Chapter 2

DIODES

2조 김재식 김양희
안혜랑 이현진

2.1 Mechanical Modeling of Diode

◆ PN접합 : 외부 에너지의 방향에 의해 한 방향으로만 전류가 흐를 수 있게 한다.

즉, 다이오드는 방향이 바뀌는 외부 전압에 대하여 한 쪽 방향으로만 도통된다.

2.2 Biasing the PN Junction

- ⇒ 평형 상태에서는 PN접합을 통해 움직이는 자유 전자가 없다.
- ⇒ 즉 평형 상태에서는 PN접합을 통해 전류가 흐르지 않는다. 따라서 PN접합을 통해 전류가 흐르도록 하기 위해서는 외부전압인 적절한 바이어스가 인가 되어야 한다.

[1]. 순방향 바이어스 (Forward Bias)

: PN 접합을 통해 전류가 흐를 수 있는 조건.

필요조건 :

i) 외부 바이어스 전압 V_{Bias}의 (+) 단자는 p형-Si에,(-) 단자는 n형-Si에 연결.

ii) $V_{Bias} > Vo$.

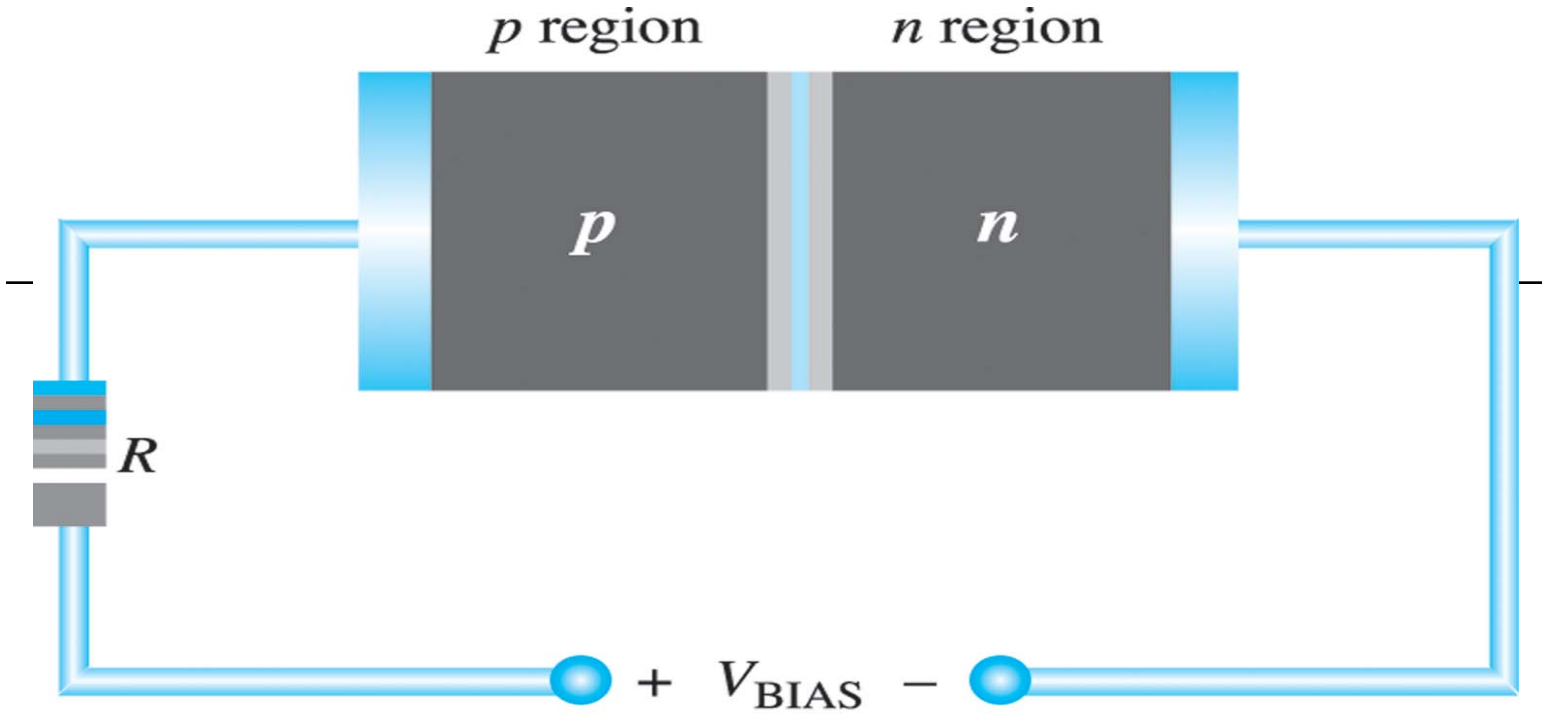


그림 1-20

* 그림 1-20 순방향 바이어스로 연결된 pn 접합.

  where 저항 R : pn 접합의 파괴를 방지하기 위한 전류 제한 역할.

  (큰 전류가 흐를 때, R에서의 전압 강하로 인해pn 접합에 걸리는 전압 감소)

* 순방향 바이어스에서 전류 흐름에 대한 동작원리 ; 그림 1-21

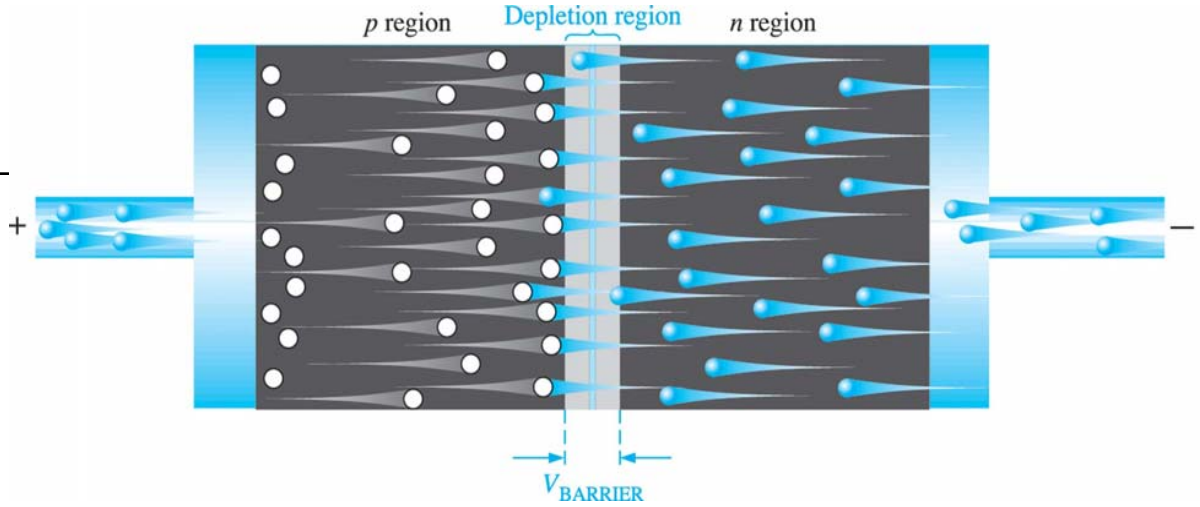
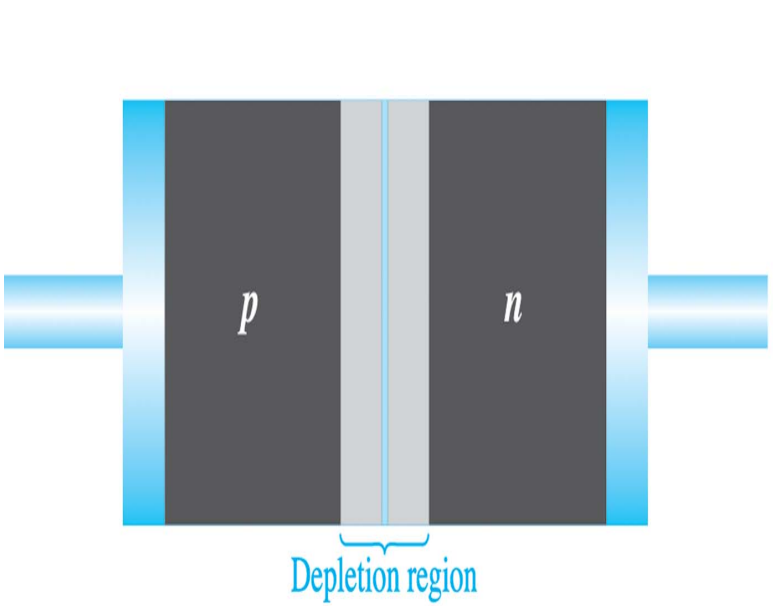


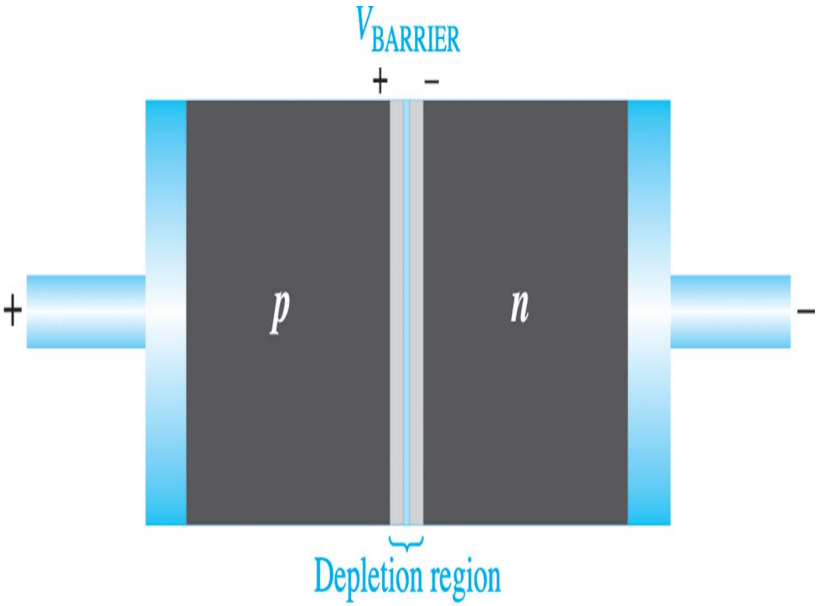
그림 1-21

1) 공핍영역에 대한 순방향 바이어스의 영향 ;
   그림 1-22 (a) : 공핍영역 감소.
2) 순방향 바이어스를 가한 경우, 전위장벽의 영향 ;
   그림 1-22 (b) : 공핍영역에서 전위장벽의 크기만큼 전압강하.

* p형과 n형의 내부저항 : 동저항 (Dynamic resistance)



(a) 평형시(바이어스가 가해지지 않은 경우)



(b) 순방향 바이어스를 가하는 경우, 공핍영역이 좁아지며 전위장벽과 같은 크기의 전압이 *pn* 접합에 걸림.

