on implantation energies and lateral-vertical depth ratio.

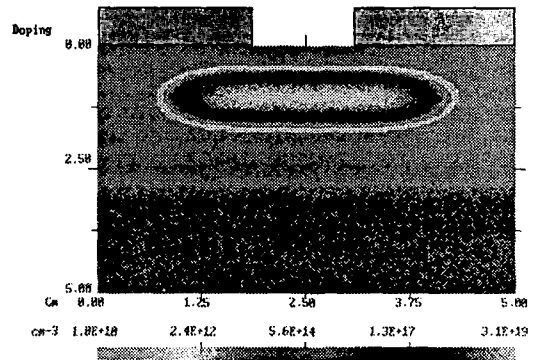


그림 3.3. 비소가 도핑된 에피층에 붕소를 이온 주입(에너지 : 500[keV]).

Fig. 3.3. Boron implantation into As-doped epi-layer(energy : 500[keV]).

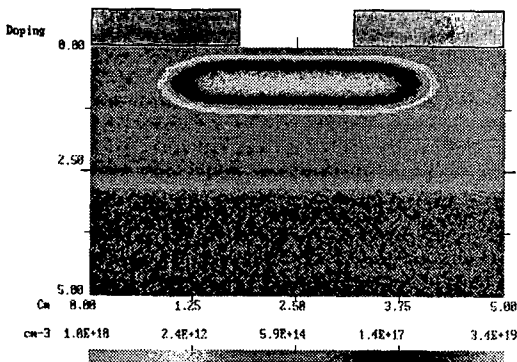


그림 3.2. 비소가 도핑된 에피층에 붕소를 이온 주입(에너지 : 500[keV]).

Fig. 3.2. Boron implantation into As-doped epi-layer(energy : 500[keV]).

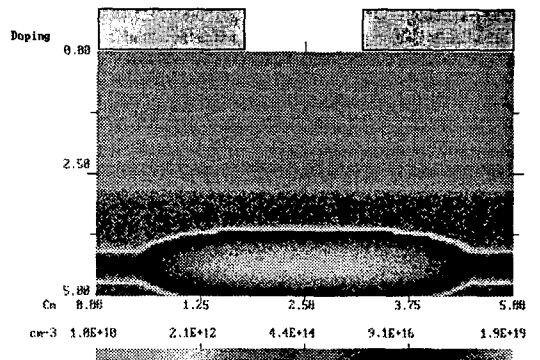


그림 3.4. 비소가 도핑된 에피층에 붕소를 이온 주입(에너지 : 1000[keV]).

Fig. 3.4. Boron implantation into As-doped epi-layer(energy : 1000[keV]).

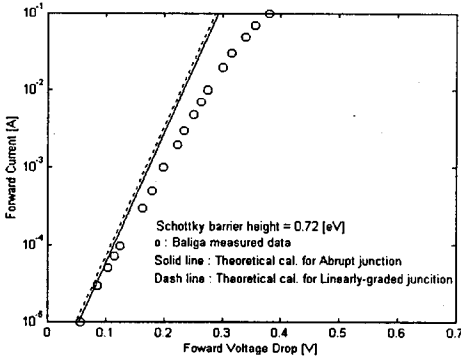


그림 3.5. 접합장벽조절 쇼트키 정류기의 순방향 전류-전압 특성 곡선.

($\phi_b = 0.72$ [eV], P+ 접합깊이 = $1[\mu\text{m}]$).

Fig. 3.5. Forward I-V characteristics of junction barrier controlled schottky rectifiers.

($\phi_b = 0.72$ [eV], P+ junction depth = $1[\mu\text{m}]$).

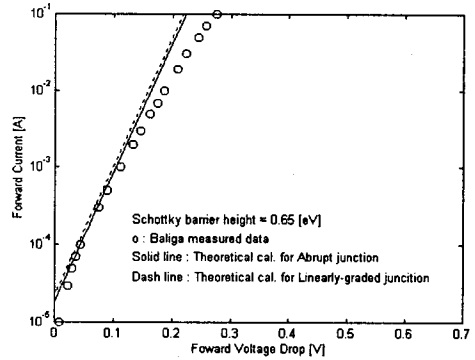


그림 3.7. 접합장벽조절 쇼트키 정류기의 순방향 전류-전압 특성 곡선.

($\phi_b = 0.65$ [eV], P+ 접합깊이 = $1[\mu\text{m}]$).

Fig. 3.7. Forward I-V characteristics of junction barrier controlled schottky rectifiers.

($\phi_b = 0.65$ [eV], P+ junction depth = $1[\mu\text{m}]$).

