

BİL 331 ELEKTRONİK DEVRELERİ

2009 – 2010
Güz Dönemi Ders Notları
Hafta 1-2

İLETİŞİM BİLGİLERİ

- Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
– Oda No: B-412, E-posta: ogul@baskent.edu.tr
- Dersin Asistanı : Arş. Gör. Seda Şahin
– Oda No: B-411, Eposta: sahins@baskent.edu.tr
- Dersle ilgili duyurular;
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul> adresindeki
“Duyurular” bağlantısı altında verilecektir.
- Laboratuar çalışmaları ile ilgili duyurular;
<http://www.baskent.edu.tr/~sahins> adresindedir.
- İlgili sayfaların takip edilmesi öğrencinin sorumluluğundadır.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

2

KAYNAK KİTAP

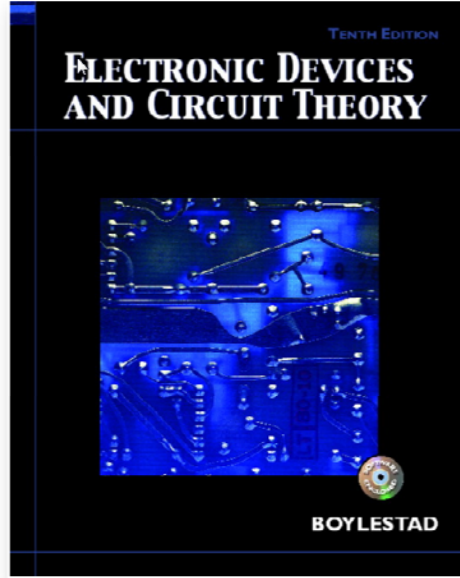
- **Yazarlar:**

1-Robert Boylestad

2-Louis Nashelsky

- 10th Basım

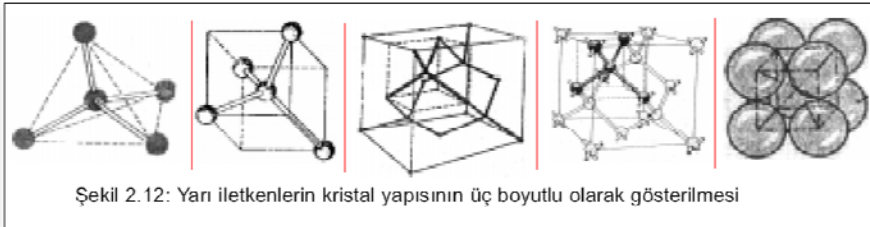
- Prentice Hall
Yayınevi



Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

3

- Yarı iletkenler kristal yapıdadır. Yani atomları belirli bir sistemle sıralanmıştır.
- Bu yapı tekli kristal (mono kristal) ya da çoklu kristal (poli kristal) olabilmektedir.
- Silisyum (silikon) ve germanyum atomlarının son yörüngelerinde dörder elektron vardır.



Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

4

- Germanyumun ve silisyumun saf kristalleri oldukça iyi bir yalıtkan olmalarına karşın, atom yapılarına küçük miktarlarda arsenik, indiyum vb. ekleyerek iletkenlikleri önemli ölçüde değiştirilebilir.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

5

Üretici şirketlerin yaygın olarak kullandığı bazı yarı iletken maddeler ve kullanım alanları

-Azot (N): N tipi yarı iletken oluşturmada.	-Galyum: P tipi yarı iletken oluşturmada.
-Antimuan (Sb): N tipi yarı iletken oluşturmada.	-İndiyum (In): P tipi yarı iletken oluşturmada.
-Arsenik (Ar): N tipi yarı iletken oluşturmada.	-Selenyum (Se): Diyot yapımında.
-Fosfor (P): N tipi yarı iletken oluşturmada.	-Bakıroksit (Cu ₂ O): Diyot yapımında.
-Germanyum (Ge): Diyot, transistör, entegre vb. yapımında.	-Galyum arsenik (GaAs): Tunel diyot, laser diyot, foto diyot, led yapımında.
-Silisyum (Si): Diyot, taransistör, entegre vb. yapımında.	-İndium fosfor (InP): Diyot, transistör yapımında.
-Bor (B): P tipi yarı iletken oluşturmada.	-Kurşun sülfür (PbS): Güneş pili (fotosel, solar cell) yapımında.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

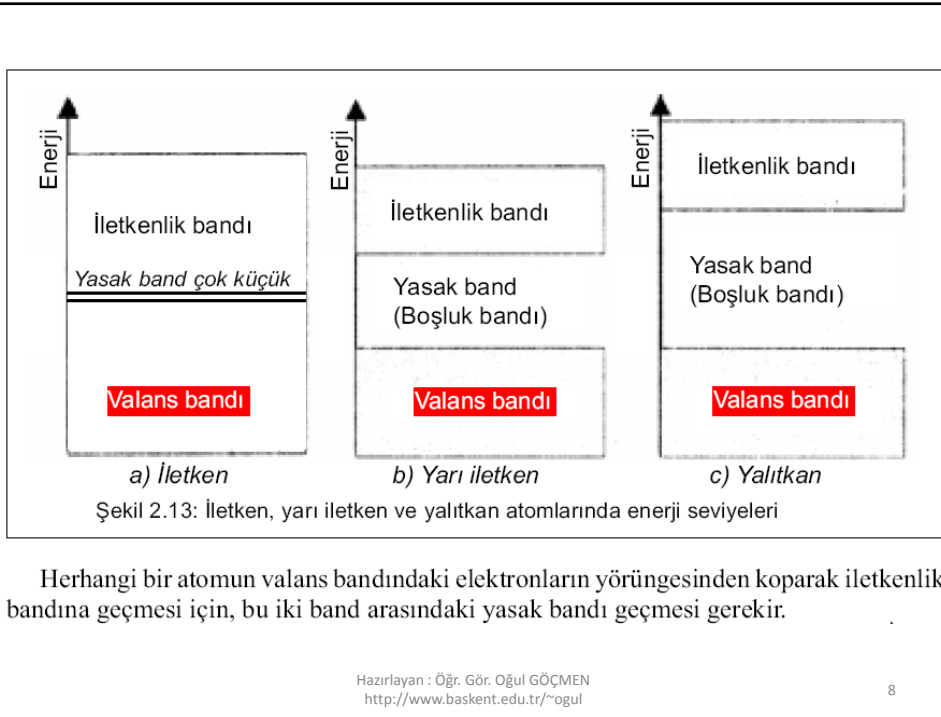
6

Atomlarda Enerji Seviyeleri Ve Band Yapıları

- Bir maddeyi elektriksel bakımdan iletken hale getirebilmek için dışarıdan bir enerji uygulanması gerekir.
- Bu enerji miktarı üç ayrı enerji bandının oluşmasını sağlar. Bunlar;
 - İletkenlik bandı
 - Yasak band
 - Valans bandı

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

7



8

- **Yasak band:** Elektron bakımından boş bulunan ve valans bandındaki elektronların iletkenlik bandına geçmesini zorlaştıran boşluğa denir.
- **İletkenlik bandı:** Valans banddan kopan ve akım taşıyabilecek durumda olan elektronların bulunduğu banttır. Maddeler elektronlarının bu banda geçmesi ile iletken hale gelirler.

