

YARIİLETKENLERİN TANITILMASI

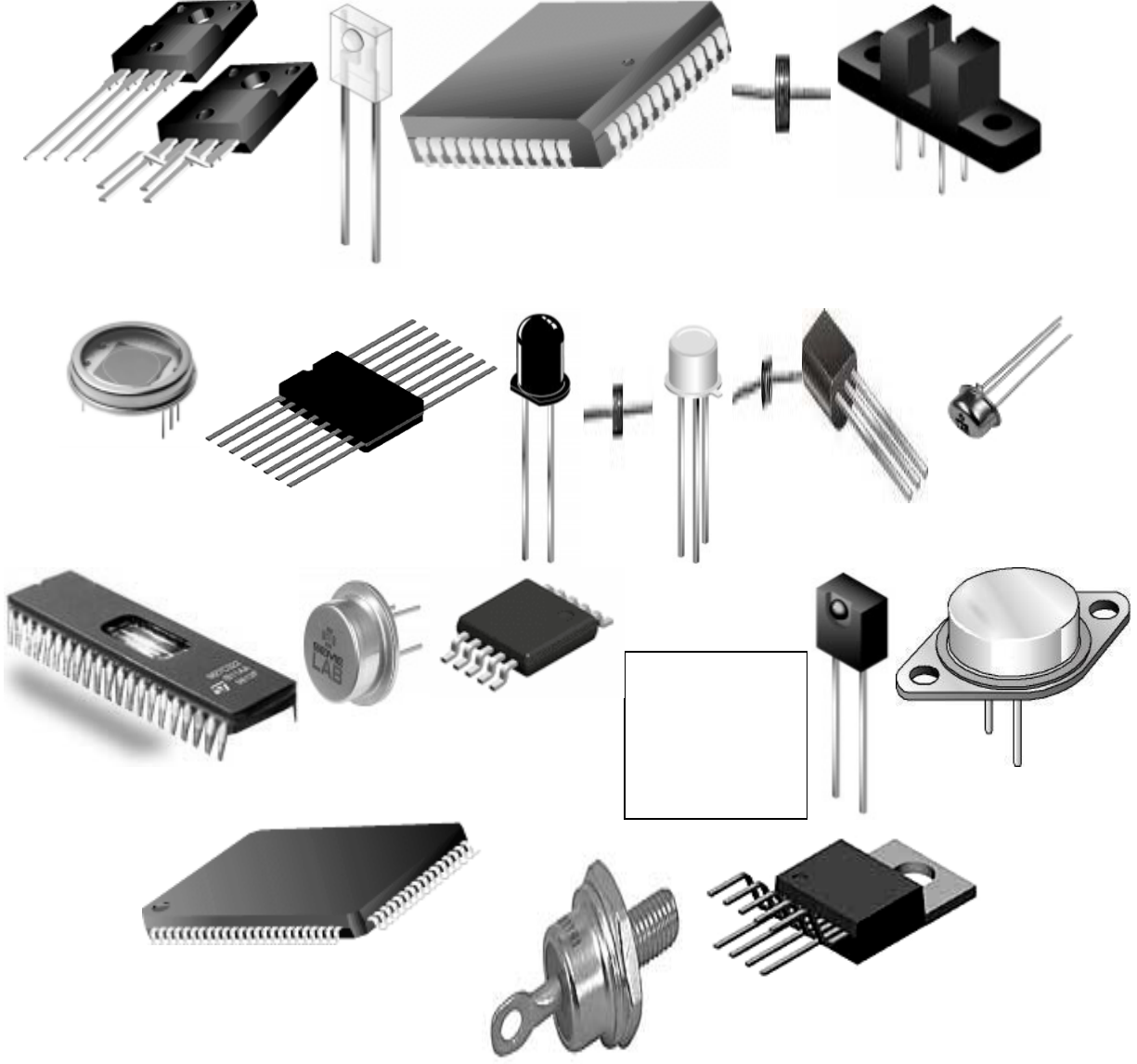
Konular:

- 1.1 Atomik Yapı
- 1.2 Yarıiletken, İletken ve Yalıtkan
- 1.3 Yarıiletkenlerde İletkenlik
- 1.4 N Tipi ve P tipi Yarıiletkenler
- 1.5 PN Bitişimi (eklemi) ve Diyot
- 1.6 PN Bitişiminin Önbeslemesi

Amaçlar:

Bu bölümü bitirdiğinizde aşağıda belirtilen konular hakkında ayrıntılı bilgiye sahip olacaksınız.

- Maddenin temel atomik yapısı
- Atom numarası ve ağırlığı, elektron kabukları ve yörüngeler, Valans elektronları, iyonizasyon
- Yarıiletken, iletken ve yalıtkan. Enerji bandları, Silisyum ve germanyum
- Yarıiletkenlerde iletkenlik, elektronlar ve boşluklarda iletkenlik,
- N tipi ve P tipi maddenin oluşturulması; Katkı işlemi
- PN eklemi ve temel işlevleri
- PN eklemine önbeslenmesi
- Diyot karakteristikleri



Şekil-1.1 Çeşitli elektronik devre elemanlarının genel görünümü

Kullandığımız pek çok cihazın üretiminde bir veya birkaç elektronik devre elemanı kullanılmaktadır. Elektronik devre elemanları ise yarıiletken materyaller kullanılarak üretilir. Diyot, transistör, tristör, FET, tümdevre (entegre) v.b adlarla tanımlanan elektronik devre elemanlarının bir çoğu şekil-1.1’de resimlenmiştir.