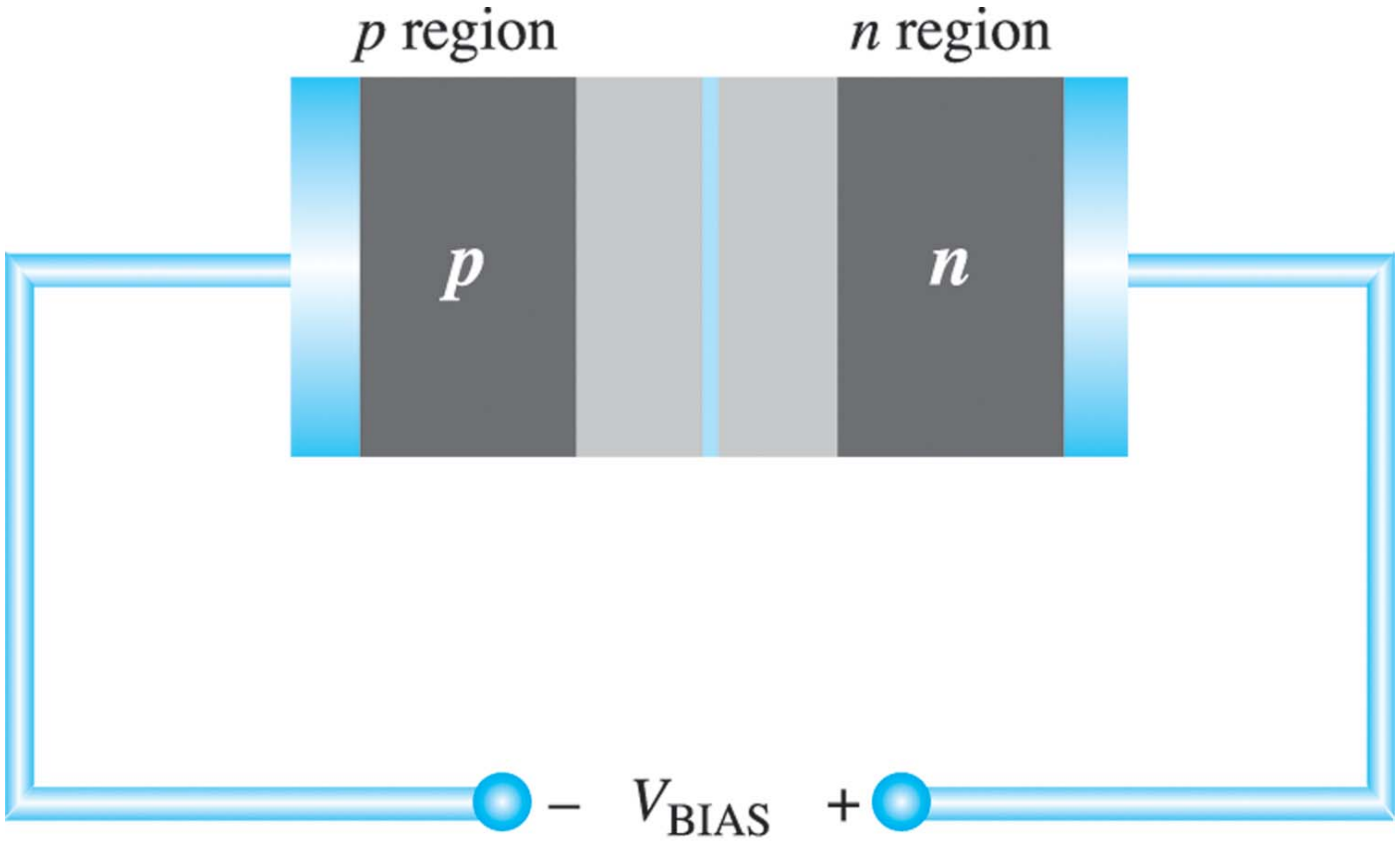
그림 1-22

[2] 역방향 바이어스 (역 바이어스)

* pn 접합을 통해 전류가 흐르지 못하게 하는 조건.

* 외부 바이어스 전압 V_{Bias}의 (+) 단자는 n형-Si에,
(-) 단자는 p형-Si에 연결.

* 그림 1-23 역방향 바이어스가 인가된 pn 접합.



* 역방향 바이어스가 인가되었을 때의 동작원리 ; 그림 1-24

역방향 바이어스가 인가되면, 공핍영역 증가

→ 처음에는 역방향으로 전계의 세기가 증가.

→ 공핍층에 걸리는 전위의 크기가 V_{Bias}의 크기와 같아지면,

전계의 세기는 더 이상 증가하지 않음.

→ 역방향 포화전류만 흐름.

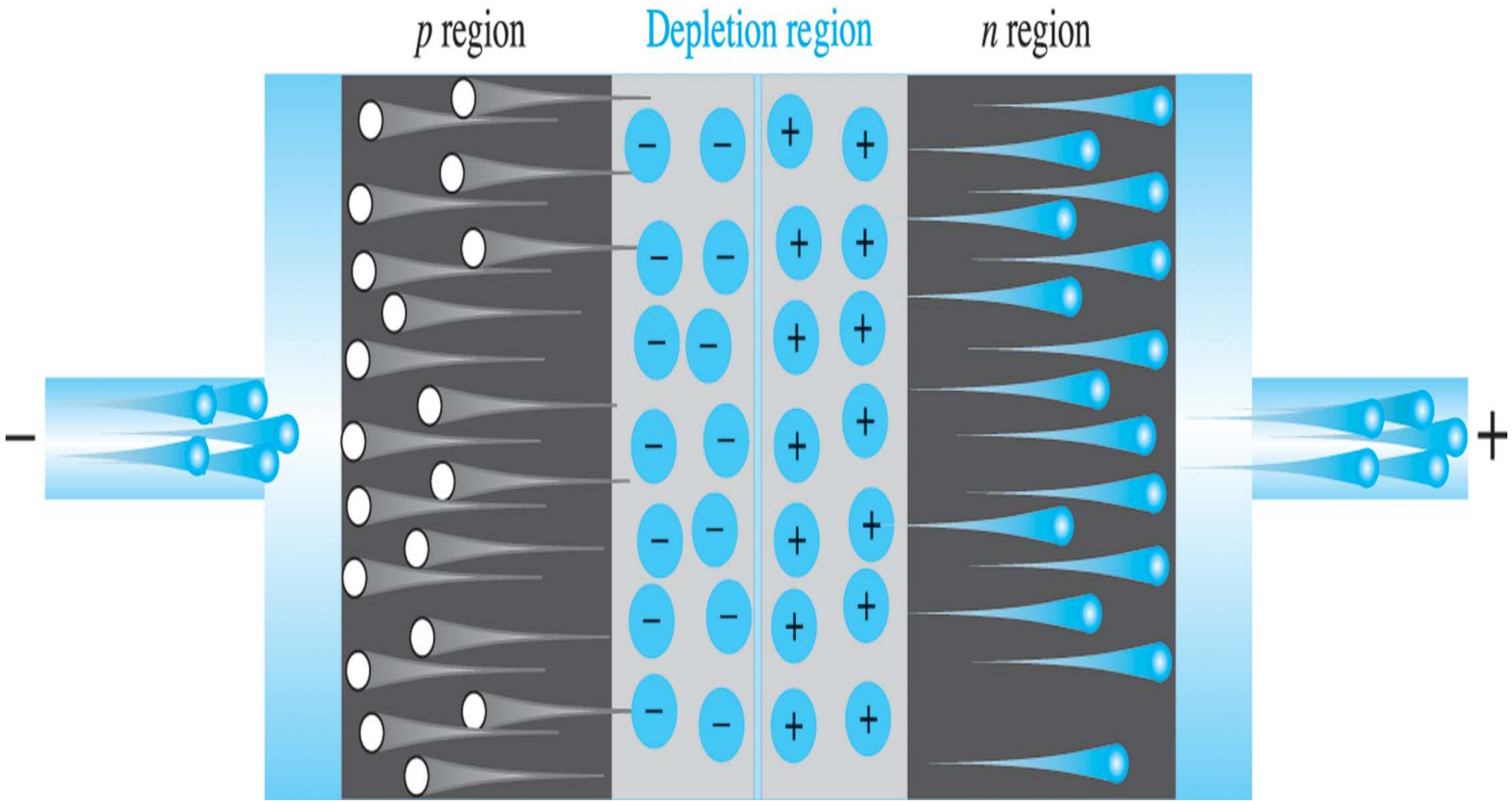


그림 1-24

1) 공핍 층(Deflation Region)

: 역방향 바이어스는

▶ n형 반도체 접합 근처의 자유 전자를 (+)전원 단자 쪽으로 끌어당겨 케리어가 부족하게 되어 공핍 층의 폭은 더 넓어짐

➔ 전압이 크면 클수록 공핍 층의 폭은 더 넓어진다.

그러나 공핍 층의 전위차=전원 일때 공핍 층 폭은 더 이상 증가하지 않는다.

➔ 자유전자와 정공의 이동이 정지

2) 역전류 : n 영역과 p 영역에서 열적 생성된 EHP에 의한 소수캐리어 전류 그림 1-25

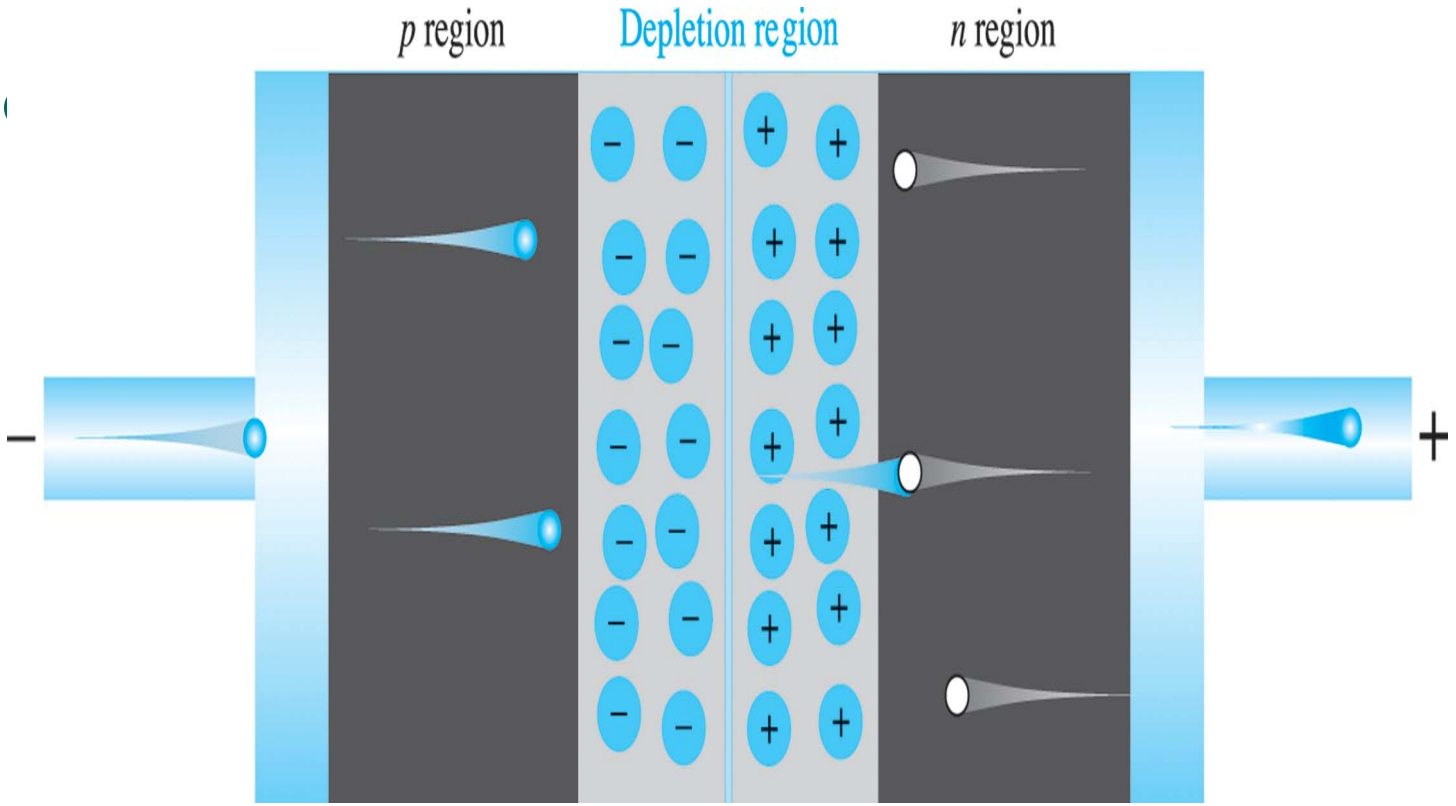


그림 1-25

3) 항복 전압 (Breakdown Voltage)

: pn접합에 역방향 바이어스를 인가시키면 pn접합은 저항이 전류를 흘리지 못할 만큼 커진다. 그러나 역방향 바이어스를 계속 증가시키면 결국 항복전압에 도달하게 되는데 이때 많은 양의 소수 캐리어 충돌에 의해 avalanche가 발생하여 케리어가 증가되므로 역방향으로 다이오드가 도통되는 파괴현상이 일어난다.