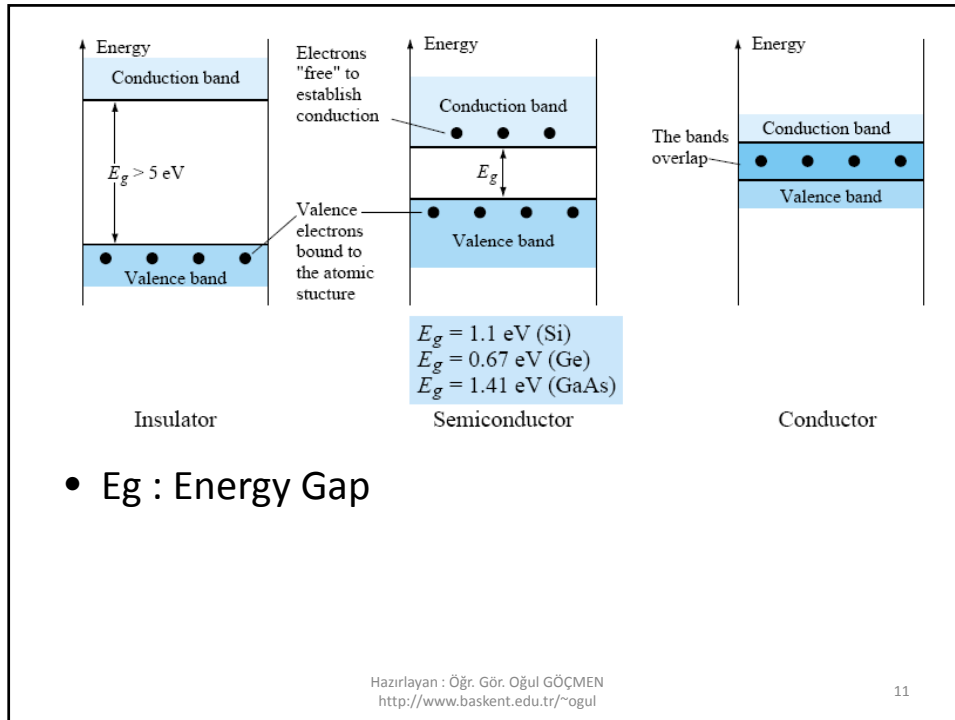
Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

9

- Yarı iletkenlerin valans bandıyla iletkenlik bandı arasında belirli bir boşluk bandı vardır.
- Bundan dolayı yarı iletkenlerin iletkenlik oluşturabilmesi için, valans elektronlarına boşluk bandı kadar ek enerji uygulamak gereklidir.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

10



11

- Elektrona uygulana **enerjinin(W)** birimi eV ile gösterilir. (electron volt kısaltması)

$$W = QV \quad \text{eV} \quad (1.2)$$

- Formülde Q yerine 1 elektron yükü $1.6 \times 10^{-19} \text{ coulomb}$, V yerine 1V konulduğunda; enerji "joule " cinsinden elde edilir.

$$W = QV = (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})(1 \text{ V})$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} \quad (1.3)$$

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

12

- 0 K veya mutlak sıfırda (-273,15 C) **yarı iletkenin tüm valans elektronları, atomun en dış kabuğunda yer alır.**
- Oda sıcaklığında, (300K, 25C) çok sayıda valans elektron, valans bandından kopabilecek enerjiyi bulur ve E_g yi geçebilir ve iletim bandına ulaşır.
- **Dolayısıyla yarı iletken madde iletken hale gelmiş olur.**

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

13

- Silikon için E_g : 1.1 eV
- Germanyum için E_g : 0,67 eV
- Gallium Arsenide için E_g : 1.41 eV kadardır.
- Buradan da görüleceği gibi oda sıcaklığında Germanyumun iletkenliği silikona göre daha fazladır.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

14

SAF (KATKISIZ) GERMANYUM VE SİLİSYUMUN KRİSTAL YAPILARI

- Elektronik devre elemanlarının büyük bir bölümü silisyum ve germanyum elementlerinden üretilmektedir.
- İlk zamanlar germanyum maddesi çok yaygındı.
- Günümüzde ise bu madde çok az kullanılmaktadır.
- Çünkü germanyum maddesi oda sıcaklığında bile çok sayıda elektronunu serbest bırakmakta, bu ise **sızıntı akımlarının** çoğalmasına yol açmaktadır.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

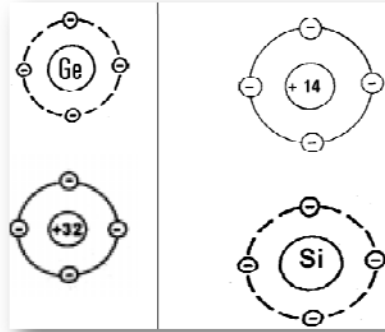
15

- Sıcaklık arttıkça ise germanyumdaki iletkenlik iyice artmakta ve bu madde, iletken gibi davranmaya başlamaktadır.
- **Silisyum** maddesi ise oda sıcaklığında **tam bir yalıtkan** gibi davranmaktadır.
- İşte bu nedenle diyot, transistör, entegre vb. yapımında silisyum maddesi daha çok kullanılır.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

16

- Her ikisi de 4 elektronlu !



Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

17

SAF OLMAYAN (KATKILI) GERMANYUM VE SİLİSYUMUN KRİSTAL YAPISI

1-) P ve N tipi yarı iletken maddelerin oluşturulmasında kullanılan katkılama maddeleri

- P ve N tipi yarı iletkenler, germanyum ya da silisyuma belli oranlarda yabancı madde katılmasıyla oluşturulmaktadır.
- Son yörüngesinde (valans yörünge)
 - 3 elektron bulunduran maddeler kullanıldığından P tipi bir yarı iletken oluşurken,
 - 5 elektron bulunduran maddeler kullanıldığında ise N tipi yarı iletken elde edilmektedir.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

18

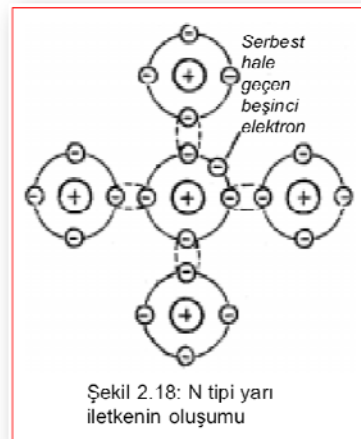
2-) N (negatif) tipi yarı iletkenin oluşumu

- Si veya Ge içine (yaklaşık olarak 100 milyonda 1 oranında), son yörüngesinde 5 elektron bulunduran arsenik (ya da fosfor, antimuan) maddesi karıştırılırsa, arseniğin 4 elektronu komşu elektronlarla kovalent bağ yapar ve **1 adet elektron ise boşta kalır.**

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

19

- Serbest hale geçen 5. arsenik elektronu, kristal yapıdaki madde içinde dolaşır.
- **İşte elektron yönünden zengin olan bu karışıma N tipi yarı iletken denir.**



Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

20

- N tipi yarı iletkenin oluşumunda kullanılan maddeler **elektron çoğalmasına** neden olduklarından, bunlara **verici (donör)** adı verilir.
- N tipi yarı iletken haline gelmiş olan maddenin serbest hale geçmiş elektronları çok olduğu için, bunlara **çoğunluk taşıyıcıları** denir.
- Yani, **N tipi maddede elektrik akımının taşınması işinde "çoğunluk" olan elektronlar görev yapar.**

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

21

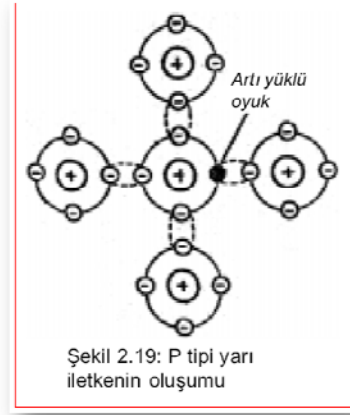
3-) P (pozitif) tipi yarı iletkenin oluşumu

- Son yörüngesinde 4 elektronu bulunan Si ya da Ge içine (yaklaşık 100 milyonda 1 oranında) son yörüngesinde 3 elektron bulunan indiyum (ya da galyum, bor, alüminyum) karıştırılırsa indiyumun 3 elektronu komşu elektronlarla kovalent bağ yapar.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

22

- Şekilde görüldüğü gibi Si ya da Ge elektronlarından birisi ise bağ yapacak indiyum elektronu bulamaz ve dışarıdan elektron kapmak ister.
- İşte elektron yönünden fakir olan bu karışım elektriksel olarak pozitif yüklü iyon kabul edilir.



Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

23

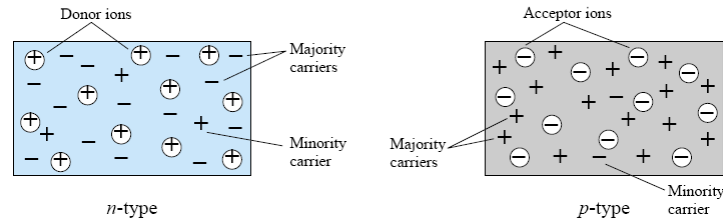
- Elektrona ihtiyaç olan yer bir oyuk (hole, delik, boşluk) ile ifade edilir ve bu pozitif yüklü kabul edilir.
- Oyuk, her an elektron çekmeye uygun durumdadır.
- Oyuk yönünden zengin olan bu tip karışıma da P tipi madde denir.
- P tipi yarı iletkenin oluşumunda kullanılan maddeler (indiyum, galyum, bor) **elektron azalmasına** neden olduklarından, bunlara **alıcı(akseptor)** adı verilir.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

24

Özet

- N tipi yarı iletkenlerde **elektronlar çoğunluk taşıyıcısı** durumundayken, çok az sayıda olan **oyuklar ise azınlık taşıyıcısı** durumundadır.
- P tipi yarı iletkenlerde **oyuklar çoğunluk taşıyıcısı** durumundayken, çok az sayıda olan **elektronlar ise azınlık taşıyıcısı** durumundadır.



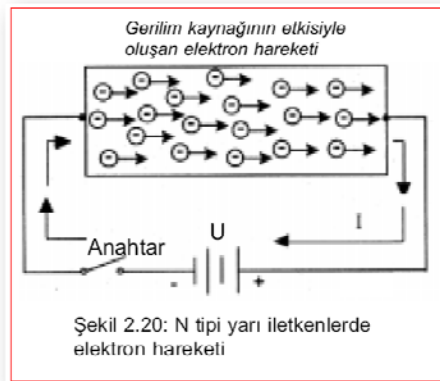
<http://www.udskenil.edu.tr/~ogul>

25

"N" VE "P" TİPİ YARI İLETKENLERDE ELEKTRON VE OYUK HAREKETLERİ

1-)N tipi yarı iletkenlerde eksi (-) yüklü elektronların hareketi

- N tipi yarı iletkene şekildeki gibi bir DC gerilim uygulanırsa; - ucunun itmesi ve + ucun çekmesi sonucu elektronlar + uca doğru akar.
- Üretcin uçları ters çevrilirse akma yönü de değişir.

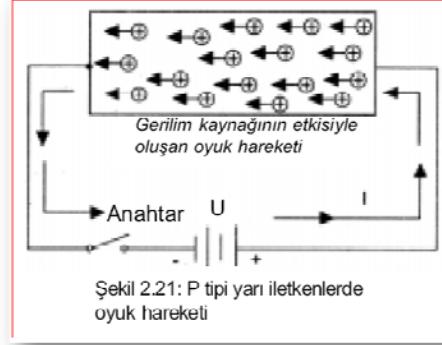


Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

26

1-)P tipi yarı iletkenlerde artı(+) yüklü oyuk hareketi

- P tipi yarı iletkene şekildeki gibi bir DC gerilim uygulanırsa; + (artı) ucunun itmesi ve - (eksi) ucun çekmesi sonucu, oyuklar - uca doğru akar.
- Üretecin uçları ters çevrilirse akma yönü de değişir.



Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

27

Dikkat

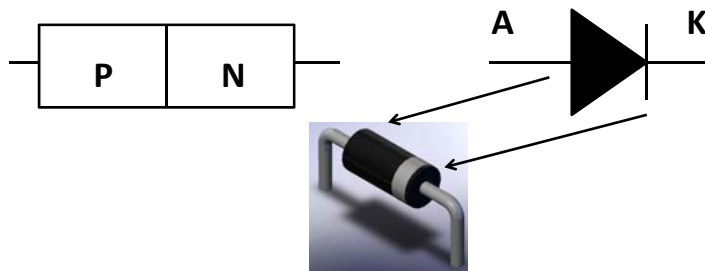
- P ve N tipi yarı iletkenlerin tek başına her iki yönde de akım geçişine izin verdiği görülür.
- Bunun uygulamada hiçbir yararı yoktur.
- O nedenle **P ve N tipi yarı iletkenler tek başına değil, bir araya getirilerek "devre elemanı" yapımında kullanılır.**

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

28

DİYOT

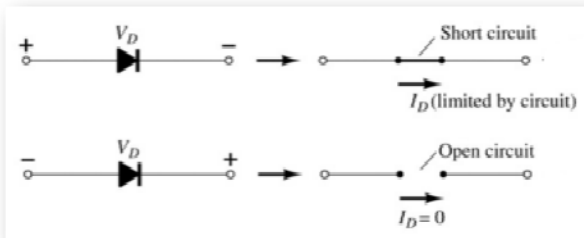
- Tanım: P ve N tipi iki yarı iletkenin birleştirilmesinden oluşan maddeye "diyot (diod, diot, diyod)" denir.



Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

29

- Diyotlar sadece tek yönde iletim gerçekleştirir.

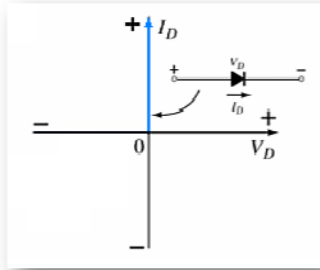


- Kapalı devre
- Açık devre

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

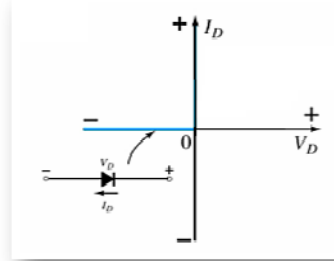
30

İdeal Diyot Karakteristiği



İletimde – Forward Bias

- Diyot üzerindeki voltaj 0
- Akım sonsuz.
- İleri yön direnci 0 ohm.
- $R_f = V_f / I_f$
- Devre Durumu: Kapalı devre



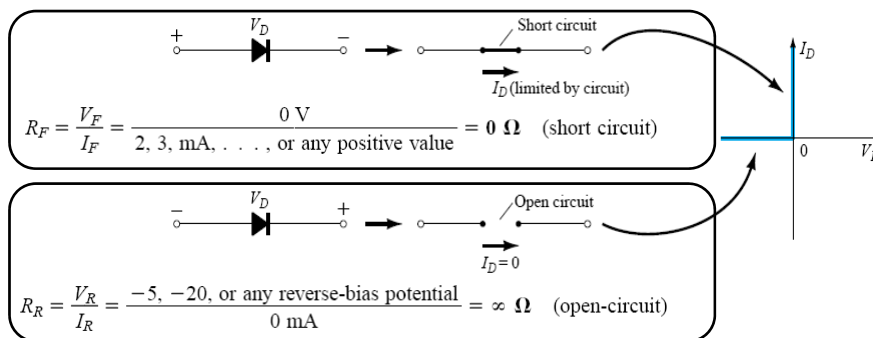
Yalıtımda – Reverse Bias

- Diyot üzerindeki voltaj herhangi bir değer.
- Akım 0 A
- $R_r = V_r / I_r = X \text{ Volt} / 0 \text{ A}$
- Direnç sonsuz
- Devre durumu: Açık devre

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

31

- Elektronikte hiçbir devre elemanı ideal (teorilerdeki gibi) davranmaz ☹



Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

32

- Diyotlar temelde iki gruba ayrılırlar:
 - Doğrultmaç diyotları.
 - Sinyal diyotları.
- **Doğrultmaç diyotları** güç kaynaklarında AC akımları DC'ye dönüştürmekte kullanılırlar. Bunlar, yüksek akımları taşıyabilirler ve yüksek ters tepe gerilimlerine dayanabilirler. Ancak, genelde 50-60 Hz gibi düşük frekanslı devrelerde kullanılırlar.
- **Sinyal diyotları** ise lojik (sayısal) devre elemanı ya da radyo frekans (RF) devrelerinde demodülatör (sinyal ayırıcı) olarak kullanılırlar. Başka bir deyişle sinyal diyotları, yüksek frekanslarda çalışmaya duyarlı olmalarının yanı sıra, düşük gerilim ve akımlarda da çalışabilmektedirler.
- Doğrultmaç ve sinyal diyotları Si ve Ge elementinden yapılabilmektedir.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

33

- Germanyumdan yapılan diyotlardan akım geçirildiğinde üzerlerinde **yaklaşık 0,2 Volt'luk bir gerilim düşümü olur**.
- Silisyumdan yapılmış diyotlarda bu **değer 0,6 ila 0,7 Volt dolayındadır**.