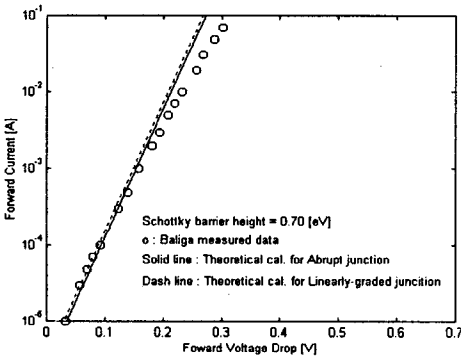


그림 3.6. 접합장벽조절 쇼트키 정류기의 순방향 전류-전압 특성 곡선.

($\phi_b = 0.70$ [eV], P+ 접합깊이 = $1[\mu\text{m}]$).

Fig. 3.6. Forward I-V characteristics of junction barrier controlled schottky rectifiers.

($\phi_b = 0.70$ [eV], P+ junction depth = $1[\mu\text{m}]$).

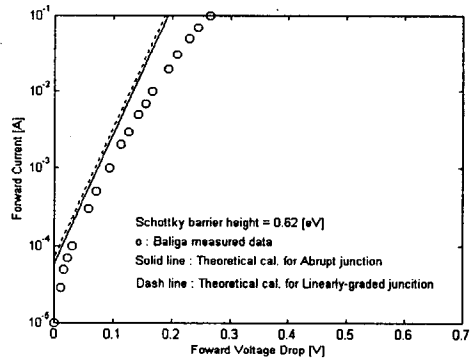


그림 3.8. 접합장벽조절 쇼트키 정류기의 순방향 전류-전압 특성 곡선.

($\phi_b = 0.62$ [eV], P+ 접합깊이 = $1[\mu\text{m}]$).

Fig. 3.8. Forward I-V characteristics of junction barrier controlled schottky rectifiers.

($\phi_b = 0.62$ [eV], P+ junction depth = $1[\mu\text{m}]$).

그림 3.9에서 그림 3.12까지는 접합의 깊이를 $1[\mu\text{m}]$ 로 설정하고 장벽의 높이의 변화에 따라 역방향 누설전류에 대한 결과들이다. 해석적으로 계산된 결과에는 공간전하와 확산 전류에 의한 누설전류 항을 포함시켰다. 계산된 결과들을 그림을 통해 살펴보면, 선형경사접합으로 해석한 결과는 계단접합으로

해석한 결과보다 1×10^{-1} 배 정도 더 낮은 누설전류를 나타내고 있다. 이와 같은 사실은 선형경사접합 공핍층 폭이 계단접합 공핍층 폭의 크기보다 역방향 전압을 인가했을 때 더 큰 크기로 증가하기 때문에 보다 낮은 역방향 전압에서 쇼트키 장벽아래의 채널을 펀치 오프(pinch-off) 시키게 된다. 채널의 펀치

오프가 형성되면, 형성된 공핍층에서 나타나는 전위 장벽이 장벽의 낮아지는 효과를 억제시킨다. 일단 펀치 오프가 형성되면 공핍층 내에서 나타나는 전계는 더 이상 인가한 역방향 전압에 의존하지 않고 일정하게 유지된다. 이것은 쇼트키 장벽 조절 정류기의 가장 큰 특징 중 한가지이다⁷⁾. 펀치 오프 상태에

서 전계가 일정하게 유지되기 때문에 역방향 누설전류는 더 이상 전계의 영향을 받지 않게 되고 그 결과 인가한 역방향 전압에 독립적이 된다. 그래서, 더 이상의 누설전류의 증가는 나타나지 않게 된다. 선형 경사접합으로 해석한 결과는 인가한 역방향 전압에 대해서 계단접합으로 해석한 결과보다 더 낮은 역방

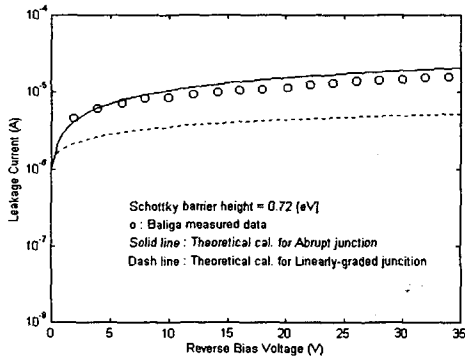


그림 3.9. 접합장벽조절 쇼트키 정류기의 역방향 전류-전압 특성 곡선.
 $(\phi_b=0.72[eV], P+ \text{접합깊이}=1[\mu\text{m}])$.
 Fig. 3.9. Reverse I-V characteristics of junction barrier controlled schottky rectifiers.
 $(\phi_b=0.72[eV], P+ \text{junction depth}=1[\mu\text{m}])$.