* avalanche : 전도 전자의 증가를 가리킨다. 이것이 발생하면 매우 큰 전류가 흐르게 되고 이로 인해 심한 열을 발생하므로 다이오드를 손상시킬 수 있다.

2.3 characteristic of PN junction

순 바이어스는 PN접합을 통해 전류가 흐를때의 극성을 뜻하며 역바이어스는 무시할 수 있을 만큼의 역전류 외에는 전류를 흘리지 못한다. 역 바이어스 전압이 항복전압 이상이 되지 않는 한 전류가 흐르지 못한다.

1.순방향 바이어스의 V-I 특성 (V-I characteristic for Forward Bias)

:순 방향 바이어스 전압이 Si diode 양단에 공급됐을 때 접합을 통해 전류가 흐르는데 이 전류가 순 방향전류(forward current)이고 IF로 표시한다.

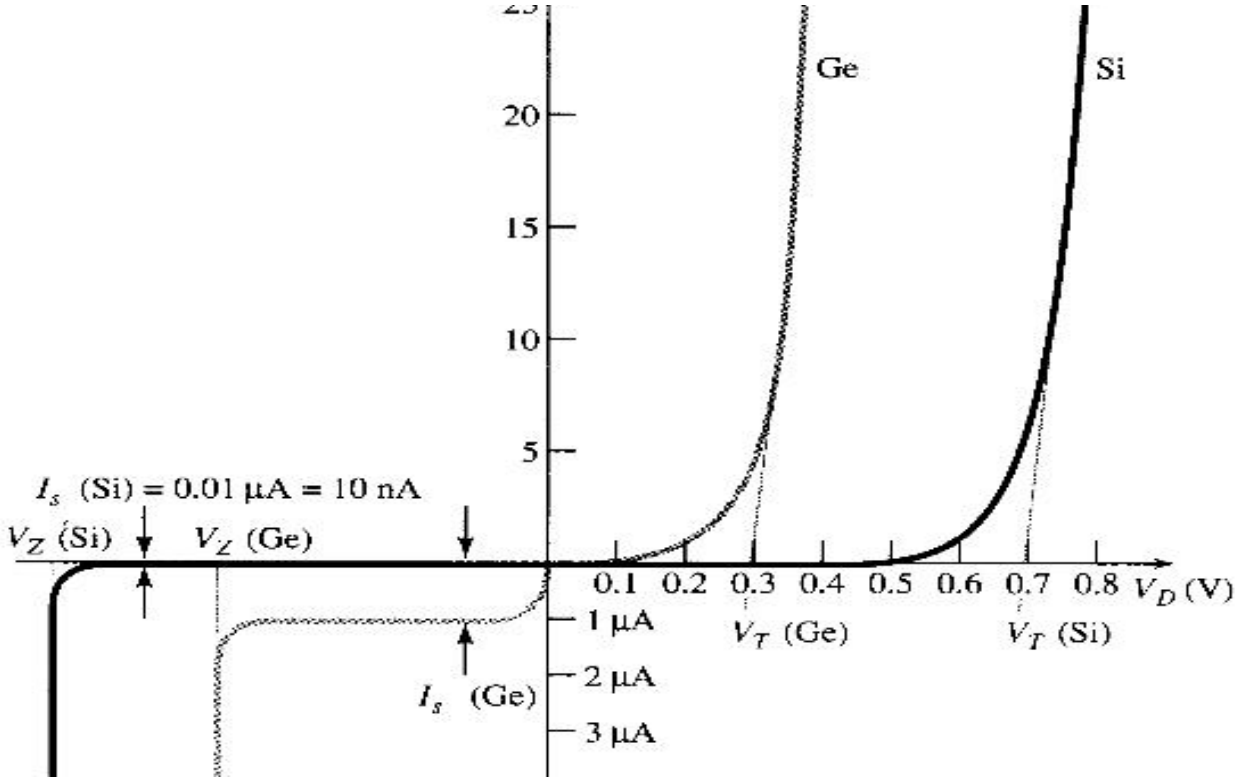
➔ 순방향 바이어스 전압이 작을 때 ($V_F < 0.7V$) 매우 작은 순방향 전류가 흐른다.

➔ 순방향 전압이 거의 0.7V에 도달한 경우엔 바이어스 전압이 증가할수록 순방향 전류가 증가한다.

* pn접합 양단의 전압은 0.7V까지만 증가.
전위 장벽보다 약간 높은 PN접합 양단의 전압은 동저항(dynamic resistance)의 전압강하로] 인한 것이다.

2. V-I 특성 곡선 (V-I Characteristic Curve)

- pn접합 회로에 바이어스를 인가하여 측정한 결과는 다음 그림과 같이 순방향 pn접합 바이어스의 V-I특성 곡선으로 얻을 수 있다.
- Si=0.7V
- Ge=0.3V



순방향 전류는 전압 양단 순방향 전압이 약 0.7V가 될 때까지는 조금밖에 증가하지 않는다. 이 점을 지나게 되면 순방향 전압은 거의 0.7V에 머물고 IF는 급속히 증가한다. 동적 저항으로 인한 전류의 증가로 VF는 0.7V보다 약간 증가한다.

3. 역바이어스 V-I 특성곡선
(V-I Characteristic Curve for Reverse Bias)

PN접합 양단에 역 방향 바이어스를 공급하면 접합을 통해 극히 적은 역전류 (IR)만이 흐른다. 그림 1-30은 전압을 0V에서 서서히 역 방향으로 증가할 때 발생하는 과정을 나타낸다. PN접합이 0V일 때는 역전류는 흐르지 않는다.