Elektronik devre elemanlarının dolayısıyla elektronik cihazların nasıl çalıştığını anlamak için yarıiletken materyallerinin yapısı hakkında bilgiye gereksinim duyarız. Bu bilgiyi ulaşmanın en etkin yolu maddenin temel atomik yapısını incelemekle başlar.

Bu kitap boyunca elektronik devre elemanlarını belirli bir sıra içerisinde tanıyacağız. Bu elemanların tüm özelliklerini inceleyerek cihaz tasarımlarını gerçekleştireceğiz.

1.1 ATOMİK YAPI

Tüm maddeler atomlardan oluşur. Atomlar ise; elektronlar, protonlar ve nötronlardan meydana gelir. Elektrik enerjisinin olusturulmasını ve kontrol edilmesini maddenin atomik yapısı belirler. Atomik yapıya bağlı olarak tüm elementler; iletken, yalıtkan veya yarıiletken olarak sınıflandırılırlar.

Elektronik endüstrisinde temel devre elemanlarının üretiminde yarıiletken materyaller kullanılır. Günümüzde elektronik devre elemanı üretiminde kullanılan iki temel materyal vardır. Bu materyaller; silisyum ve germanyumdur.

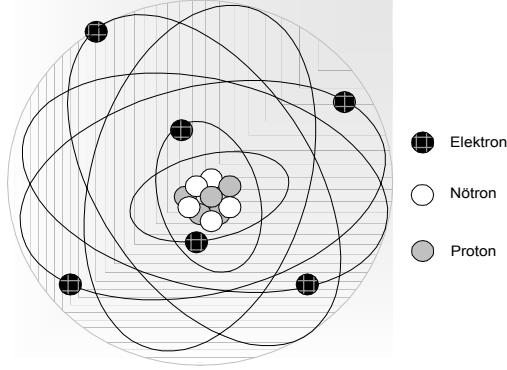
İletken, yalıtkan ve yarıiletken maddelerin işlevlerini ve özelliklerini incelemek için temel atomik yapının bilinmesi gerekir.

Bu bölümde temel atomik yapıyı inceleyeceğiz. Bölüm sonunda aşağıda belirtilen konular hakkında bilgi edineceksiniz.

- *Cekirdek, proton, nötron ve elektron*
- *Atom ağırlığı ve atom numarası*
- *Yörünge*
- *Valans elektronları*
- *İyonisasyon*

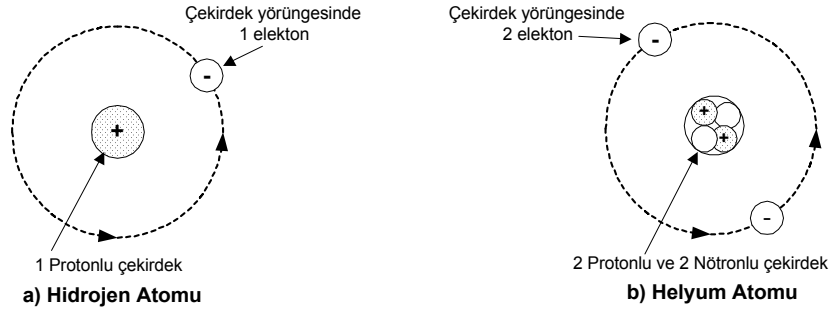
Yeryüzünde bilinen 109 element vardır. Bir elementin özelliklerini belirleyen en küçük yapıtaşı ise atomlardır. Bilinen bütün elementlerin atomik yapıları birbirinden farklıdır. Atomların birleşmesi elementleri meydana getirir.

Klasik bohr modeline göre atom, şekil-1.1’de gösterildiği gibi 3 temel parçacıktan oluşur. Bunlar; elektron, proton ve nötron’dur. Atomik yapıda; nötron ve protonlar merkezdeki çekirdeği oluşturur. Çekirdek artı yüklüdür. Elektronlar ise çekirdek etrafında sabit bir yörüngede dolaşırlar ve negatif yüklüdürler.



Şekil-1.1 Bohr modeline göre atom.

Elektronlar, negatif yükün temel nesneleridirler. Bilinen bütün elementleri bir birinden ayıran temel özellik, atomlarında bulunan proton ve nötron sayılarıdır. Her bir atomun, proton ve nötron sayıları farklıdır. Örneğin, en basit yapıya sahip atom, hidrojen atomudur. Hidrojen atomu; şekil-1.2.a'da gösterildiği gibi bir proton ve bir elektrona sahiptir. Şekil-1.2.b'de gösterilen helyum atomunun yörüngesinde iki elektron, çekirdeğinde ise; iki proton ve iki nötron bulunmaktadır.