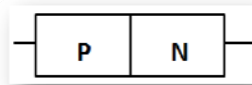
Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

34

P ve N tipi maddeler birleştirilerek diyotun oluşturulması

1-) Polarmasız (No Bias, $V_d = 0V$) P-N birleşimi

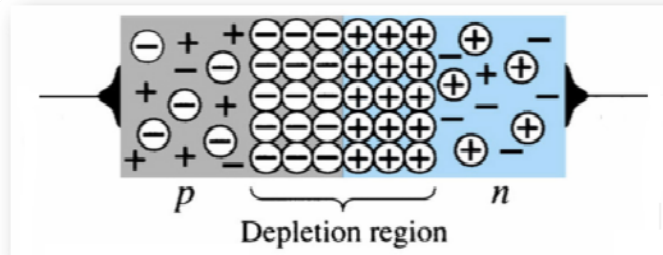
- P ve N tipi yarı iletken madde kimyasal yolla birleştirildiğinde "PN birleşimli kristal diyot" elde edilir.



Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

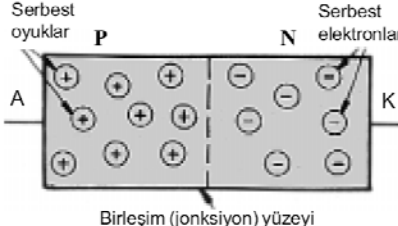
35

- P maddesinin sağ bölümü elektron kazandığı için eksi (-) yüklü olur.
- N maddesinin sol bölümü ise oyuk kazandığı için artı (+) yüklü duruma geçer.



Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

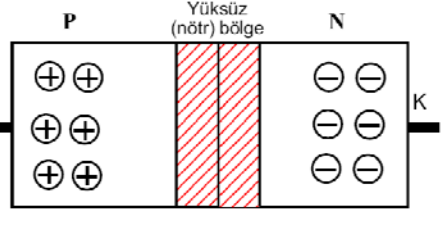
36



Serbest oyuklar P N Serbest elektronlar

Birleşim (jonksiyon) yüzeyi

Şekil 3.2: Polarmasız P-N birleşiminde oyuk ve elektronların davranışı



P Yüksüz (nötr) bölge N

Şekil 3.3: Polarmasız P-N birleşiminde gerilim settinin oluşumu

- P ve N tipi iki madde birleştirildiği zaman birleşim yüzeyinin yakınında bulunan elektron ve oyuklar birbirleriyle birleşmeye başlarlar.
- Birleşmeler sonucunda yüzey civarında nötr (yüksüz) atomlar oluşur.
- P-N maddelerinin birbirine yakın olan kısımlarında oluşan elektron oyuk birleşimleri Şekil 3.3.'te taralı olarak gösterilen "gerilim setti" bölgesini ortaya çıkarır.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

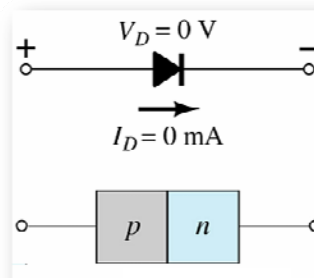
37

- Taralı bölge PN maddelerinde bulunan tüm elektron ve oyukların birbiriyle birleşmesini önler.
- Elektron ve oyukların yer değiştirmesini engelleyen bölgeye "**gerilim setti**" (**depletion layer veya depletion region**) denir.
- Settin kalınlığı **1 mikron** kadar olup, **0,2 - 0,7 Volt'luk** bir gerilim uygulandığı zaman yıkılır (**aşılır**).

- Diyota dış gerilim uygulanmamaktadır.

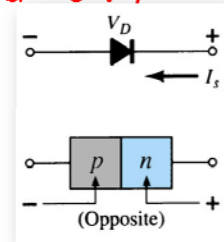
- Diyotta hiçbir yönde elektron akışı yoktur.

- Oluşan tek şey gerilim setti (depletion region) bölgesidir.

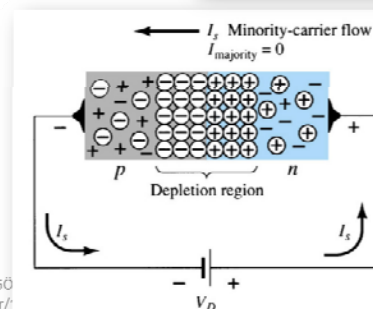


2) P-N birleşimine ters yönde akım uygulama
(ters polarizasyon – Reverse Bias – $V_d < 0 \text{ V}$)

- Dış gerilimin $+$ (artı) ucunu p-n bileşiminin n kısmına, $-$ (eksi) ucunun p kısmına bağlanmasıdır.
- N tarafındaki $+$ iyonların sayısı ile p tarafındaki $-$ iyonların sayısı artar.



- Bunun sonucu depletion region **genişler**.
- Bu genişleme **çoğunluk taşıyıcılarının aşamayacağı kadar büyük bir engel oluşturur ve çoğunluk taşıyıcısı akışını** ($I_{majority} = 0$) sıfıra indirir.



20

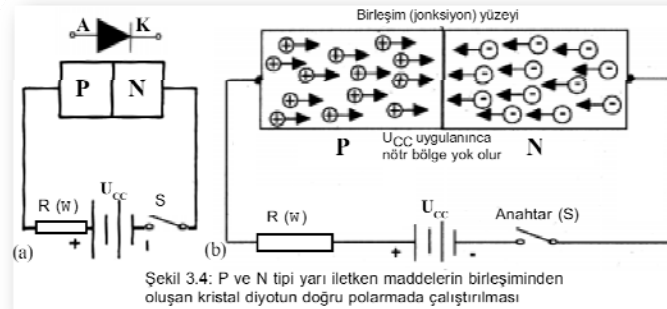
- Boşaltılmış bölgede azınlık taşıyıcılarının sayısında bir değişim olmayacak ve gerilim uygulanmadığı (No Bias, $V_d = 0V$) durumla aynı büyüklükteki azınlık taşıyıcı akış vektörü oluşacaktır. Bu akıma **ters doyma akımı** denir ve I_s indisi ile gösterilir. (I_s)
- I_s nin vektörel yönüne dikkat ediniz !
- Doyma denmesinin sebebi, bu akımın azami değerine çabucak ulaşması ve tersine ön gerilimleme potansiyelindeki artışla beraber önemli ölçüde değişmemesinden dolayıdır.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

41

3-) P-N birleşimine doğru yönde akım uygulama (Doğru polarizasyon – Forward Bias – $V_d > 0V$)

- Şekilde görüldüğü gibi dış gücün artı (+) ucundan gelen yükler (oyuklar) P tipi maddenin artı (+) yüklerini birleşim yüzeyine doğru iter.
- Üretcin eksi (-) ucundan gelen elektronlar ise N tipi maddenin eksi (-) yüklerini birleşim yüzeyine iter.
- Artı (+) ve eksi (-) yükler birbirini çekeceğinden elektronlar oyuklara doğru hareket ederler.



Şekil 3.4: P ve N tipi yarı iletken maddelerin birleşiminden oluşan kristal diyotun doğru polarizasyonda çalıştırılması

42

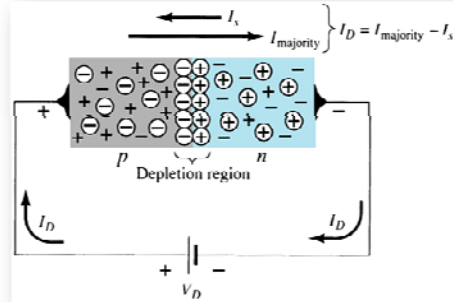
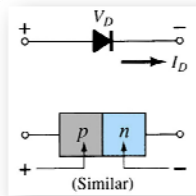
- Yani elektronlar, P tipi maddeye geçerler.
- Pilin artı (+) ucu P tipi maddeye geçmiş olan eksi (-) yüklü elektronları kendine çeker.
- **Bu şekilde P-N birleşiminde elektron akışı başlar.**
- N tipi maddede bulunan her elektron yerinden çıktığı zaman buralarda oyuklar oluşur.
- Oyuklar artı (+) yüklü kabul edildiğinden, pilin eksi (-) ucu tarafından çekilirler.
- Görüldüğü üzere elektron akışı eksi (-) uçtan artı (+) uca doğru olmaktadır.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