역바이어스 V-I 특성곡선

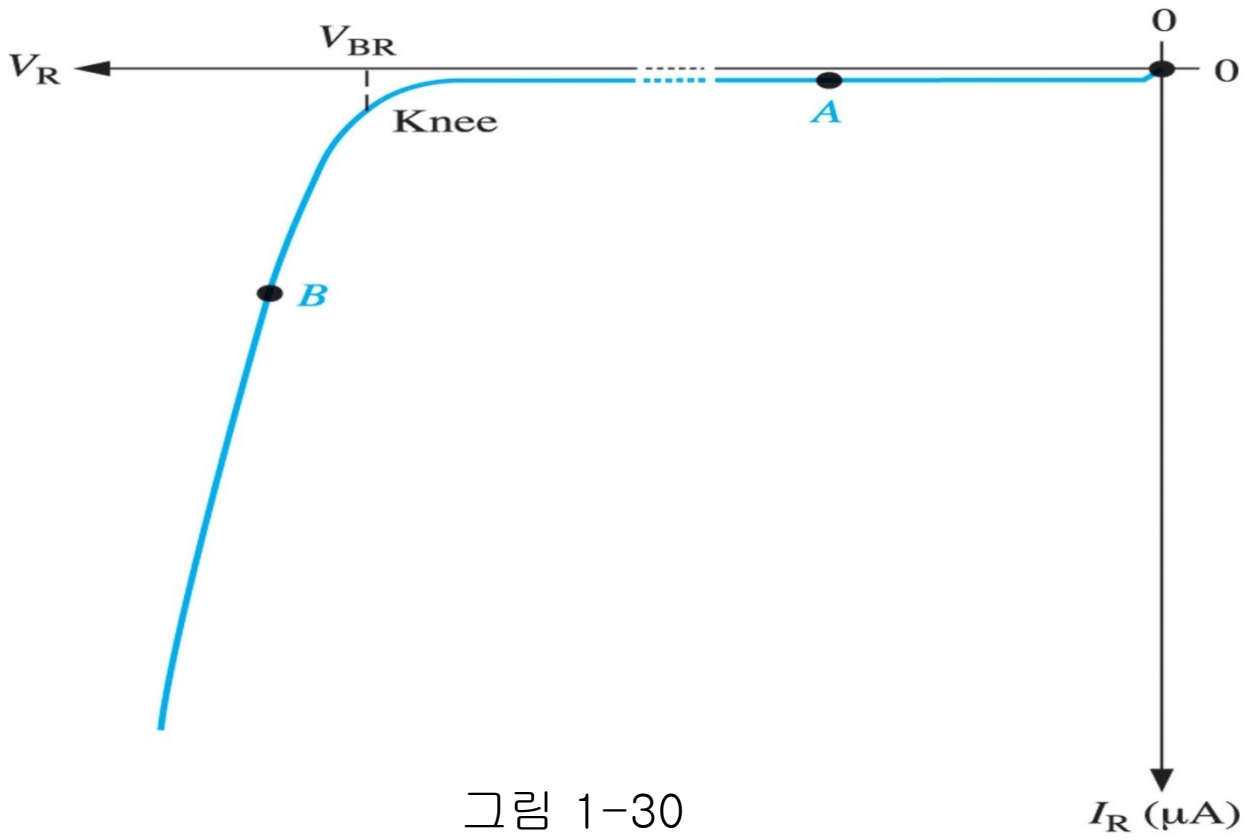


그림 1-30

4. 온도에 따른 V-I 특성 ; 그림 1-32

- * 온도⬆. 동일한 순방향 전압을 기준으로 I_F⬆,
- . 동일한 순방향 전류를 기준으로 V_F ⬇,
- . 역전류 ⬆

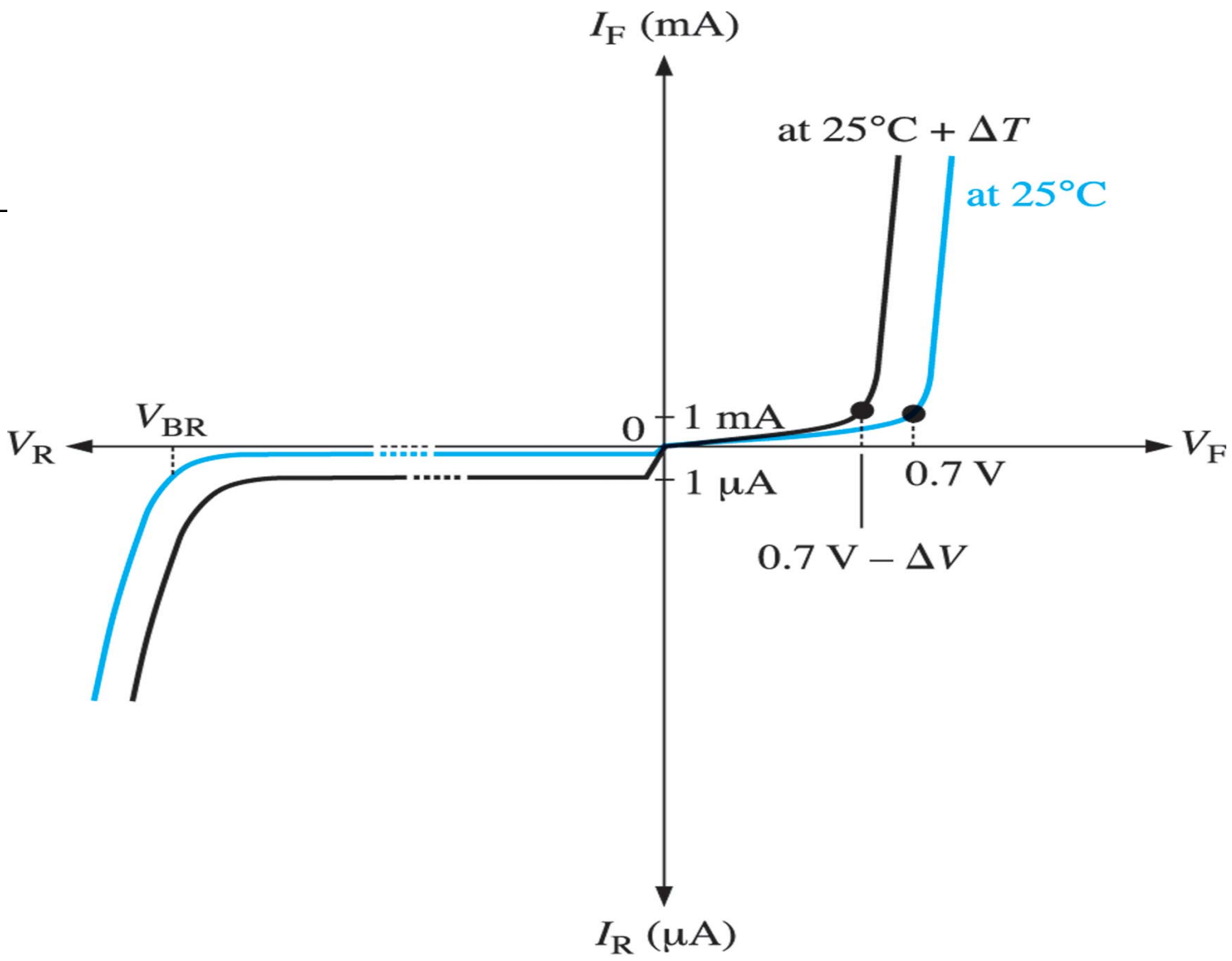

I_F (mA)
at 25°C + ΔT
at 25°C
V_{BR}
V_R
0
1 mA
1 μA
V_F
0.7 V
0.7 V – ΔV
I_R (μA)

그림 1-32

2.4 Diodes

다이오드란 오직 한 방향으로만 전류를 흐르게 하는 2단자 소자를 일컫는 것으로써, 반도체 재질에 따라서 게르마늄 다이오드와 실리콘 다이오드로 분류 된다.

또한 이것은 용도와 특성에 따라서 정류용 다이오드, 제너다이오드, 고주파용 다이오드, LED, 광 다이오드 등으로 분류할 수 있다.

[1] 다이오드의 구조와 기호

- 다이오드의 구조 : 그림 1-33 (a)
- 기호: 그림 1-33 (b) ; p 영역 : 양극 (Anode),
- n 영역 : 음극 (Cathode)
- – 화살표 : 전류 흐름 방향. 그림 1-33

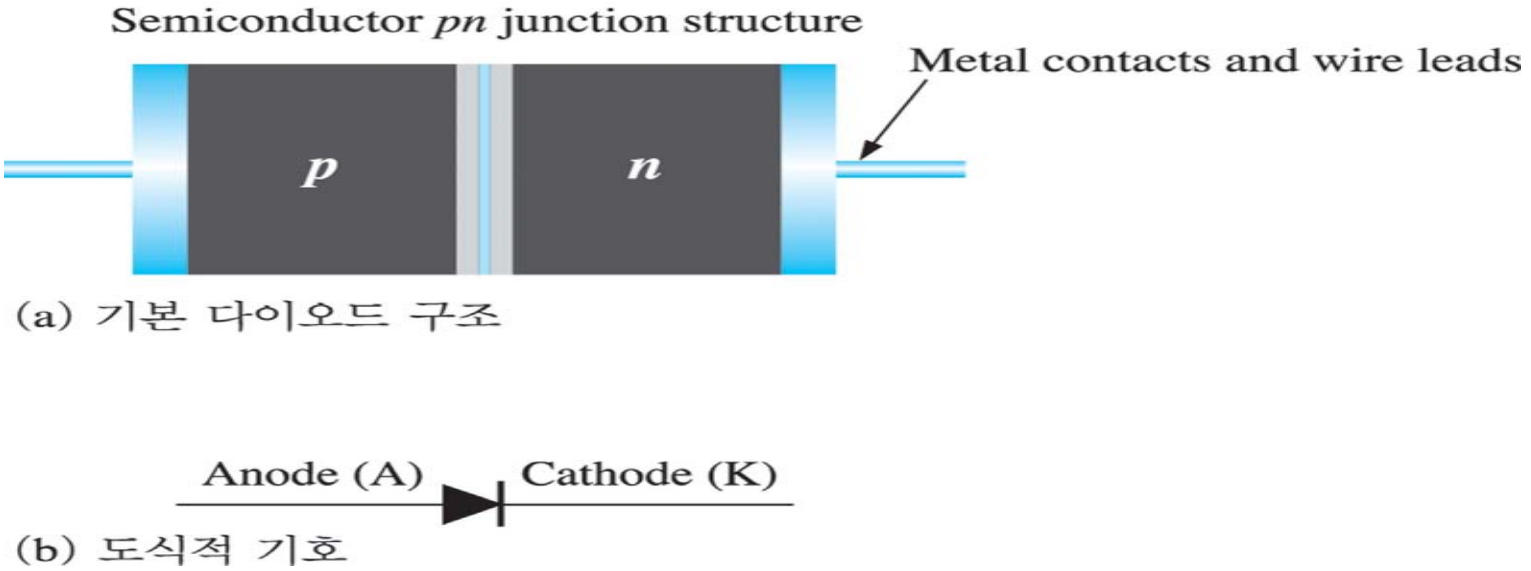


그림 1-33

[2] 다이오드의 순방향 바이어스와 역방향 바이어스

* pn 접합의 바이어스와 동일 : 그림 1-34

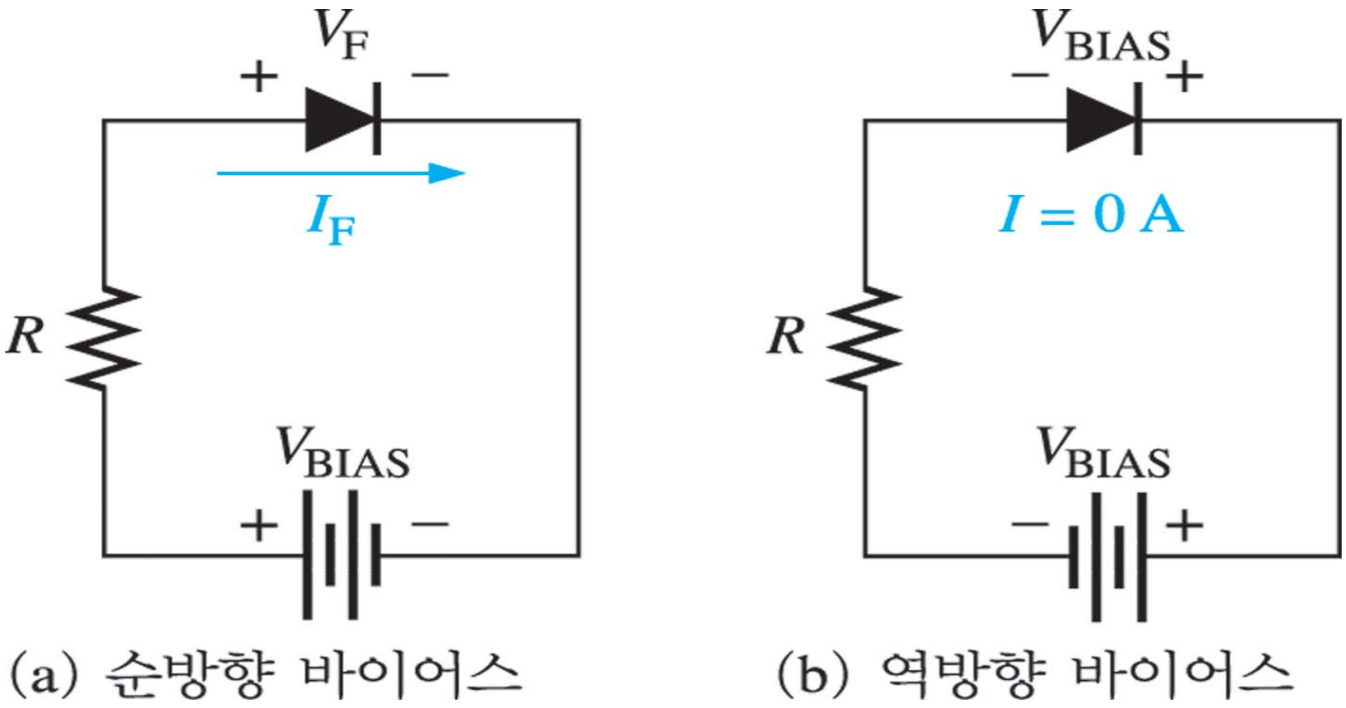


그림 1-34

[3] 일반 다이오드 ; 그림 1-35

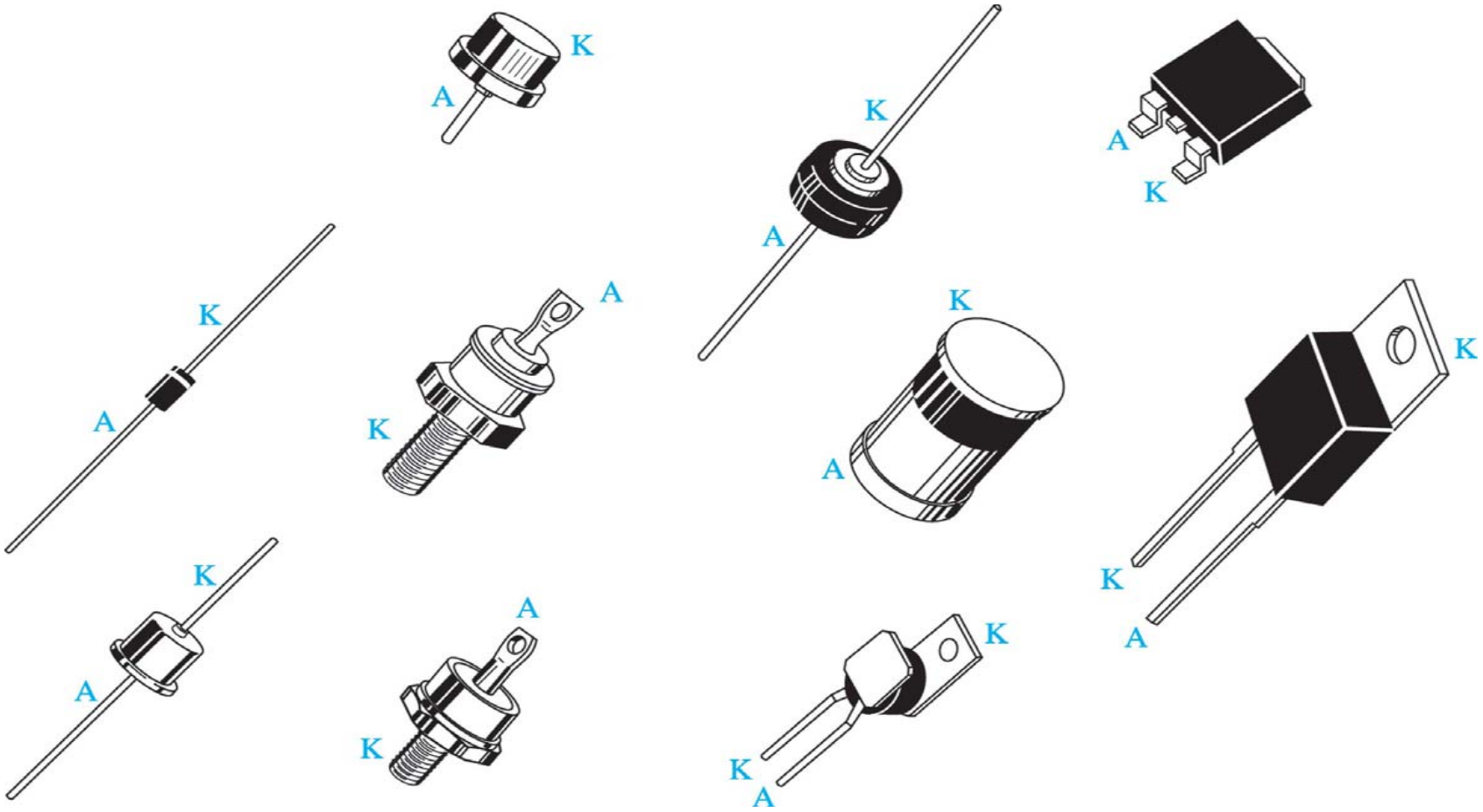


그림 1-35

[4] Ideal Diode Model

* switch와 등가.