Şekil- 1.2 Hidrojen ve Helyum atomları

Atom Numarası ve Ağırlığı

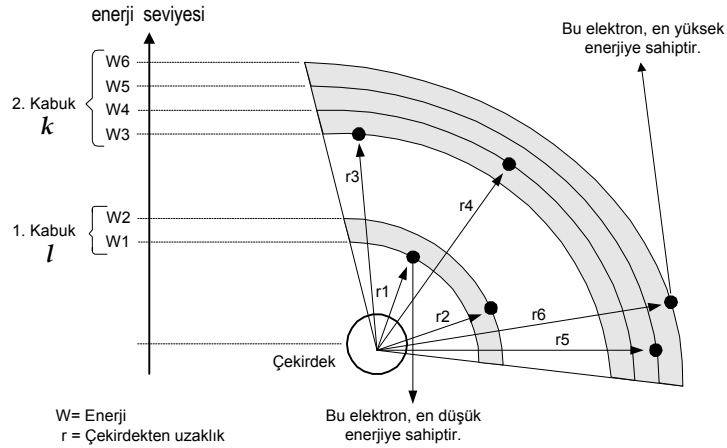
Bütün elementler atom numaralarına uygun olarak periyodik tabloda belirli bir düzen içinde dizilmişlerdir. Proton sayıları ile elektron sayıları eşit olan atomlar, elektriksel açıdan kararlı (nötral) atomlardır. Elementler, atom ağırlığına göre de belirli bir düzen içindedirler. Atom ağırlığı yaklaşık olarak çekirdekteki proton sayıları ile nötron sayılarının toplamı kadardır. Örneğin hidrojenin atom numarası 1'dir ve atom ağırlığı da 1'dir. Helyumun atom numarası 2'dir ve atom ağırlığı ise 4'tür. Normal veya tarafsız durumda verilen her hangi bir elementin bütün atomlarındaki; elektron ve proton sayıları eşittir.

Elektron Kabukları ve Yörüngeler

Bir atomun, elektron içeren yörüngeleri çekirdekten belirli uzaklıktadır. Çekirdeğe yakın olan yörüngedeki elektronlar, çekirdeğe uzak olan yörüngedeki elektronlardan daha az enerjiye sahiptir. Çekirdeğe farklı uzaklıklarda bulunan yörüngelerdeki elektronlar belirli enerji seviyelerine uyar. Atomda, enerji bantları şeklinde gruplaşmış yörüngeler “kabuk (shell)” olarak bilinirler. Verilen her bir atom, sabit kabuk sayısına sahiptir. Kabuklarda barınan elektronlar ise belirli bir sistem dahilinde dizilirler.

Her bir kabuk, izin verilen sayıda maksimum elektron barındırır. Bu elektronların enerji seviyeleri değişmez. Kabuk içindeki elektronların enerji seviyeleri bir birinden azda olsa küçük farklılıklar gösterir. Fakat; kabuklar arasındaki enerji seviyelerinin farkı çok daha büyüktür.

Çekirdek etrafında belirli bir yörüngeyi oluşturan kabuklar, k-l-m-n olarak gösterilirler. Çekirdeğe en yakın olan kabuk k’dır. k ve l kabukları şekil-1.4’de gösterilmiştir.



Şekil- 1.3 Çekirdekten uzaklıklarına göre enerji seviyeleri.

Valans Elektronları

Elektronlar çekirdekten uzaktır ve çekirdekten ayrılma eğilimindedir. Çekirdek elektronun bu ayrılma eğilimini dengeleyecek güçtedir. Çünkü elektron negatif yüklü, çekirdek pozitif yüklüdür. Çekirdekten uzakta olan elektronun negatif yükü daha fazladır. Bu durum merkezden kaçma kuvvetini dengelemektedir. Bir atomun en dıştaki kabuğu, en yüksek enerji seviyeli elektronlara sahiptir. Bu durum onu atomdan ayrılmaya daha eğilimli hale getirir. Valans (atomun değerini ayarlayan elektronlar) elektronları kimyasal reaksiyona ve malzemenin yapısına katkı sağlar.

Bir atomun en dış kabuğundaki elektronlar, çekirdek etrafında simetrik olarak hareket ederler ve kendi aralarında bir bağ oluştururlar. Bu bağa “kovelant bağ” denir. Atomun en dış kabuğundaki elektronlara ise “valans elektron” adı verilir. Komşu atomların en dış kabuklarındaki elektronlar (valans elektronlar) kendi aralarında valans çiftleri oluştururlar.

İyonizasyon

Bir atom, ısı kaynağından veya ışıktan enerjilendiği zaman elektronlarının enerji seviyeleri yükselir. Elektronlar enerji kazandığında çekirdekten daha uzak bir yörüngeye yerleşir.

Böylece Valans elektronları daha fazla enerji kazanır ve atomdan uzaklaşma eğilimleri artar. Bir valans elektronu yeterli miktarda bir enerji kazandığında ancak bir üst kabuğa çıkabilir ve atomun etkisinden kurtulabilir.