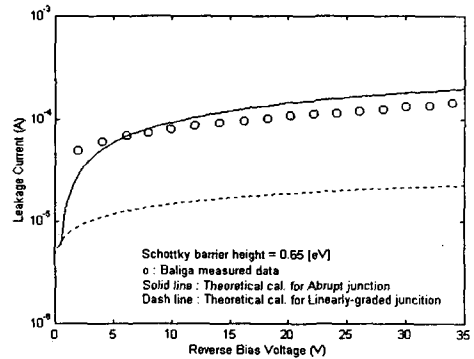


그림 3.11. 접합장벽조절 쇼트키 정류기의 역방향 전류-전압 특성 곡선.
 $(\phi_b=0.65[eV], P+ \text{접합깊이}=1[\mu\text{m}])$.
 Fig. 3.11. Reverse I-V characteristics of junction barrier controlled schottky rectifiers.
 $(\phi_b=0.65[eV], P+ \text{junction depth}=1[\mu\text{m}])$.

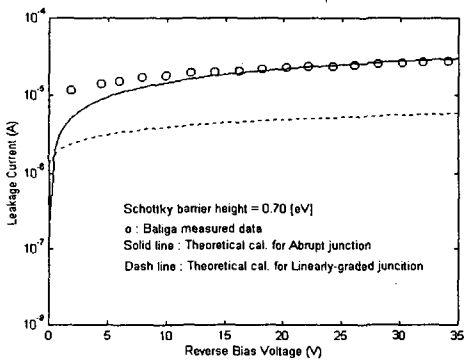


그림 3.10. 접합장벽조절 쇼트키 정류기의 역방향 전류-전압 특성 곡선.
 $(\phi_b=0.70[eV], P+ \text{접합깊이}=1[\mu\text{m}])$.
 Fig. 3.10. Reverse I-V characteristics of junction barrier controlled schottky rectifiers.
 $(\phi_b=0.70[eV], P+ \text{junction depth}=1[\mu\text{m}])$.

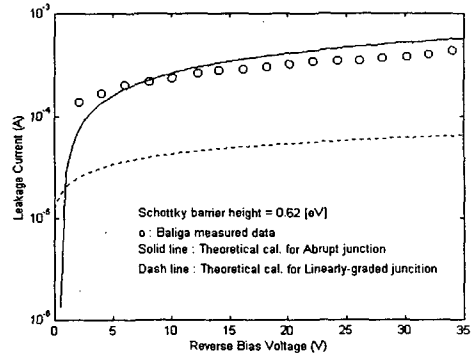


그림 3.12. 접합장벽조절 쇼트키 정류기의 역방향 전류-전압 특성 곡선.
 $(\phi_b=0.62[eV], P+ \text{접합깊이}=1[\mu\text{m}])$.
 Fig. 3.12. Reverse I-V characteristics of junction barrier controlled schottky rectifiers.
 $(\phi_b=0.62[eV], P+ \text{junction depth}=1[\mu\text{m}])$.

항 누설전류를 나타내므로 항복전압에서도 유리함을 알 수 있다. 게다가 역방향 누설전류에 대한 그림 3.9, 3.10, 3.11, 3.12로부터 알 수 있는 사실은 쇼트키 장벽의 높이를 높게 설정해 줌으로써 보다 낮은 누설전류를 얻을 수 있다는 사실이다.

P+접합의 깊이를 2[μm]로 설정하여 역방향 누설 전류를 선형경사접합과 계단접합으로 계산한 결과에서도 접합의 깊이를 1[μm]로 설정했을 경우와 마찬가지로 선형경사접합으로 해석한 경우가 계단접합으로 해석한 결과보다 더 낮은 누설전류를 나타내고 있음을 확인 할 수 있었다.

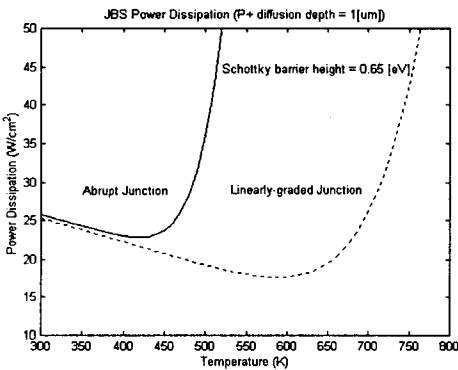


그림 3.13. 온도에 따른 접합장벽조절 쇼트키 정류기의 전력 소모.

($\phi_b = 0.65[\text{eV}]$, P+ 접합깊이=1[μm]).

Fig. 3.13. Power dissipation of junction barrier controlled schottky rectifiers according to temperature.