i) 순방향 바이어스되었을 때

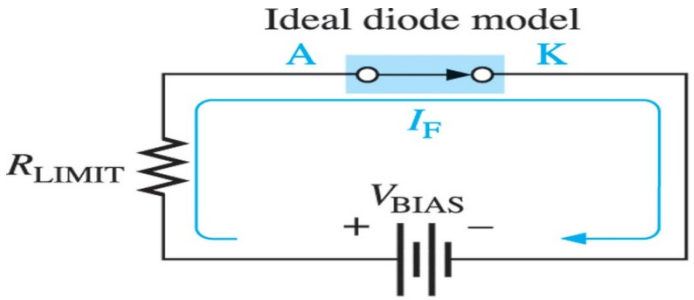
: (그림 1-36 (a)),

즉, $V_{Bias} > 0$: ON ; $I_F = V_{Bias}/R_{limit}$, $V_F = 0$

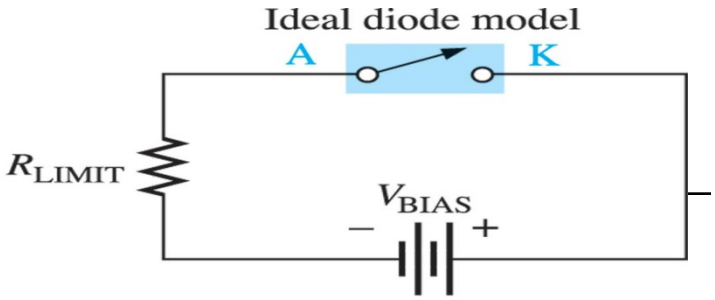
ii) 역방향 바이어스되었을 때

: (그림 1-36 (b)),

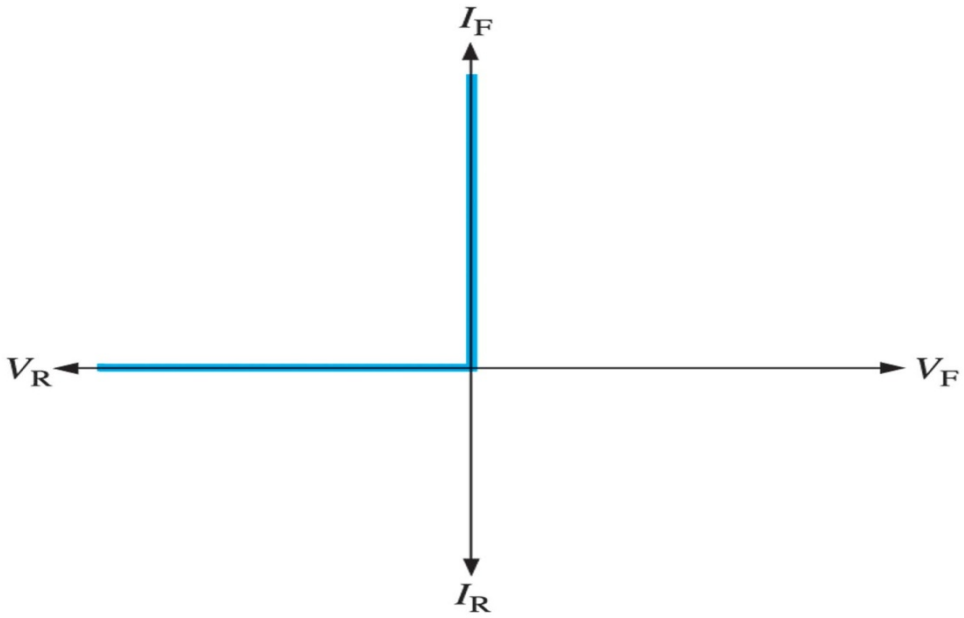
즉, $V_{Bias} \leq 0$: OFF ; $I_R = 0$, $V_R = V_{Bias}$



(a) 순방향 바이어스



(b) 역방향 바이어스



(c) 이상적인 특성곡선(색선)

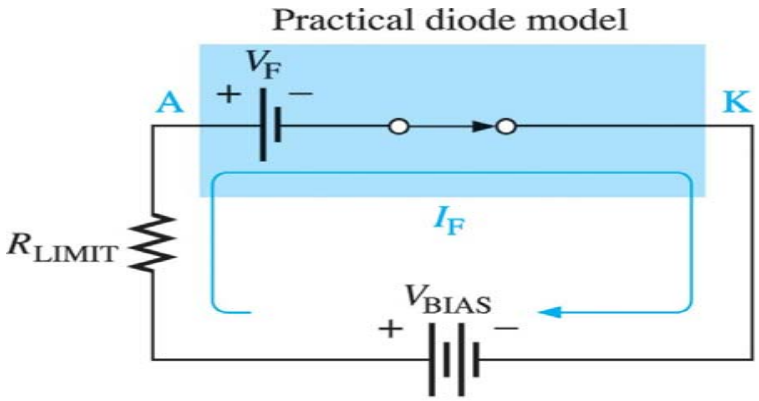
그림 1-36

[5] Practical(실용) Diode Model : 그림 1-37

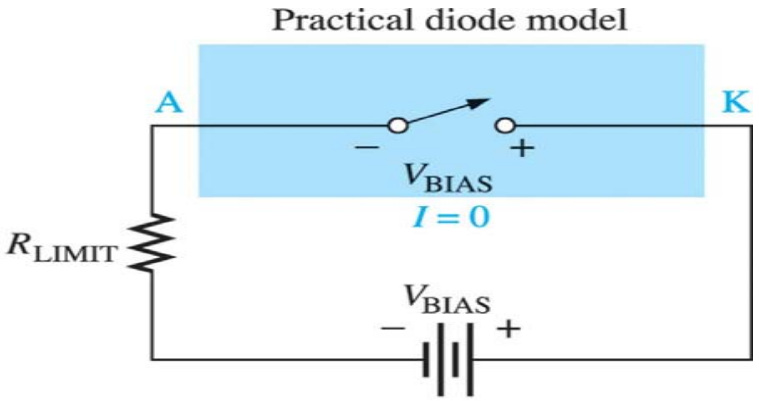
* 이상 스위치 모델에 전위장벽 추가.

i) 순방향 바이어스되었을 때 ; (그림 1-37 (a)),
즉, $V_{Bias} > 0$: ON switch + V_F의 직렬연결,
V_F = 0.7V for Si,
0.3V for Ge.
$I_F = (V_{Bias} - V_F)/R_{limit}$, (1-3)

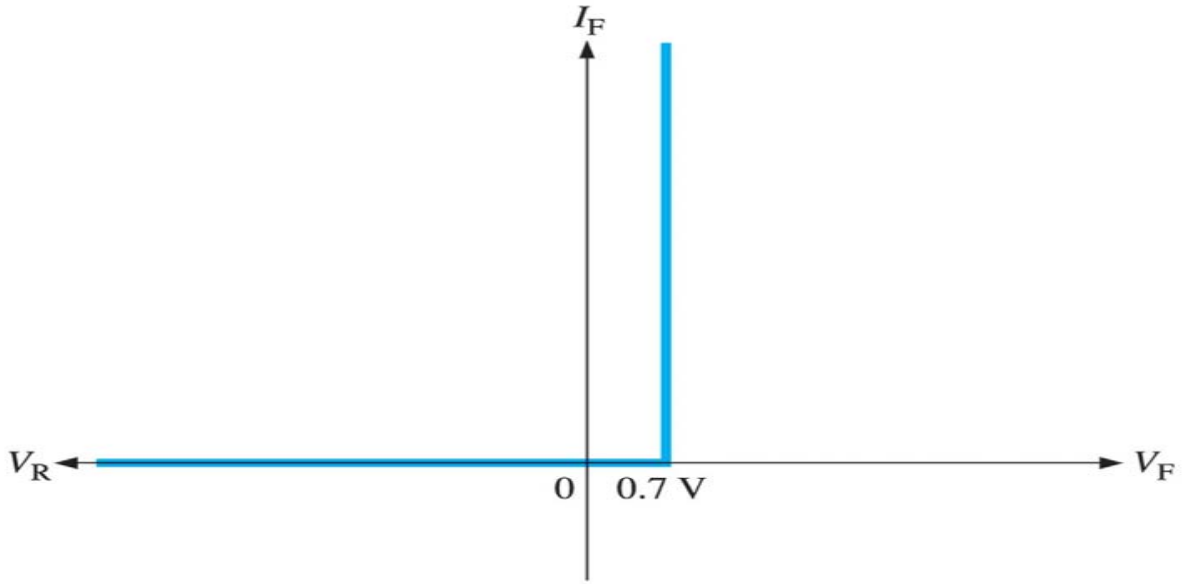
ii) 역방향 바이어스되었을 때 ; (그림 1-37 (b)),
즉, $V_{Bias} \leq 0$: OFF switch ; $I_R = 0$, $V_R = V_{Bias}$



(a) 순바이어스



(b) 역바이어스



(c) 특성곡선(실리콘)

그림 1-37

[6] Complex(복합) Diode Model :그림 1-38

* 추가 : 작은 값의 순방향 동저항 (r_d'), 큰 값의 내부 역 저항 (r_R'), 전위장벽.

i) 순방향 바이어스되었을 때 ; 그림 1-38 (a)

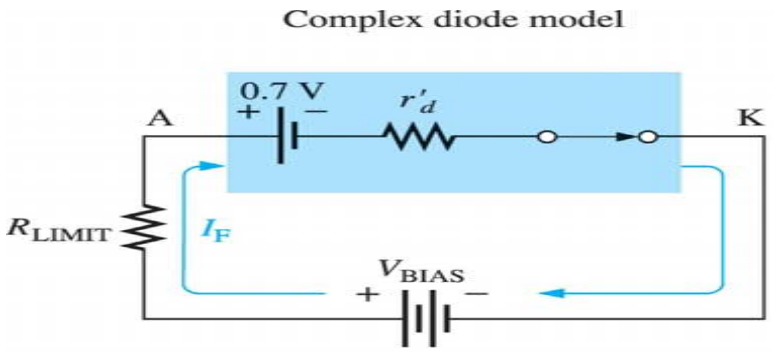
V_F + r_d' + ON switch : 직렬 연결

$V_F = 0.7V + I_F r_d'$ (1-4)