43

Doğru Polarisasyon - $V_D > 0V$ (Forward Bias) Özet

- P-N birleşimi ile aynı polaritede (p ye +, n ye -) V_D voltajı uygulanır.
- Elektronlar ve oyuklar birleşim yüzeyinden karşılıklı geçiş yaparlar.
- Bunun sonucu boşaltılmış bölge (Depletion region) daralır.
- Azınlık taşıyıcı şiddeti (I_s şiddeti) değişmez.
- Çoğunluk taşıyıcı şiddeti gerilim arttırılınca üssel olarak artar. ($I_{majority}$)

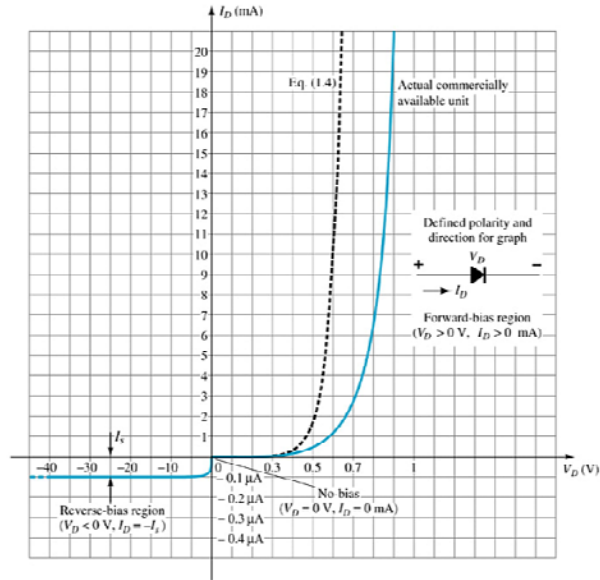


Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

44

Silikon Yarı iletken Diyot Karakteristiği

- 3 bölge;
 - Forward B.
 - No B.
 - Reverse B.
- Akım büyüklüklerine dikkat !
- Forward Biasda, Diyot üstüne düşen gerilim miktarı 1V dan azdır.



- Diyotun genel karakteristiği tanımlanırken Forward ve Reverse Bias durumlarında ;

$$I_D = I_s(e^{kV_D/T_K} - 1) \quad (1.4)$$

Diyot akımını bulmak için 1.4 formülü kullanılır.

where I_s = reverse saturation current

$k = 11,600/\eta$ with $\eta = 1$ for Ge and $\eta = 2$ for Si for relatively low levels of diode current (at or below the knee of the curve) and $\eta = 1$ for Ge and Si for higher levels of diode current (in the rapidly increasing section of the curve)

$$T_K = T_C + 273^\circ$$

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

46

$$I_D = I_s e^{kV_D/T_K} - I_s$$

- V_D nin **pozitif değerleri** için formülün ilk kısmı **üstel yükselir**, hesapta ikinci kısım ihmal edilir.

- V_D 0 volt olduğunda; **akımda sıfırlanır**

$$I_D = I_s(e^0 - 1) = I_s(1 - 1) = 0 \text{ mA}$$

- V_D nin negatif değerlerinde $I_D = -I_s$ olup akım mA düzeyinden μA düzeyine iner.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

47

Örnek

- 0.5V luk ileri ön gerilimleme voltajının oda sıcaklığında (25 C) yaratacağı akımı bulalım.
- $I_s = 1$ mikro A verilsin
- $T_K = T_C + 273 = 298$ derece
- $k(\text{Si}) = 11,600 / 2 = 5800$
- $k.V / T_K = 5800 \times 0,5 / 298 = 9,732$
- $I = I_s.(e^{9,732} - 1) = 16,8 \text{ mA}$

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

48

- Sıcaklık diyottan akan akım üzerinde belirgin bir etki oluşturur.
- Bunu 1.4 numaralı formülden görebilirsiniz.
- Tersine öngerilimleme bölgesinde, ters doyma akımı I_s nin sıcaklıktaki her 10 derecelik değişimi için şiddetinin hemen hemen 2ye katladığı deneysel olarak görülmüştür.
- Ör: 25 derecede I_s değeri 1~2 mikro amper olan germanyum diyetun 100 derecede 0.1mA kaçak akıma sahip olabilir.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

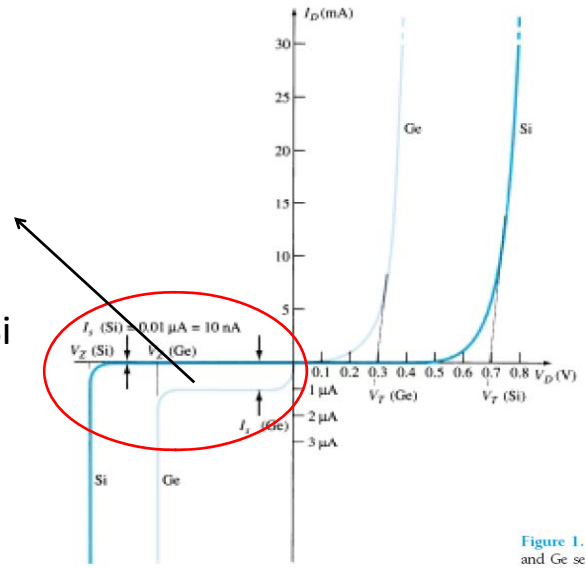
49

- Tersine ön gerilimlemedeki bu şiddetteki akım düzeyleri, tersine ön gerilimleme bölgesinde görmek istemediğimiz **açık devre (iletim olmama durumu) durumuna gölge düşürür.**
- Silisyumun kaçak akım düzeyleri benzer güç ve akım düzeylerinde Ge dan daha düşük düzeydedir.
- Dolayısıyla elektronik devre tasarımlarında aynı koşullar altında Si diyetun Ge diyetun daha az kaçak akıma sahip olması tercih edilmesine yol açar.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

50

- Şekilden de görüldüğü gibi tersine ön beslemede Ge 1mikro amper gibi bir akım kaçağı varken Si diyotun 0 a yakındır.



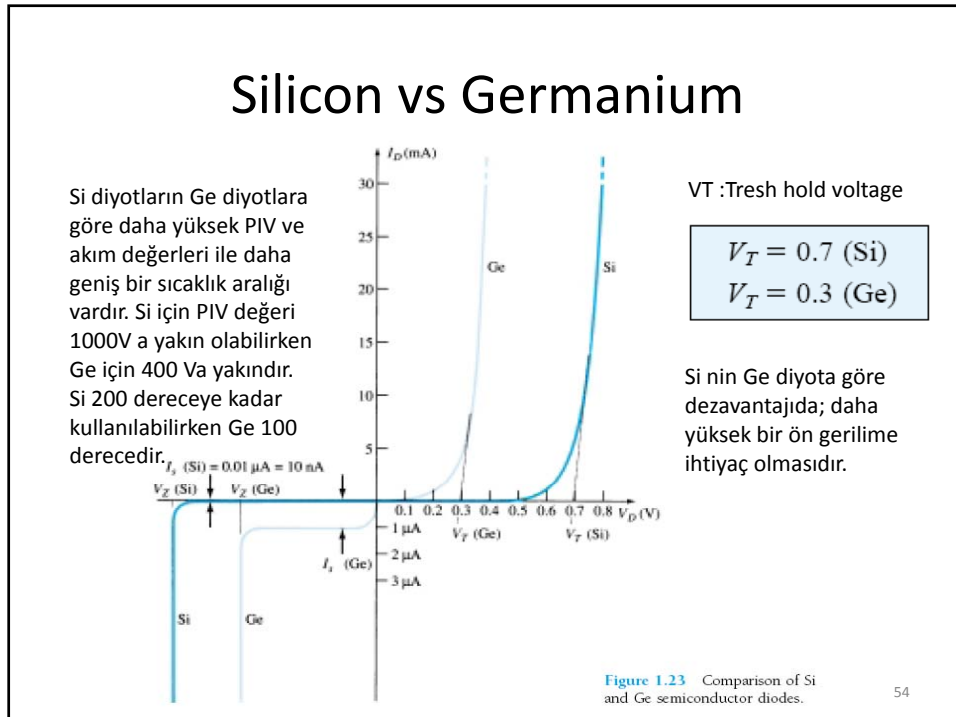
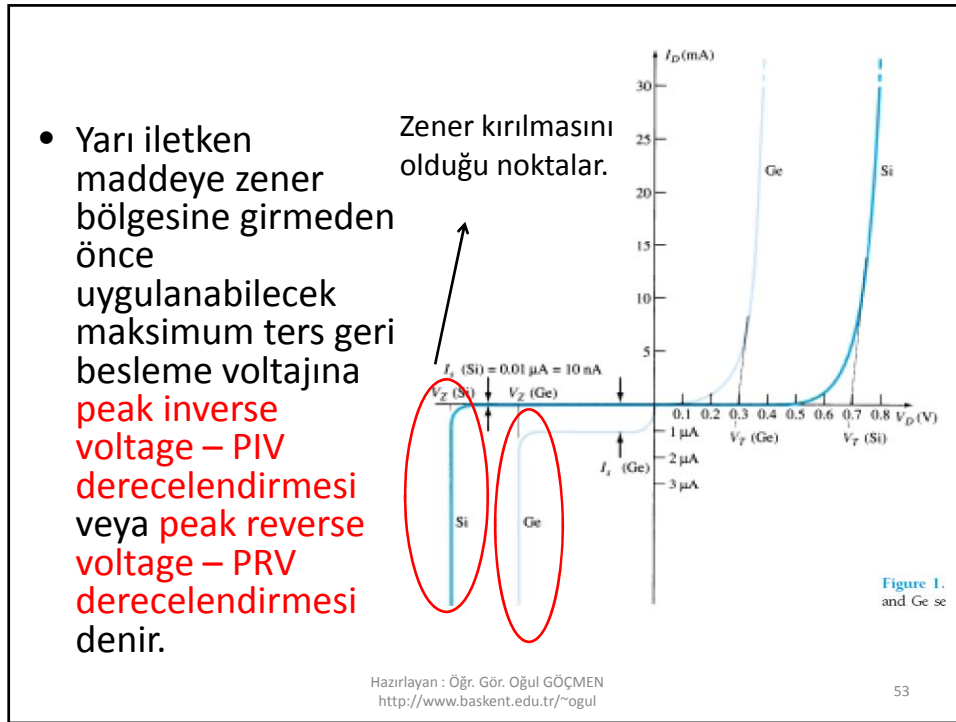
Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