Bir atom, pozitif şarjın aşırı artması (protonların elektronlardan daha fazla olması) durumunda nötr değere ulaşmaya çalışır. Bu amaçla atom, valans elektronlarını harekete geçirir. Valans elektronunu kaybetme işlemi “İYONİZASYON” olarak bilinir ve atom pozitif şarj ile yüklenmiş olur ve pozitif iyon olarak adlandırılır. Örneğin; hidrojenin kimyasal sembolü H’dır. Hidrojenin valans elektronları kaybedildiğinde pozitif iyon adını alır ve H⁺ olarak gösterilir. Atomdan kaçan valans elektronları “serbest elektron” olarak adlandırılır. Serbest elektronlar, nötr hidrojen atomunun en dış kabuğuna doğru akar. Atom negatif yük ile yüklendiğinde (elektronların protonlardan fazla olması) negatif iyon diye adlandırılırlar ve H⁻ olarak gösterilirler.

1.2 YARIİLETKEN, İLETKEN VE YALITKAN

Büyükün materyaller, elektrik enerjisine gösterdikleri tepkiye bağlı olarak başlıca 3 gruba ayrılırlar. Bu gruplar; iletken, yalıtkan ve yarıiletken olarak tanımlanır. Bu bölümde; özellikle yarıiletken maddelerin temel yapısını inceleyerek, iletken ve yalıtkan maddelerle aralarındaki farkları ortaya koymaya çalışacağız.

Bu bölümü bitirdiğinizde aşağıda belirtilen konularda ayrıntılı bilgiye sahip olacaksınız.

- Atomik yapının özü
- Bakır, silisyum, germaniyum ve karbon v.b maddelerin atomik yapıları
- İletkenler
- Yarıiletkenler
- İletken ve yarıiletken arasındaki farklar
- Silisyum ve germaniyum yarıiletken malzemelerin farklılıkları

Tüm materyaller atomlardan oluşur. Materyallerin atomik yapısı, materyalin elektrik enerjisine karşı gösterecekleri tepkiyi belirler. Genel bir atomik yapı; merkezde bir çekirdek ve çekirdeği çevreleyen yörüngelerden oluşmaktadır. Materyalin iletken veya yalıtkan olmasında atomik yörüngede bulunan elektron sayısı çok önemlidir.

İletken

Elektrik akımının iletilmesine kolaylık gösteren materyallere iletken denir. İyi bir iletken özelliği gösteren materyallere örnek olarak, bakır, gümüş, altın ve alüminyum sayabiliriz. Bu materyallerin ortak özelliği tek bir valans elektronuna sahip olmalarıdır. Dolayısı ile bu elektronlarını kolaylıkla kaybedebilirler. Bu tür elementler; 1 veya birkaç valans elektrona sahiptirler. Örneğin bakır, altın, gümüş v.b

Yalıtkan

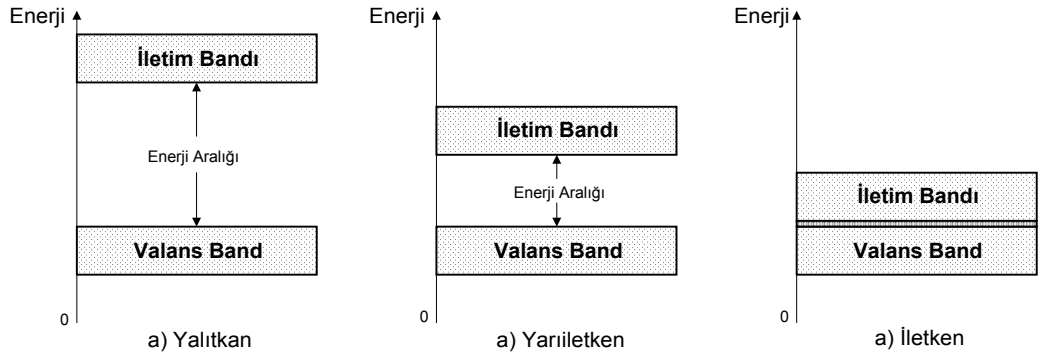
Normal koşullar altında elektrik akımına zorluk gösterip, iletmeyen materyallere yalıtkan denir. Yalıtkan maddeler son yörüngelerinde 6 ile 8 arasında valans elektron barındırırlar. Serbest elektron bulundurmazlar. Yalıtkan maddelere örnek olarak bakalit, ebonit v.b ametalleri sayabiliriz.

Yarıiletken

Yarıiletken maddeler; elektrik akımına karşı, ne iyi bir iletken nede iyi bir yalıtkan özelliği gösterirler. Elektronik endüstrisinin temelini oluşturan yarıiletken maddelere örnek olarak; silisyum (si), germanyum (ge) ve karbon (ca) elementlerini verebiliriz. Bu elementler son yörüngelerinde 4 adet valans elektron bulundururlar.