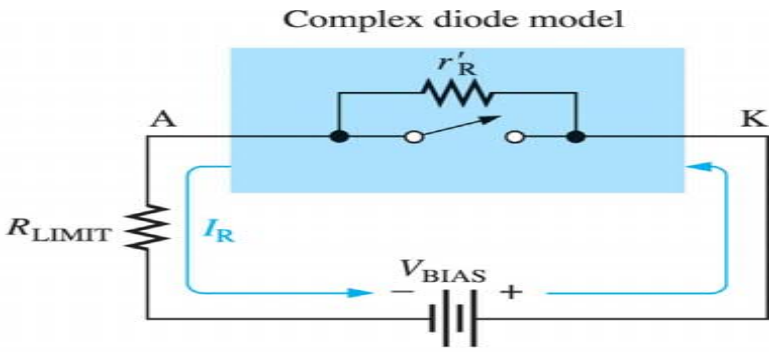
$I_F = (V_{Bias} - 0.7V)/(R_{limit} + r_d')$ (1-5)

ii) 역방향 바이어스되었을 때 ; 그림 1-38 (b)

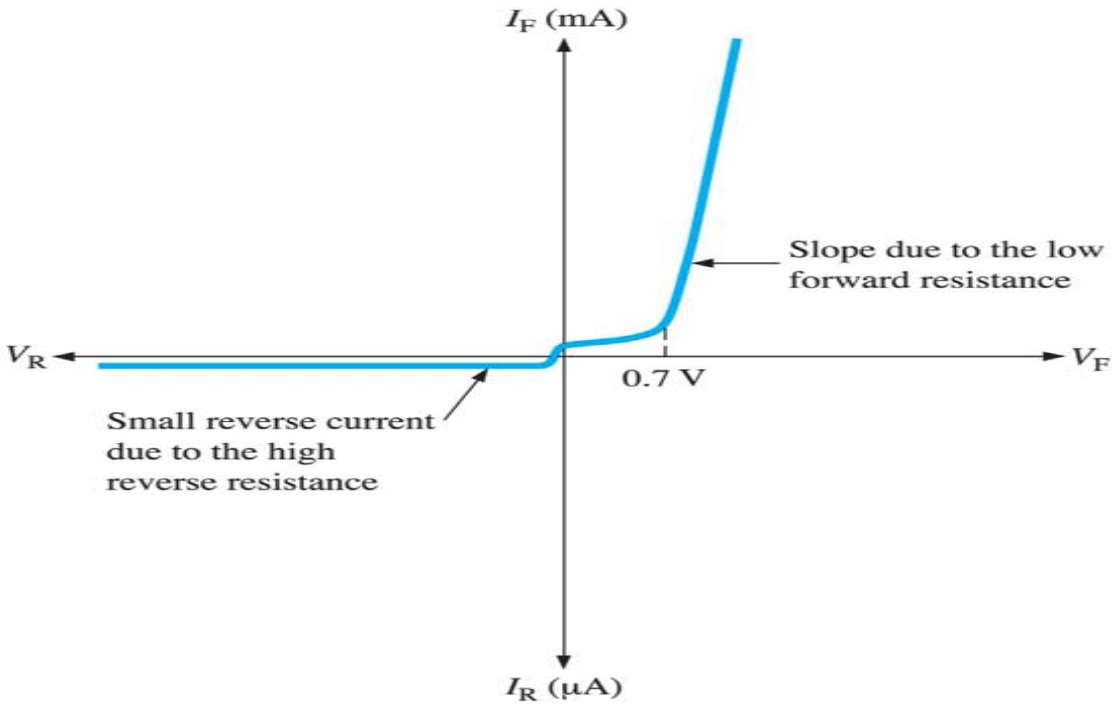
r_R' ∥ OFF switch : 병렬 연결



(a) 순바이어스



(b) 역바이어스

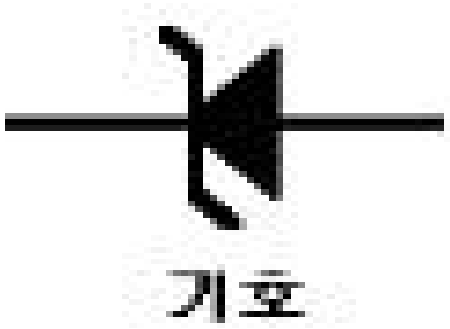


(c) 특성곡선(실리콘)

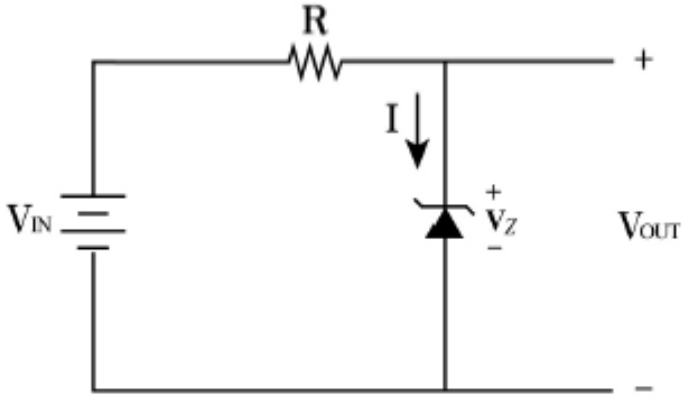
그림 1-38

2.5 Zener Diode

- 애벌런치(avalanche)나 항복(breakdown)전압 특성이 낮은 전압에서 이루어지도록 도핑된 소자
- 항복 전압은 불순물 도핑레벨에 의해 조절 가능하다.
- 역방향 직류 전원에서 동작하도록 설계되었다.

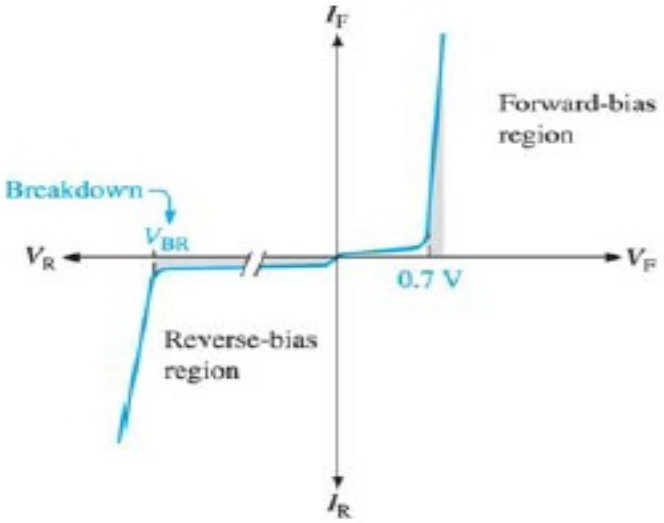


기호

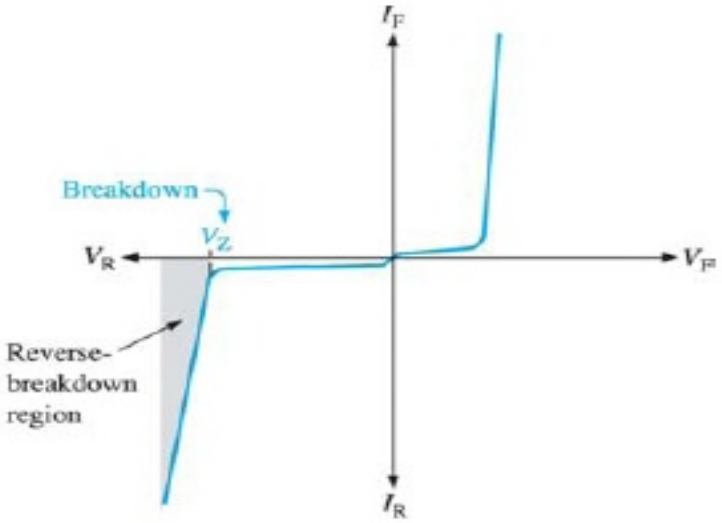


(1) V-I특성

- 특성 곡선에서 다이오드가 역방향 항복에 이르면 전류가 급격히 변하여도 항복 전압은 거의 일정하다.

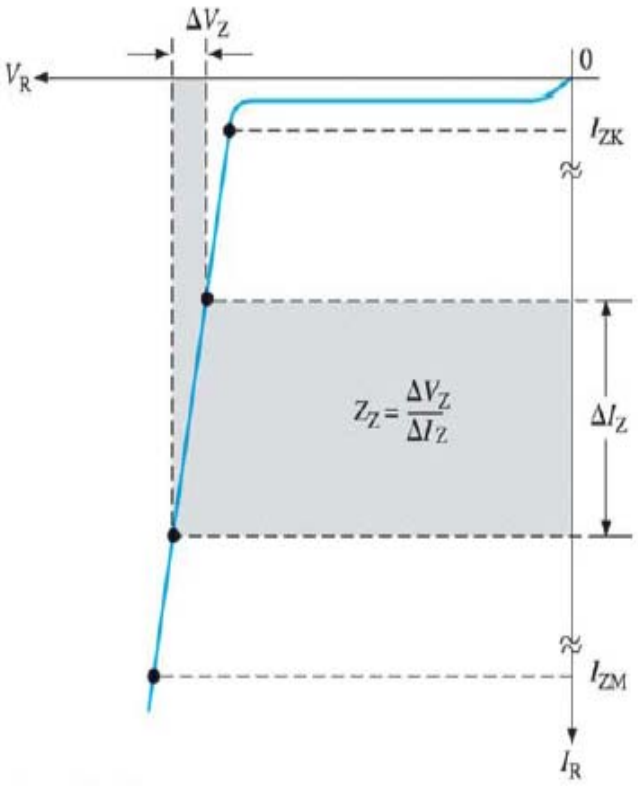


(a) 정류다이오드의 정상동작 영역은 음영진 부분이다.



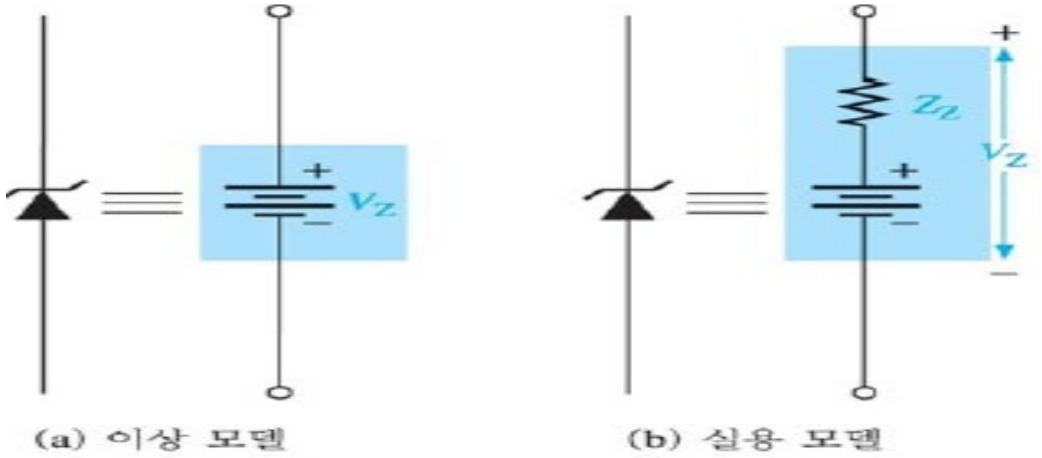
(b) 제너다이오드의 정상동작 영역은 음영진 부분이다.