51

- Şekle dikkat edecek olursanız, **belli bir noktadan sonra ters yönde bir anda akım akışı başlar.**
- Uygulanan potansiyel ters yönde daha da arttırılınca, az sayıdaki azınlık taşıyıcıları iyonizasyon yolu ile ek taşıyıcıları serbest hale getirebilecek düzeyde hız kazanmalarından dolayı valans elektronlar ile çarpışacak ve bunlara ana atomdan kopmalarını sağlayacak yeterlilikte enerji aktaracaklardır. Ardından bu ek taşıyıcılar, yüksek bir çığ akımının oluşup, çığ kırılma bölgesinin belirlendiği noktaya kadar iyonizasyon sürecine katkıda bulunabilirler.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

52



Isıl Etki - Özet

- Sıcaklık, herhangi bir yarı iletken elemanın tüm karakteristiklerini etkiler.
- Bir yarı iletken diyotun karakteristiğinde oda sıcaklığının üstünde veya altında kalan sıcaklık değişimlerinden dolayı meydana gelen değişme, şekilde gösterilmiştir.
- I_S (ters doyma akımı) her 10 derecelik artışla 2 katına çıkmaktadır.
- 25 derecede Ge diyodun I_S değeri yaklaşık 1 ila 2 mikro amper kadardır. 100 C de kaçak akımı 0,1mA kadardır.
- Si nin I_S değerleri Ge dan daha düşüktür.
- Ters gerilim altında, kırılma gerilimi ve istenmeyen ters doym akımı I_S , ısı ile beraber artmaktadır.

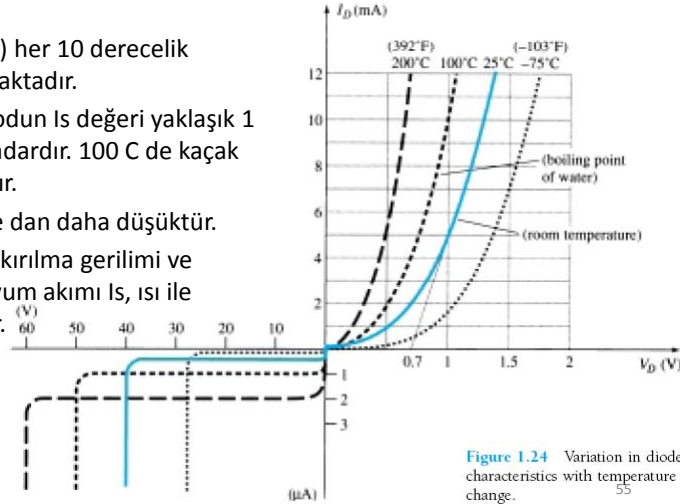
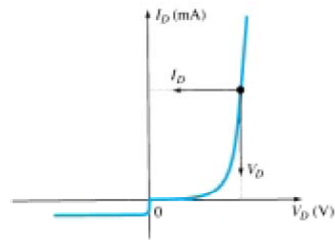


Figure 1.24 Variation in diode characteristics with temperature change.

DC veya Statik Direnç

- Diyotun belirli bir çalışma noktasındaki direncine **DC veya Statik Direnç** denir.



Grafikten istenilen çalışma noktasındaki değerler okunarak alt kısımdaki formülde yerine konur.

Figure 1.23 Determining the dc resistance of a diode at a particular operating point.

- Ve **direnç şu şekilde hesaplanır;**

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} \quad (1.5)$$

EXAMPLE 1.1

Determine the dc resistance levels for the diode of Fig. 1.26 at

- (a) $I_D = 2 \text{ mA}$
- (b) $I_D = 20 \text{ mA}$
- (c) $V_D = -10 \text{ V}$

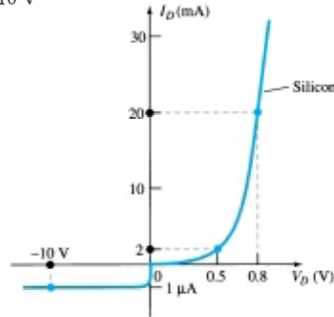


Figure 1.26 Example 1.1

Solution

- (a) At $I_D = 2 \text{ mA}$, $V_D = 0.5 \text{ V}$ (from the curve) and

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.5 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 250 \Omega$$

- (b) At $I_D = 20 \text{ mA}$, $V_D = 0.8 \text{ V}$ (from the curve) and

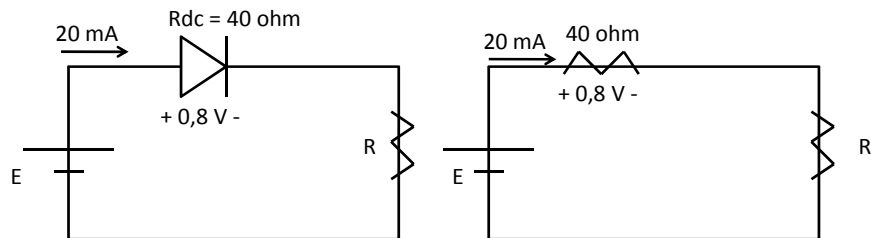
$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.8 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 40 \Omega$$

- (c) At $V_D = -10 \text{ V}$, $I_D = -I_s = -1 \mu\text{A}$ (from the curve) and

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{10 \text{ V}}{1 \mu\text{A}} = 10 \text{ M}\Omega$$

57

- Belirli bir çalışma noktasında DC direnci bulunduktan sonra, diyodun yerine bir direnç elemanı konularak analize devam edilebilir.



Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

58

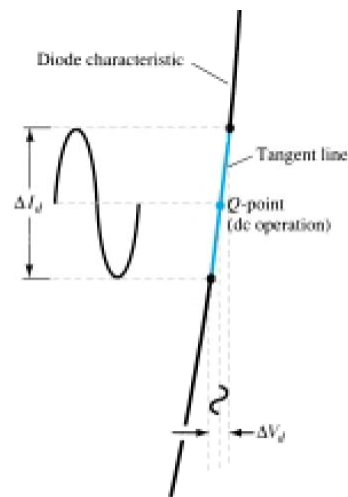
AC veya Dinamik Direnç

- Diyodun **DC direnci** karakteristik doğrusunun şeklinden **bağımsızdır**. Sadece **tek bir noktadaki değer** göz önüne alınarak işlem yapılır.
- Fakat AC veya dinamik direnç söz konusu ise, karakteristik çizgisinin **belirli bir aralığı dikkate alınarak işlem yapılmalıdır**.
- **Çünkü devreye uygulanan gerilim artık DC değil AC tipte yani sinüsoidal yapıdadır.**

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

59

- Değişken AC girişi karakteristiğin anlık çalışma noktalarını aşağı yukarı hareket ettirecek ve akım ve gerilimde özel değişimler görülecektir.
- AC yerine DC uygulandığı takdirde, çalışma noktası Q (quiescent - sükunet) olacaktır.



Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

60

$$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d}$$

where Δ signifies a finite change in the quantity. (1.6)

- **Q noktasından geçen eğriye çizilen teğet,** diyot karakteristiğinin bu bölge içerisinde AC veya dinamik direnci hesaplanırken kullanılabilecek akım ve gerilimdeki değişimi tanımlayacaktır.

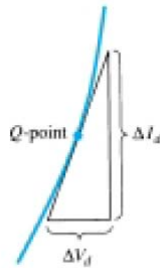


Figure 1.28 Determining the ac resistance at a Q-point.

61

EXAMPLE 1.2

For the characteristics of Fig. 1.29:

- Determine the ac resistance at $I_D = 2$ mA.
- Determine the ac resistance at $I_D = 25$ mA.
- Compare the results of parts (a) and (b) to the dc resistances at each current level.

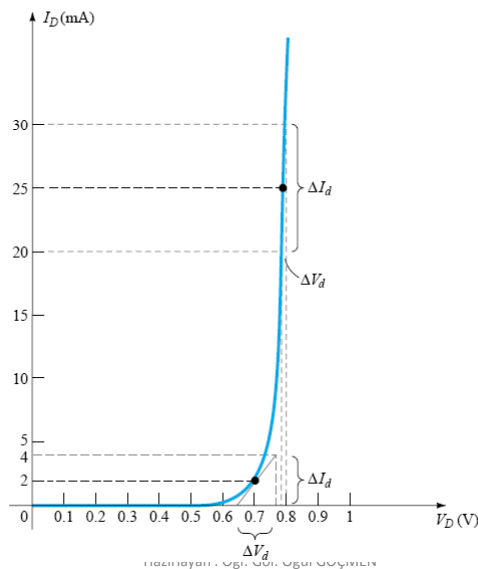


Figure 1.29 Example 1.2

62

Solution

- (a) For $I_D = 2$ mA; the tangent line at $I_D = 2$ mA was drawn as shown in the figure and a swing of 2 mA above and below the specified diode current was chosen. At $I_D = 4$ mA, $V_D = 0.76$ V, and at $I_D = 0$ mA, $V_D = 0.65$ V. The resulting changes in current and voltage are

$$\Delta I_d = 4 \text{ mA} - 0 \text{ mA} = 4 \text{ mA}$$

and

$$\Delta V_d = 0.76 \text{ V} - 0.65 \text{ V} = 0.11 \text{ V}$$

and the ac resistance:

$$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{0.11 \text{ V}}{4 \text{ mA}} = 27.5 \Omega$$

- (b) For $I_D = 25$ mA, the tangent line at $I_D = 25$ mA was drawn as shown on the figure and a swing of 5 mA above and below the specified diode current was chosen. At $I_D = 30$ mA, $V_D = 0.8$ V, and at $I_D = 20$ mA, $V_D = 0.78$ V. The resulting changes in current and voltage are

$$\Delta I_d = 30 \text{ mA} - 20 \text{ mA} = 10 \text{ mA}$$

and

$$\Delta V_d = 0.8 \text{ V} - 0.78 \text{ V} = 0.02 \text{ V}$$

and the ac resistance is

$$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{0.02 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 2 \Omega$$

63

Tabloda yazan değerler

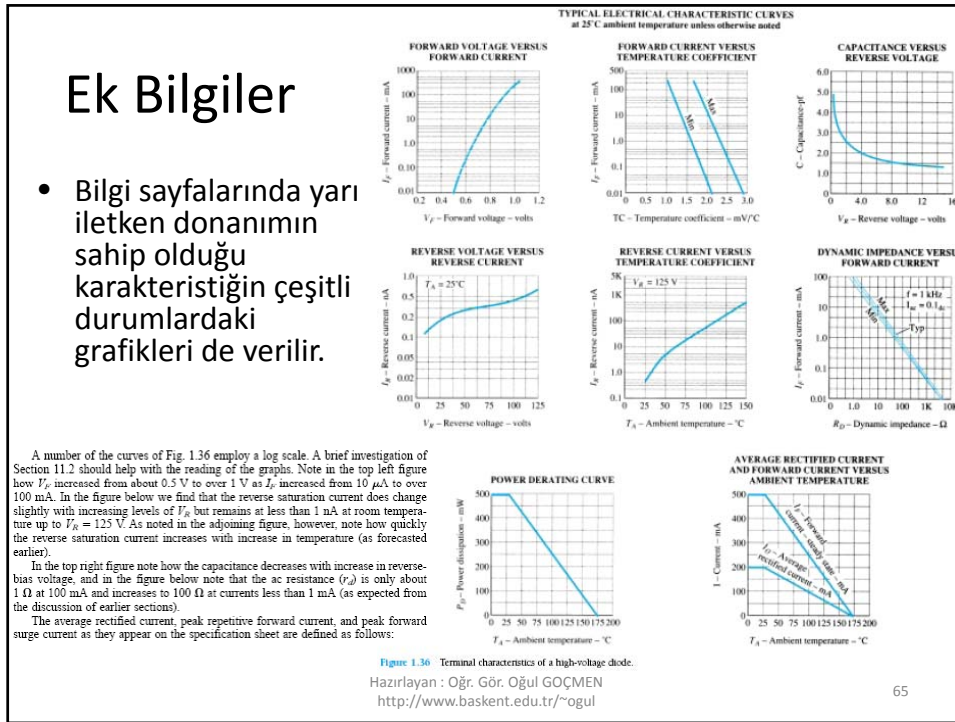
- A: The *minimum* reverse-bias voltage (PIVs) for a diode at a specified reverse saturation current.
- B: Temperature characteristics as indicated. Note the use of the Celsius scale and the wide range of utilization [recall that $32^\circ\text{F} = 0^\circ\text{C}$ = freezing (H_2O) and $212^\circ\text{F} = 100^\circ\text{C}$ = boiling (H_2O)].
- C: Maximum power dissipation level $P_D = V_D I_D = 500$ mW. The maximum power rating decreases at a rate of 3.33 mW per degree increase in temperature above room temperature (25°C), as clearly indicated by the *power derating curve* of Fig. 1.36.
- D: Maximum continuous forward current $I_{F_{\max}} = 500$ mA (note I_F versus temperature in Fig. 1.36).
- E: Range of values of V_F at $I_F = 200$ mA. Note that it exceeds $V_T = 0.7$ V for both devices.
- F: Range of values of V_F at $I_F = 1.0$ mA. Note in this case how the upper limits surround 0.7 V.
- G: At $V_R = 20$ V and a typical operating temperature $I_R = 500$ nA = $0.5 \mu\text{A}$, while at a higher reverse voltage I_R drops to 5 nA = $0.005 \mu\text{A}$.
- H: The capacitance level between terminals is about 8 pF for the diode at $V_R = V_D = 0$ V (no-bias) and an applied frequency of 1 MHz.
- I: The reverse recovery time is 3 μs for the list of operating conditions.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

64

Ek Bilgiler

- Bilgi sayfalarında yarı iletken donanımın sahip olduğu karakteristiğin çeşitli durumlarıdaki grafikleri de verilir.



65

Sık kullanılan diyot sembolleri

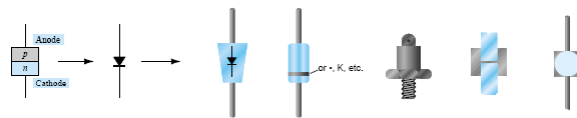


Figure 1.40 Semiconductor diode notation.