Enerji Bandı

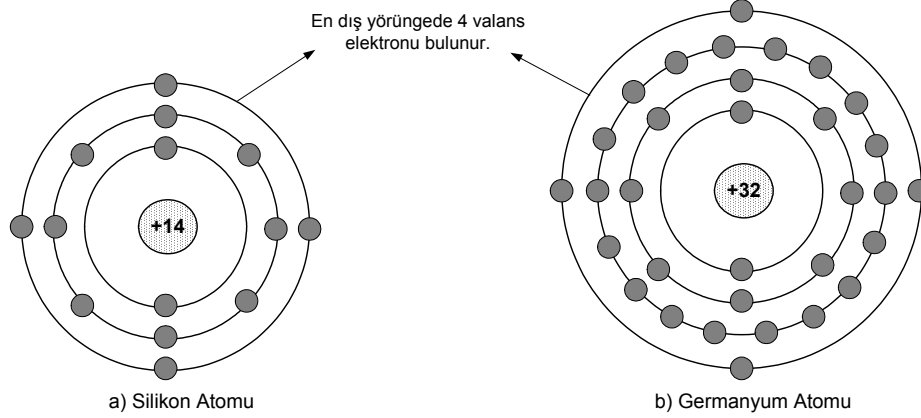
Maddelerin iletken, yalıtkan veya yarıiletken olarak sınıflandırılmasında enerji bandları oldukça etkindir. Yalıtkan, yarıiletken ve iletken maddelerin enerji bandları şekil-1.4'de verilmiştir. Enerji bandı bir yalıtıkanda çok geniştir ve çok az sayıda serbest elektron içerir. Dolayısıyla serbest elektronlar, iletkenlik bandına atlayamazlar. Bir iletkende ise; valans bandı ile iletkenlik bandı adeta birbirine girmiştir. Dolayısıyla harici bir enerji uygulanmaksızın valans elektronların çoğu iletkenlik bandına atlayabilir. Şekil-1.4 dikkatlice incelendiğinde yarıiletken bir maddenin enerji aralığı; yalıtıkana göre daha dar, iletkeneye göre daha geniştir.



Şekil-1.4 Üç farklı Materyal için enerji diyagramı

Silisyum ve Germanyum

Diyot, transistör, tümdevre v.b elektronik devre elemanlarının üretiminde iki tip yarı iletken malzeme kullanır. Bunlar; SİLİSYUM ve GERMANYUM elementleridir. Bu elementlerin atomlarının her ikisi de 4 Valans elektronuna sahiptir. Bunların birbirinden farkı; Silisyumun çekirdeğinde 14 proton, germanyumun çekirdeğinde 32 proton vardır. Şekil-1.5'de her iki malzemenin atomik yapısı görülmektedir. Silisyum bu iki malzemenin en çok kullanılanıdır.

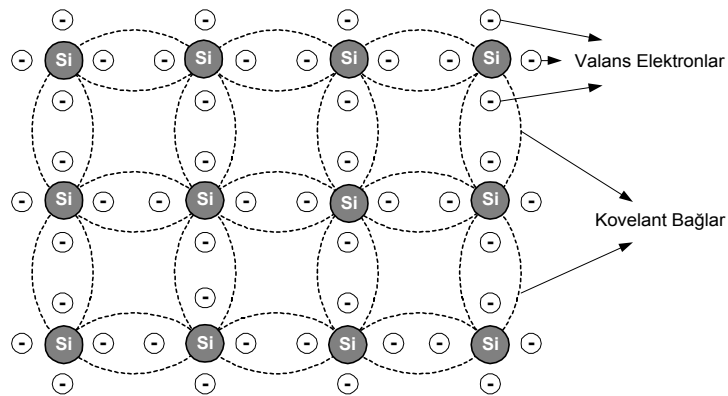


Şekil-1.4 Silisyum ve germanyum atomları.

Kovalent Bağ

Katı materyaller, kristal bir yapı oluştururlar. Silikon, kristallerden oluşmuş bir materyaldir. Kristal yapı içerisindeki atomlar ise birbirlerine kovalent bağ denilen bağlarla bağlanırlar. Kovalent bağ, bir atomun valans elektronlarının birbirleri ile etkileşim oluşturması sonucu meydana gelir.

Her silisyum atomu, kendisine komşu diğer 4 atomun valans elektronlarını kullanarak bir yapı oluşturur. Bu yapıda her atom, 8 valans elektronunun oluşturduğu etki sayesinde kimyasal kararlılığı sağlar. Her bir silisyum atomunun valans elektronu, komşu silisyum atomunun valans elektronu ile paylaşımı sonucunda kovalent bağ oluşur. Bu durum; bir atomun diğer atom tarafından tutulmasını sağlar. Böylece paylaşılan her elektron birbirine çok yakın elektronların bir arada bulunmasını ve birbirlerini eşit miktarda çekmesini sağlar. Şekil-1.5 saf silisyum kristallerinin kovalent bağlarını göstermektedir. Germanyumun kovalent bağıda benzerdir. Onunda sadece dört valans elektronu vardır.



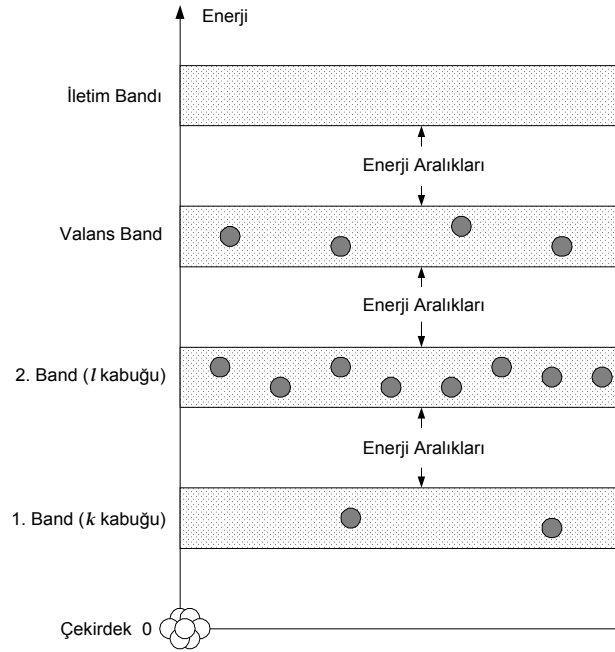
Şekil-1.5 Saf silisyum kristalin kovalent bağları.