($\phi_b = 0.65[\text{eV}]$, P+ junction depth=1[μm]).

그림 3.13과 그림 3.14는 P+ 접합의 깊이를 1[μm], 2[μm]로 설정하고 쇼트키 장벽의 높이를 각각 0.65[eV], 0.70[eV]로 설정했을 경우 접합장벽조절 쇼트키 정류기의 전력소모를 나타내고 있다. 선형경사접합으로 해석한 경우는 계단접합으로 해석한 경우보다 낮은 역방향 누설전류를 나타내기 때문에 전력소모 면에서도 더 유리함을 그림 3.13, 3.14로부터 알 수 있다. 선형경사접합으로 해석한 결과는 계단접합으로 해석한 결과보다 600 $^{\circ}\text{C}$ 정도의 높은 온도까지 낮은 누설전류를 유지하고 있다.

4. 결 론

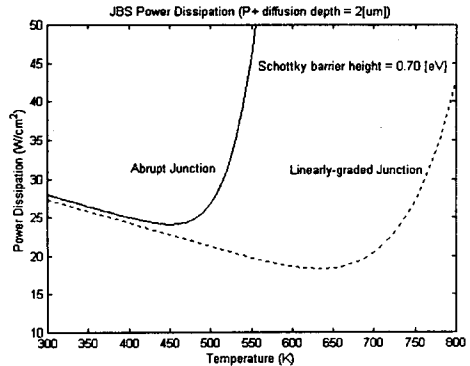


그림 3.14. 온도에 따른 접합장벽조절 쇼트키 정류기의 전력 소모.

($\phi_b = 0.70[\text{eV}]$, P+ 접합깊이=2[μm]).

Fig. 3.14. Power dissipation of junction barrier controlled schottky rectifiers according to temperature.

($\phi_b = 0.70[\text{eV}]$, P+ junction depth=2[μm]).

본 논문에서는 P+ 접합의 깊이가 각각 1[μm], 2[μm]설정하고, Al과 n형 에피층과의 쇼트키 접촉을 형성했을 때, 장벽의 높이가 각각 0.72, 0.70, 0.65, 0.62[eV]인 접합장벽조절 쇼트키 정류기를 MICROTREC 모의실험과 선형경사접합 및 계단접합으로 해석하여 실험 데이터와 비교하였다. 해석한 결과로부터 접합장벽조절 쇼트키 정류기를 선형경사접합으로 해석한 결과는 계단접합으로 해석한 결과보다 쇼트키 층과 에피층 사이에서 약간 더 낮은 순방향 전압강하를 얻었고, 접합장벽조절 쇼트키 정류기에 역방향 전압을 인가했을 때, 선형경사접합으로 해석한 역방향 누설전류는 계단접합으로 해석한 역방향 누설전류보다 1×10^{-1} 배 정도 더 낮게 나타났다. 보다 낮은 누설전류 특성으로부터 향상된 항복전압 특성이 나타남을 명확하게 확인 할 수 있었고, 게다가 온도에 따른 접합장벽조절 쇼트키 정류기의 전력소모를 해석적으로 계산 한 결과, 선형경사접합으로 해석한 결과는 계단접합으로 해석한 결과보다 높은 동작온도에서도 낮은 전력소모를 유지하고 있음을 확인하였고, 이 사실로부터 고전압 정류기의 접합구조는 계단접합보다는 선형경사접합으로 형성하는 것이 더 유리함을 본 논문의 해석적인 모델을 통해서 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. A. G. Milnes, D. L. Feucht, "Hetero Junction

- Metal-Semiconductor Junction”, Academic Press, New York and London, pp. 184-186, 1972.
2. Andrei P. Silard and Miron J. Duta, “Revised Theory of linearly-graded Silicon Junction : An Analytical Approach”, Solid-State Electronics, Vol. 34, No. 2, pp. 167-172, 1991.
 3. Donald A. Neamen, Semiconductor physics and Devices, IRWIN, pp. 257-259, 1992.
 4. B. Jayant Baliga, Power Semiconductor Devices, PWS, pp. 128-186, 1995.
 5. S. M. Sze, Physics of Semiconductor Devices, New York Wiley, p. 245, 296, 1981.
 6. Manoj Mehrotra and B. Jayant Baliga, “Low Forward Drop JBS Rectifiers Fabricated Using Submicron Technology”, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 41, No. 9, 1994.
 7. B. Jayant Baliga, “Analysis of Junction-Barrier-Controlled Schottky(JBS) Rectifier Characteristics”, Solid State Electronics, Vol. 28, No. 11, pp. 1089-1093, 1985.
 8. S. M. Sze, C. R. Crowell and D. Kahng, J. Appl. Phys. 35, 2534(1964).