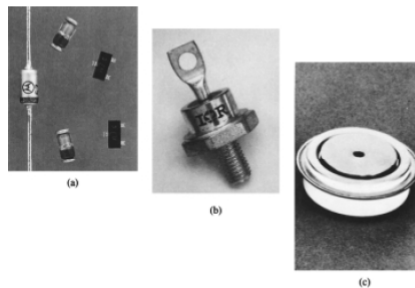


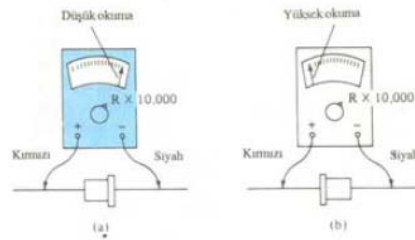
Figure 1.41 Various types of junction diodes. (a) Courtesy of Motorola Inc.; (b) and (c) Courtesy International Rectifier Corporation.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

66

DİYOTUN OHMMETRE İLE TEST EDİLMESİ

- Test için temel bağlantılar şekilde verilmiştir.
- Sayısal multimetre'lerin çoğu bir aralık seçimi olarak diyot sembolüyle gösterilen bir diyot test özelliğine sahiptir.

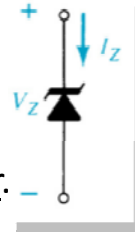


Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

67

Zener Diyot

- P ve N tipi iki yarı iletkenin birleşiminden oluşmuş, uçlarına uygulanan gerilimi sabit tutmaya yarayan diyotlara **zener diyot** denir.
- Zener diyotlarda kullanılan P ve N tipi yarı iletkenlerin "katkı madde" oranları doğrultmaç diyotlarından biraz daha fazladır.
- **Zener diyotlar devreye ters bağlanırlar (ters polarma altında çalışırlar).**
- **Bu nedenle ters polarmada gerilim kırılması değişimi, doğrultmaç diyotlarından farklıdır.**



Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

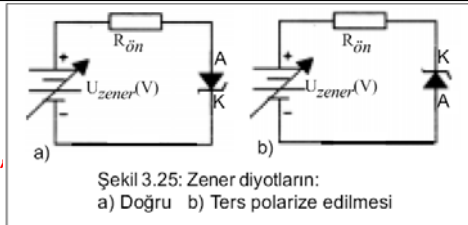
68

- Belli bir gerilime kadar akım geçirmezler.
- Kırılma (zener) noktası adı verilen voltaj düzeyine gelindiğinde ise aniden iletkenleşirler.
- Bu diyotların kırılma gerilimi, üretim aşamasında katkı maddesi miktarı ayarlanarak belirlenir.

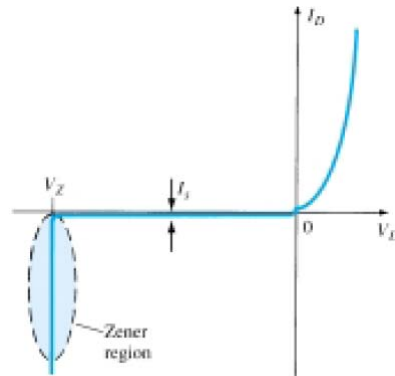
Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

69

- Zener diyotu şekil 3.25-a'da görüldüğü gibi devreye doğru polarizeli olarak bağlayıp gerilimi yavaş yavaş arttırsak, elemandan geçen akımın da arttığı görülür.
- Zener diyotu şekil 3.25-b'de görüldüğü gibi devreye ters polarizeli olarak bağlayıp gerilimi yavaş yavaş arttırsak, elemandan geçen akımın belli bir gerilim değerine kadar çok az olduğu, gerilim zenerin üst sınır değerini aştığında ise geçen akımın aniden çok yüksek bir değere çıktığı görülür.



Şekil 3.25: Zener diyotların:
a) Doğru b) Ters polarize edilmesi



Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

70

- Ters polarmada karşılaşılan bu durum uygulamada kullanılan **bir çok devrede bize fayda sağlar.**
 - Gerilimin sabitlenmesi
 - sinyal kırpma
 - eleman koruma vb..

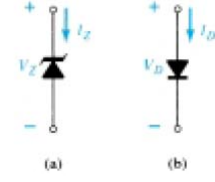


Figure 1.48 Conduction direction: (a) Zener diode; (b) semiconductor diode.

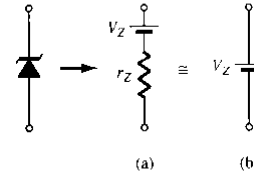


Figure 1.49 Zener equivalent circuit: (a) complete; (b) approximate.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

71

- Örneğin, 12 Volt'luk zener diyot, üzerine uygulanan ters yönlü gerilim 12 Volt olana kadar akım geçirmez.
- Gerilim 12 Volt'u aştığında ise zener diyot aniden iletkenleşerek akım geçirmeye başlar.
- Bu esnada zener diyota paralel olarak bir voltmetre bağlanıp ölçüm yapılacak olursa, eleman üzerinde 12 Volt'luk bir gerilim düşümünün olduğu görülür.
- Zener diyotlar düşük akımlı olduklarından mutlaka ön dirençle korunmaları gerekir.
- Zener diyotun gücü biliniyor ve elemana bağlanacak ön direncin değeri belirlenmek isteniyorsa,

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

72

$$V_{zener} \times I_{zener} (\text{maks}) < P_{zener}$$

kuralı göz önüne alınır. (Yani zener diyota uygulanan gerilimle, elemandan geçen akımın değerlerinin çarpımı zener diyotun gücünden büyük olmamalıdır.)

- Zener diyota bağlanması gereken ön direncin değeri ise:

$$R_{\text{ön}} = (V_{\text{giriş}} - V_{zener}) / I_{zener} \text{ maks}$$

- denklemleri ile bulunur.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

73

- Örnek
- a) Gücü 200 mW (0,2 W) çalışma gerilimi 12 V olan zener diyotun dayanabileceği maksimum akım nedir?
- b) Kullanılan zener diyotun bozulmaması için 15 V giriş gerilimi olan bir devrede zener diyota bağlanması gereken ön direncin değerini hesaplayınız.
- Çözüm
- a) $I_{zener} \text{ maks} = P_{zener} / V_{zener}$
 $= 0,2 / 12 = 0,0166 \text{ A} = 16,6 \text{ mA}$
- b) $R_{\text{ön}} = (V_{\text{giriş}} - V_{zener}) / I_{zener} \text{ maks}$
 $= (15 - 12) / 0,0166 = 180 \text{ ohm}$

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

74

Ek Bilgi - Okuyun

- **Zener diyotların ters bağlantı durumunda belli bir gerilimden sonra iletken olmasının nedeni:** Eğer, P-N maddeleri ters yönde polarize edilirse (reverse bias) ters yönde küçük bir sızıntı akımı oluşur. Normal olarak bu akım küçük olduğundan dolayı yok sayılabilir. Ancak, ters yönlü olarak uygulanan gerilim belli bir değeri aşarsa diyot ters yönde ilettime geçer. Diyotun ters yönde akım geçirmeye başlaması yarı iletken fizikinden (yapısından) kaynaklanan bir durumdur. Yani, zener diyota uygulanan ters polariteli gerilimin büyümesiyle, serbest elektronlara verilen enerji artmakta ve bu elektronların çarpma etkisiyle de pek çok elektron valans bandından iletkenlik bandına atlayarak geçen akımın artmasına neden olmaktadır.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

75

Uygulamada kullanılan diyotlarda iki çeşit ters kırılma (zener) durumu vardır :

1- Çığ olayı: Normal diyotlarda yüksek gerilimin etkisiyle **çığ olayı (avalanche effect)** ortaya çıkar ve diyot bozulur.

Yani normal diyotlara uygulanan ters gerilim izin verilen değerin üzerine çıkarılırsa eleman tamamen bozularak kullanılamaz hale gelir.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

76

2- Zener etkisi: Zener diyotlarda ise çığ etkisi küçük değerli ters gerilimlerde oluşur. Bu olayda zener diyot hemen bozulmaz. Çünkü zener diyotların kırılma gerilimini düşürmek için yüksek oranda katkı maddesi eklenmektedir.

- Ters polarma altında kırılma gerilimine yakın değerlerde, valans bandındaki elektronlar hareket ederek ters yön akımının geçmesini kolaylaştırır. Ters yönlü akımın zener diyotun taşıyabileceğinden fazla olmaması için koruyucu olarak ön dirençler kullanılır.

Hazırlayan : Öğr. Gör. Oğul GÖÇMEN
<http://www.baskent.edu.tr/~ogul>

77