1.3 YARIİLETKENLERDE İLETKENLİK

Malzemenin elektrik akımını nasıl iletmediği, elektrik devrelerinin nasıl çalıştığının anlaşılması bakımından çok önemlidir. Gerçekte temel akım mantığını bilmeden diyot veya transistör gibi yarıiletken devre elemanlarının çalışmasını anlayamazsınız.

Bu bölümde iletkenliğin nasıl meydana geldiğini ve bazı malzemelerin diğerlerinden niye daha iletken olduğunu, yarıiletken malzemelerde iletkenliğin nasıl sağlandığını öğreneceksiniz.

Bu bölümde enerji bantları içerisinde elektronların nasıl yönlendiğini göreceksiniz. Çekirdeğin etrafındaki kabuklar enerji bantları ile uyumludur. Enerji bantları birbirlerine çok yakın kabuklarla ayrılmıştır. Aralarında ise elektron bulunmaz. Bu durum şekil-1.6'da silisyum kristalinde (dışarıdan ısı enerjisi uygulanmaksızın) gösterilmiştir.

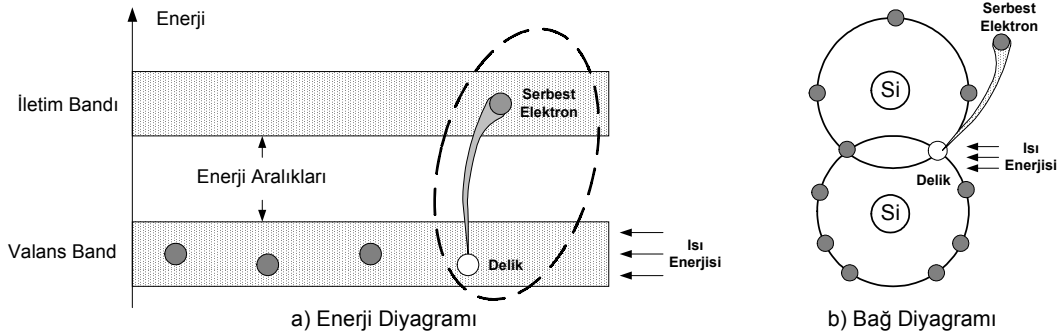


Şekil-1.6 Durgun silisyum kristalinin enerji band diyagramı.

Elektronlar ve Boşluklarda iletkenlik

Saf bir silisyum kristali oda sıcaklığında bazı tepkimelere maruz kalır. Örneğin; bazı valans elektronlar enerji aralıklarından geçerek, valans bandından iletkenlik bandına atlarlar. Bunlara serbest elektron veya iletkenlik elektronları denir. Bu durum şekil-1.7.a'da enerji diyagramında, şekil-1.7.b'de ise bağ diyagramında gösterilmiştir. Bir elektron; valans bandından iletkenlik bandına atladığında, valans bandında boşluklar kalacaktır. Bu boşluklara **"delik=boşluk"** veya **"hole"** denir. Isı veya ışık enerjisi yardımıyla iletkenlik bandına çıkan her elektron, valans bandında bir delik oluşturur. Bu durum, elektron boşluk çifti diye adlandırılır. İletkenlik bandındaki elektronlar enerjilerini kaybedip, valans bandındaki boşluğa geri düştüklerinde her şey eski haline döner.

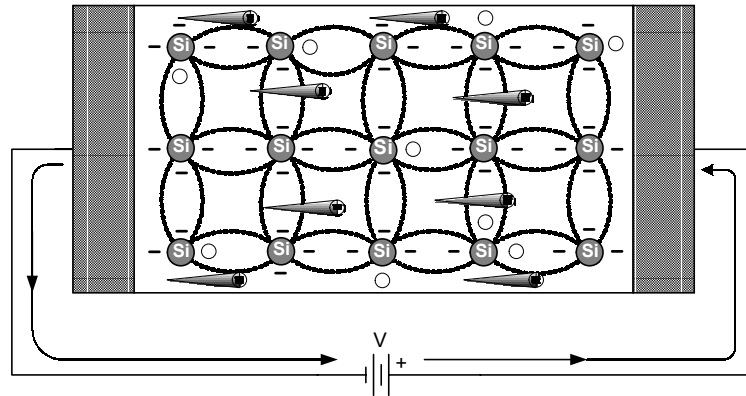
Özetle; saf silisyumunun iletkenlik bandındaki elektronların bir kısmı oda sıcaklığında hareketli hale geçer. Bu hareket, malzemenin herhangi bir yerine doğru rasgeledir. Böylece valans bandındaki boşluk sayısına eşit miktarda elektron, iletkenlik bandına atlar.