(2) 항복특성(Breakdown Characteristic)



- 역전압(V_R)이 증가하면 역전류(I_R)는 곡선의 변곡점(knee)의 근처까지는 극히 적은 값을 유지
- 역전압 (V_R) 은 제너 전류(I_Z)가 증가됨으로써 다시 증가하기도 하지만 거의 일정한 전압 유지
- 제너 다이오드의 양단의 전압을 일정하게 유지시킬수 있는 능력을 갖는다.

(3) 등가회로(Equivalence Circuit)

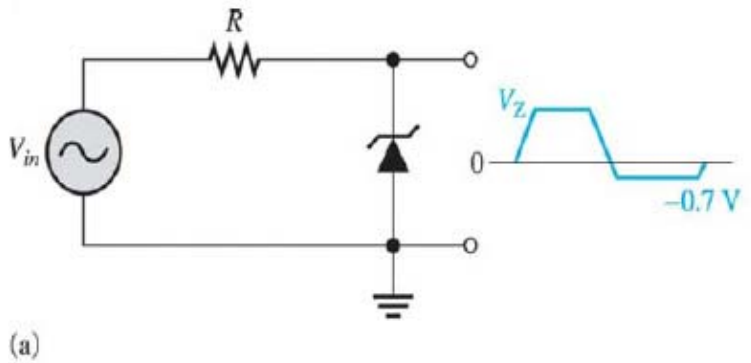


$$Z_Z = \Delta V_Z / \Delta I_Z$$

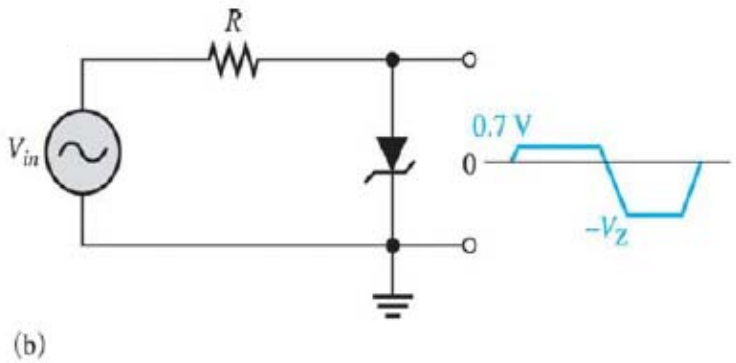
- (a)는 제너전압과 동일한 전압을 갖은 이상 다이오드
- (b)는 제너임피던스(Z_Z)를 포함한 실제 다이오드

(4) 제한작용(Zener Limiting)

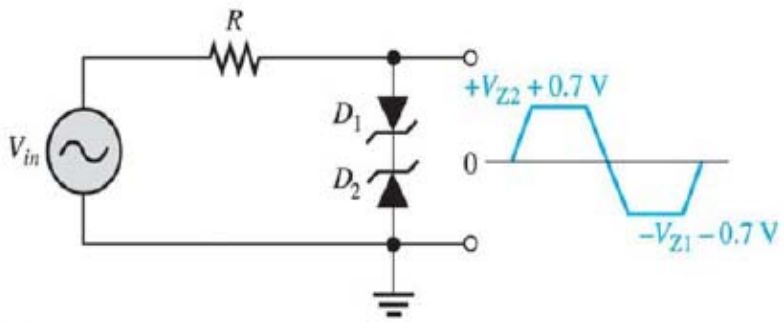
- 정전압 전원에 사용하여 전압의 진동 폭을 제한할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

(5) 온도계수(Temperature Coefficient)

- 각 섭씨(°c) 온도 변화에 대한 제너 전압의 퍼센트 변화

$$\Delta V_Z = V_Z * TC * \Delta T$$

- 온도계수를 %/°c보다는 mV/°c로 나타낼 경우

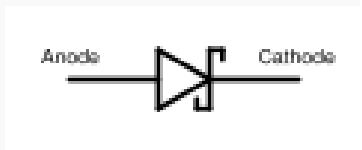
$$\Delta V_Z = TC * \Delta T$$

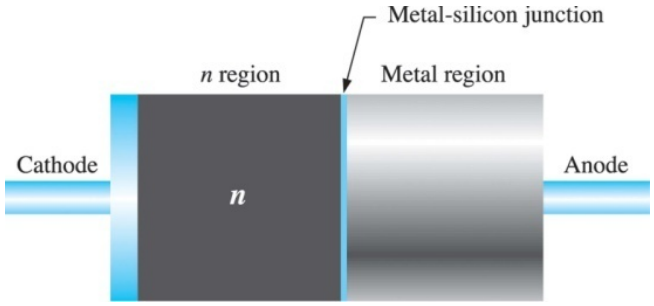
※ TC = 온도계수, V_Z = 25°c에서의 제너 전압, ΔT = 온도변화

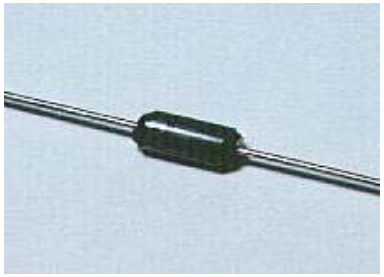
2.6 Schottky Diode

- 금속 – 반도체 결합
- 반도체이나 PN 접합을 하지 않는다.
- 누설전류가 흐르지 않는다. → 다수 캐리어만 있고 소수 캐리어는 존재하지 않기 때문이다.
- 특징 : 정류성, 저항성,

  고속 스위칭 고주파 정류 → 금속에 정공이 없어 전하 축적이 없기에 보통의 다이오드 보다 아주 빠른 스위칭 속도를 갖기 때문이다.



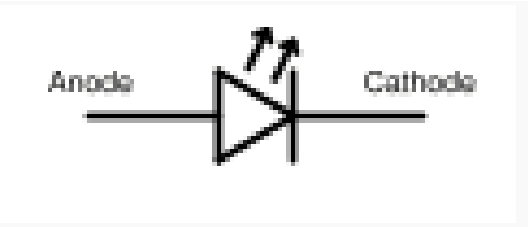


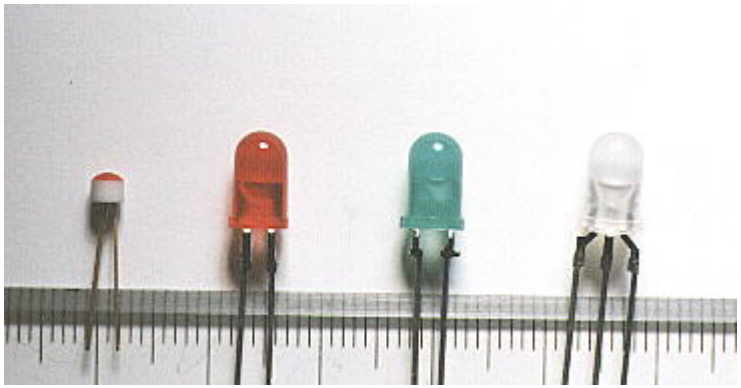


2.7 Optical Devices

(1) LED(Light Emitting Diode)

- 순방향 바이어스되면 자유전자가 접합을 넘어 정공과 결합한다. 그러면 이 전자가 높은 에너지 준위로 떨어지면서 재결합을 하여 광으로 에너지를 발산한다.





(2) 반도체 물질(Semiconductor Material)

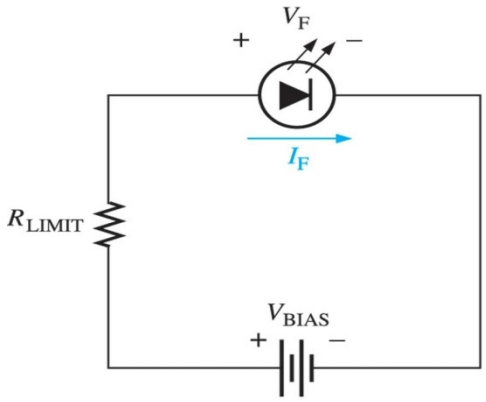
- LED에 사용되는 반도체 물질

  => 갈륨 아산나이드(GaAs),
  아산나이드 포스파이드(SaAsP),
  갈륨 포스파이드(GaP) 등 Ⅲ-Ⅴ족 화합물

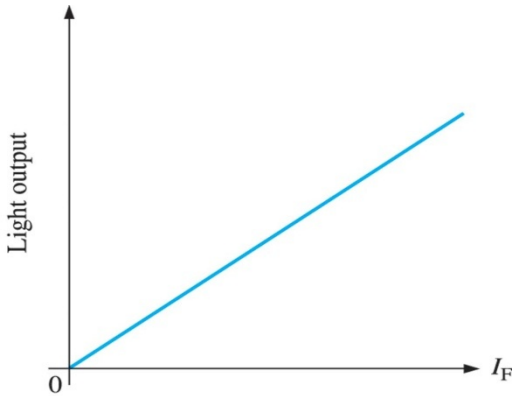
  => GaAs는 적외선 방출
  GaAsP는 붉은색 or 노란색의 가시광 방출
  GaP는 붉은색 or 녹색 가시광 방출

(3) LED 바이어스(LED Biasing)

- 실리콘 다이오드의 경우보다 훨씬 큰 LED 양단의 순방향 전압 = (1.2V~1.3V)
- 실리콘 정류 다이오드보다 훨씬 적은 LED에 대한 역방향 항복 전압 = (3V~10V)
- LED는 충분한 순방향 전류의 응답으로 빛을 방출하며, 순방향 전류는 광출력에 비례한다.

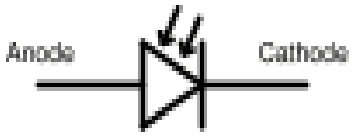


(a) 순방향 동작



(b) 순방향 전류에 따른 일반적인 빛의 출력

(4) 광 다이오드(Photo Diode)



- 역방향 바이오스로 동작하는 PN접합소자
- 빛의 강도를 검출하는 광 검출기로 사용
- 원리 : 빛에 의하여 캐리어의 수가 증가하고 이로 인하여 전류가 흐른다.
- 응용 : 거리의 가로등을 켤 때
- 광전지의 단점(빛을 받아 기전력을 발생하지만 발생전압이 낮다)을 보완하기 위하여 사용

(5) 광 결합기(Photo Coupler)

- LED와 포토 감지기가 한 package로 된 소자
- LED(입력)와 포토 감지기(출력) 사이의 유일한 연결은 광선만 존재 = 수천 MΩ의 절연저항 존재
- 장점 : 입력과 출력 회로의 전기적인 절연된 점