Şekil-1.7.a ve b. Hareketli bir silisyum atomunda bir elektron boşluğunun oluşturulması.

Elektron ve Delik (hole) akımı

Saf silisyumun bir kısmına gerilim uygulandığında neler olduğu şekil-1.8 üzerinde gösterilmiştir. Şekilde iletkenlik bandındaki serbest elektronların negatif uçtan pozitif uca doğru gittikleri görülmektedir. Bu; serbest elektronların hareketinin oluşturduğu akımın bir türüdür. Buna elektron akımı denir.



Şekil-1.8 Serbest elektronların sıcaklık oluşturması ile meydana gelen hareket, silisyum içinde bir elektron akışına neden olur.

Akımı oluşturan bir diğer tip ise valans devresindeki değişimlerdir. Bu ise; serbest elektronlar neticesinde boşlukların oluşması ile meydana gelir. Valans bandında kalan diğer elektronlar ise hala diğer atomlara bağlı olup serbest değildir. Kristal yapı içerisinde rasgele hareket etmezler. Bununla birlikte bir valans elektronu komşu boşluğa taşınabilir. (enerji seviyesindeki çok küçük bir değişimle). Böylece bir boşluktan diğerine hareket edebilir. Sonuç olarak kristal yapı içerisindeki boşluklarda bir yerden diğer yere hareket edecektir. Bu durum şekil-1-9'da gösterilmiştir. Boşlukların bu hareketi de "akım" diye adlandırılır.

Şekil-1.9 Serbest elektronların sıcaklık oluşturması ile meydana gelen hareket silisyum içinde bir elektron akışına neden olur.

1.4 N-TİPİ VE P-TİPİ YARI İLETKENLER

Yarıiletken malzemeler, akımı iyi iletmezler. Aslında ne iyi bir iletken, nede iyi bir yalıtkandırlar. Çünkü valans bandındaki boşlukların ve iletim bandındaki serbest elektronların sayısı sınırlıdır. Saf silisyum veya germanyum'un mutlaka serbest elektron veya boşluk sayısı artırılarak iletkenliği ayarlanmalıdır. İletkenliği ayarlanabilen silisyum veya germanyum, elektronik devre elemanlarının yapımında kullanılır. Germanyum veya silisyumun iletkenliği ise ancak saf malzemeye katkı maddesi eklenmesi ile sağlanır. Katkı maddesi eklenerek oluşturulan iki temel yarıiletken materyal vardır. Bunlara; N-tipi madde ve P-tipi madde denir. Elektronik devre elemanlarının üretiminde bu iki madde kullanılır.

Bu bölümü bitirdiğinizde;

- Katkı (doping) işlemini
- N-tipi yarıiletken maddenin yapısını
- P-tipi yarıiletken maddenin yapısını
- Çoğunluk ve azınlık akım taşıyıcılarını

Ayrıntılı olarak öğreneceksiniz.

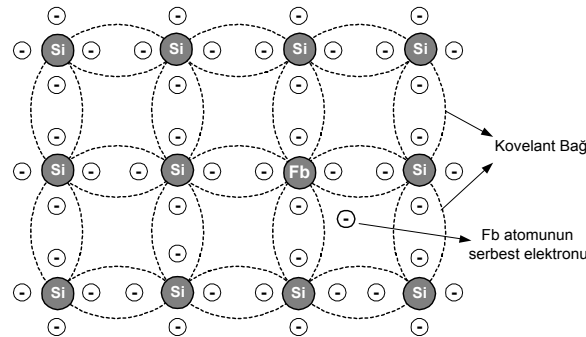
Katkı İşlemi (Doping)

Silisyum ve germanyumun iletkenliği kontrollü olarak artırılabilir. İletkenliği kontrollü olarak artırmak için saf yarıiletken malzemeye katkı maddesi eklenir. Bu işleme "doping" denir. Akım taşıyıcılarının (elektron veya boşluk) sayısının artırılması malzemenin iletkenliğini, azaltılması ise malzemenin direnci artırır. Her iki doping olayının sonucunda N-tipi veya P-tipi madde oluşur.

N-Tipi Yarıiletken

Saf silisyumun iletkenlik bandındaki deliklerinin artırılması atomlara katkı maddesi ekleyerek yapılır. Bu atomlar, 5-değerli valans elektronları olan arsenik (As), fosfor (P), bizmut (Bi) veya antimon'dur. Silisyuma katkı maddesi olarak 5 valans elektrona sahip fosfor belli bir oranda eklendiğinde, diğer silisyum atomları ile nasıl bir kovalent bağ oluşturulduğu şekil-1.10'da gösterilmiştir.

Fosfor atomunun 4 valans elektronu, silisyumun 4 valans elektronu ile kovalent bağ oluşturur. Fosfor'un 1 valans elektronu açıkta kalır ve ayrılır. Bu açıkta kalan elektron iletkenliği artırır. Çünkü herhangi bir atoma bağlı değildir. İletkenlik, elektron sayıları ile kontrol edilebilir. Bu ise silisyuma eklenen atomların sayısı ile olur. Katkı sonucu oluşturulan bu iletkenlik elektronu, valans bandında bir boşluk oluşturmaz.