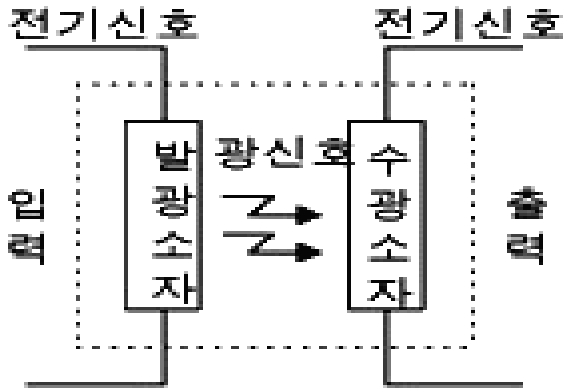


그림1 기본 회로도

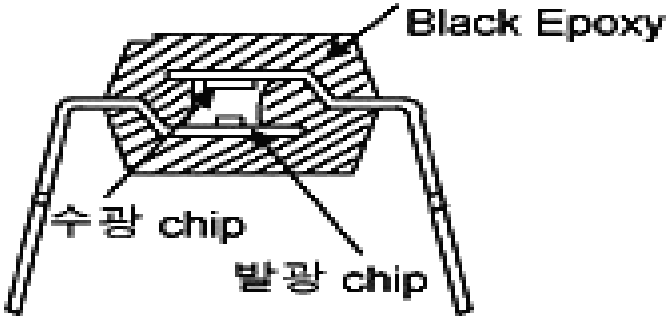
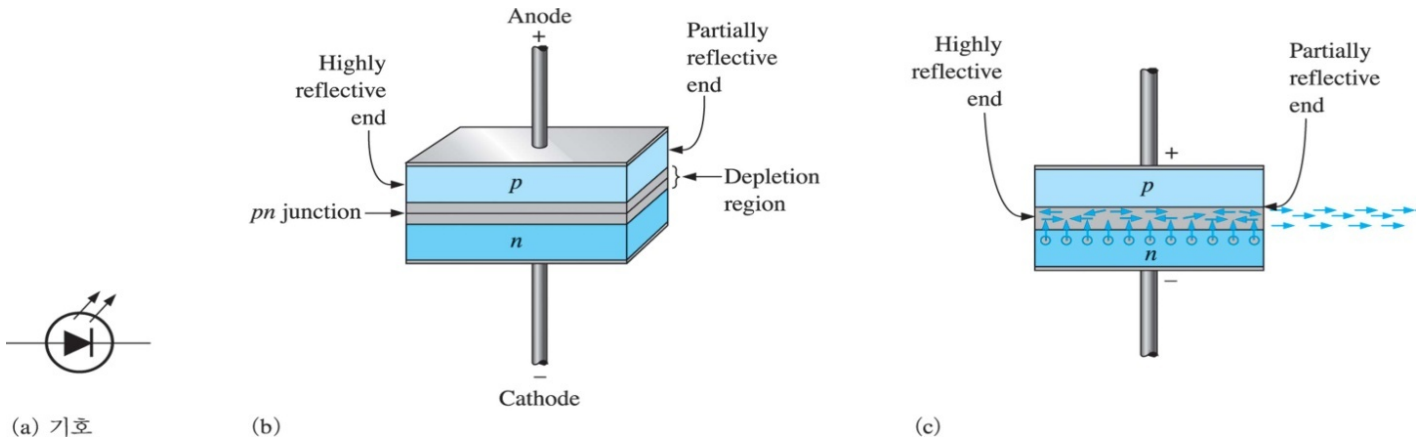


그림2 카플러의 단면도

(6) Laser 다이오드(Laser Diode)

- 간접성광을 방출하는 반면 LED는 비간접성 광을 방출
- LED보다 훨씬 좁은 파장대역에서 동위상이고 방향성이 큰 빛을 방출
- 응 용 : Compact Di나 Player의 픽업시스템에 응용



2.8 Other Types of Diodes

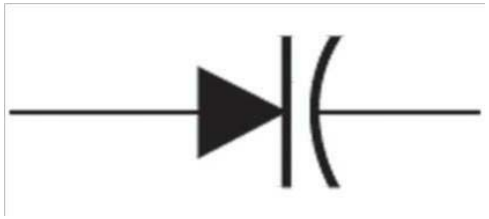
(1) 버랙터 다이오드(Varactor Diodes)

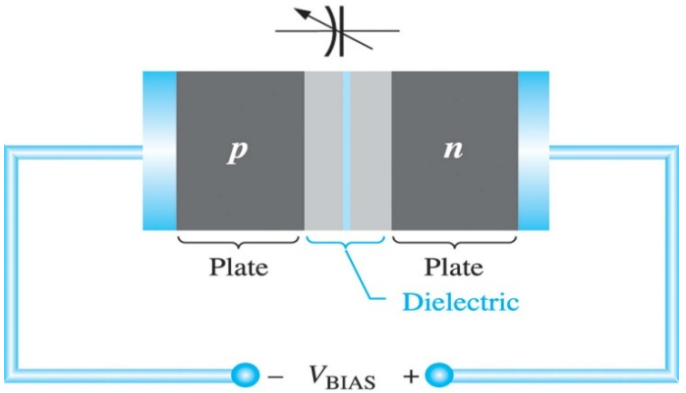
- Varactor : 역방향으로 바이어스 된 PN접합의 전압가변정전용량을 말하는 가변 리액터(reactor)
- PN접합의 정전용량은 역 방향 전압을 바꿈으로서 변화
- 커패시터와 같은 동작을 하게 된다.

$$C = A\varepsilon/d$$

※A=PN접합 공핍층의 단면적, d=공핍층의 두께

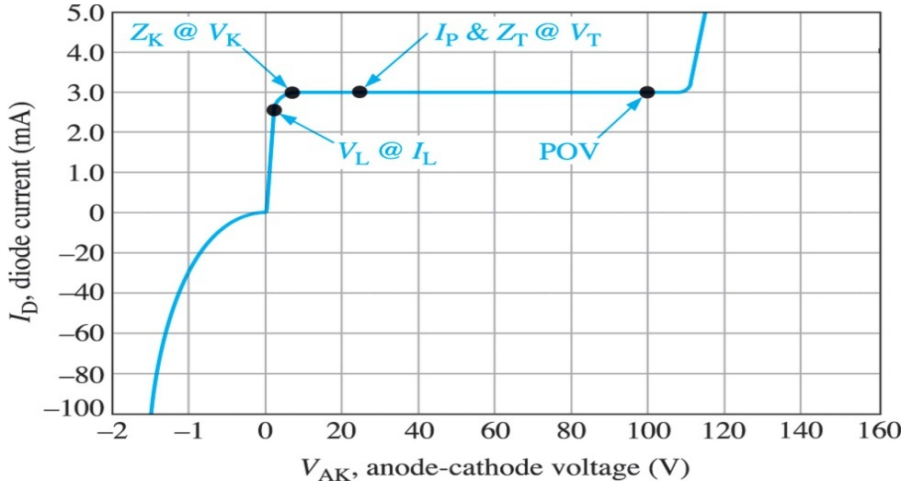
- 버랙터는 공진회로에서 가변콘덴서로 동작함으로써 공진 주파수를 가변 전압에 의하여 조정
- 응용 : 라디오나 TV채널 등의 주파수 선택을 기계적으로 가변 컨덴서의 손잡이를 돌리지 않고 메모리에 저장된 주파수에 따른 자동 선국 방식의 원리





(2) 정전류 다이오드 (Current Regulator Diode)

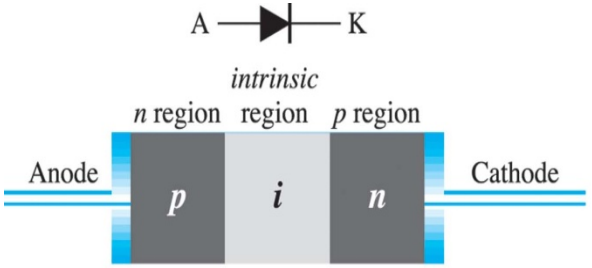
- 제너 다이오드와 반대로 동작
- 순방향 바이어스
- 전류-안정형 다이오드라 하며 다이오드의 전압이 변하여도 전류를 일정하게 유지
- 부성저항 → 전류와 전압이 반비례할 때



(3) PIN 다이오드(PIN Diode)

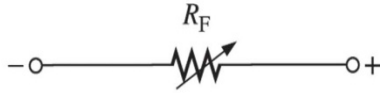
- 진성 반도체 영역을 갖는 구성 (불순물을 첨가시키지 않는다.)
- 역방향 바이어스 : 일정한 커패시터처

  순방향 바이어스 : 전류 제어 가변저항
- 순방향 저항은 전류증가에 따라 감소
- 응용 : 저항이 전류의 양에 의하여 제어되기 때문에 감쇠기의 응용분야에 사용



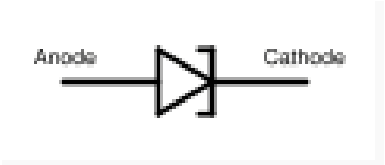
(a) 구조

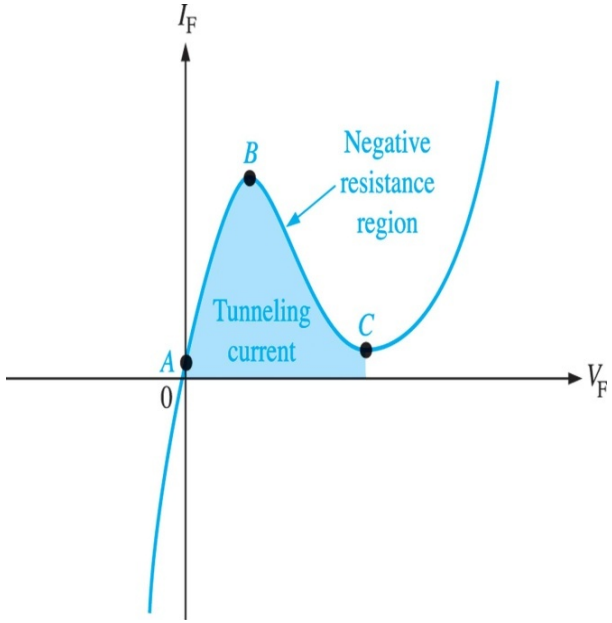
(b) 역방향 바이어스



(c) 순방향 바이어스

(4) 터널 다이오드(Tunnel Diode)





- 다량의 불순물을 첨가하여 만든다.
- 부성저항 영역 : B점에서 순방향 전압은 전위장벽을 만들기 시작하고 전류는 순방향 전압을 증가시킴에 따라 감소하기 시작하는 영역
- V-I 특성곡선의 일부 영역이 부성저항 특성을 갖는 PN접합소자
- 응용 : 발진기, 마이크로파 증폭기
- $R_F = \Delta V_F / \Delta I_F$ (옴의 법칙과 반대)

(5) 계단-복구 다이오드

(Step Recovery Diode)

- 반도체 물질의 도핑레벨이 PN접합에 접근될수록 줄어드는 경시형 도핑 레벨을 갖는다.
- 순방향에서 역 방향으로 스위칭될 때 축적된 전하를 매우 빨리 방출함으로써 전환시간을 빠르게 한다.
- 속도가 매우 빠르다
- 응용 : 고주파의 빠른 스위칭에 이용

(6) IMPATT 다이오드,Gunn 다이오드

- IMPATT : 부성저항을 일으키게 하기 위한 전자상태 현상과 시간 지연 등을 이용한 특수 마이크로파 다이오드로 아주 빠른 속도를 가지고 있다.
- Gunn : 두 개의금속도체 사이에 얇은 N형의 칼륨과 비소 화합물로 접합된 부성저항을 갖은 마이크로파 소자이다.

2.9 Finding out Diode Polarity

(1) 저항회로 측정(Register Measurement)

=> 멀티미터를 이용할 경우 (-)단자에 흑색리드, (+)단자에 적색리드, 영점조정을 한 후, 저항기의 양쪽에 테스터 리드봉을 대고 지침이 가리키는 눈금을 읽는다.

(2) 다이오드 극성 판별 (Finding out Diode Polarity)

=> 멀티미터를 저항계로 상용할 경우 흑색 리드에서는 (+)전압, 적색리드에서는 (-) 전압이 나온다. 그러므로 Anode(P형)에 흑색 리드봉, Cathode(N형)에 적색 리드봉을 접속하면 순방향 바이어스가 되어 수Ω정도 가리킴

=> 디지털 멀티미터(DMM) : 측정 극성 반대