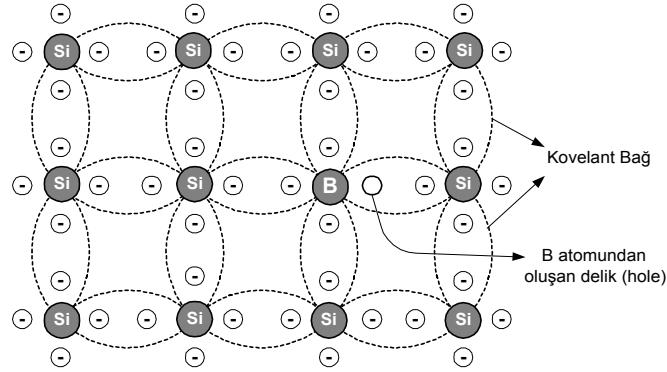
Şekil-1.10 N tipi yarıiletken maddenin oluşturulması.

Akım taşıyıcılarının çoğunluğu elektron olan, silisyum veya germanyum maddesine N-tipi yarıiletken malzeme denir. N-tipi malzemede elektronlar, çoğunluk akım taşıyıcıları diye adlandırılır. Böylece N-tipi malzemede akım taşıyıcıları elektronlardır. Buna rağmen ısı ile oluşturulan birkaç tane elektron boşluk çiftleri de vardır. Bu boşluklar 5-değerli katkı maddesi ile oluşturulmamışlardır. N-tipi malzemede boşluklar azınlık taşıyıcıları olarak adlandırılır.

P-Tipi Yarıiletken

Saf silisyum atomu içerisine, 3 valans elektrona sahip (3-değerli) atomların belli bir oranda eklenmesi ile yeni bir kristal yapı oluşur. Bu yeni kristal yapıda delik (boşluk) sayısı artırılmış olur. 3 valans elektrona sahip atomlara örnek olarak; alüminyum (Al), Bor (B) ve Galyum (Ga) elementlerini verebiliriz. Örneğin; saf silisyum içerisine belli bir oranda bor katılırsa; bor elementinin 3 valans elektronu, silisyumun 4 valans elektronu ile ortak kovalent bağ oluşturur. Fakat silisyumun 1 valans elektronu ortak valans bağı oluşturamaz. Bu durumda 1 elektron noksanlığı meydana gelir. Buna "boşluk" veya "delik=hole" denir.

Silisyuma eklenen katkı miktarı ile boşlukların sayısı kontrol edilebilir. Bu yöntemle elde edilen yeni malzemeye P tipi yarıiletken malzeme denir. Çünkü boşluklar pozitif yüklüdür. Dolayısı ile P-tipi malzemede çoğunluk akım taşıyıcıları boşluklardır. Elektronlar ise P tipi malzemede azınlık akım taşıyıcılarıdır. P-tipi malzemede bir kaç adet serbest elektronda oluşmuştur. Bunlar ısı ile oluşan boşluk çifti esnasında meydana gelmiştir. Bu serbest elektronlar, silisyuma yapılan katkı esnasında oluşturulamazlar. Elektronlar P-tipi malzemede azınlık akım taşıyıcılarıdır.



Şekil- 1.11 Silisyum kristaline 3 bağlı katkı atomu. Bohr katkı atomu merkezde gösterilmiştir.

1.5 PN BİRLEŞİMİ

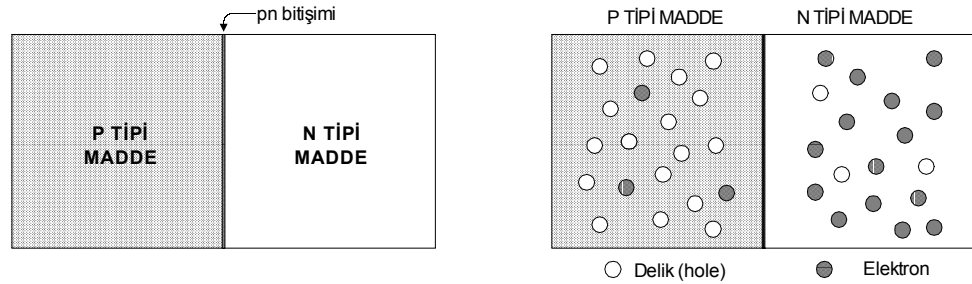
Silisyum veya Germaniyum kristaline yeterli oranda katkı maddeleri eklenerek, P-tipi ve N-tipi maddeler oluşturulmuştur. Bu maddeler yalnız halde elektriksel işlevleri yerine getiremezler. P ve N tipi malzeme bir arada kullanılırsa, bu birleşime PN birleşimi (junction) veya PN eklemi denir. PN birleşimi; elektronik endüstrisinde kullanılan diyot, transistör v.b devre elemanlarının yapımında kullanılır.

Bu bölümü bitirdiğinizde;

- PN bitişiminin özelliklerini
- Deplasyon katmanı ve işlevini

ayrıntılı olarak öğreneceksiniz.

Şekil-1.12.(a)'da yarısı P-tipi, diğer yarısı N tipi malzemeden oluşan iki bölümlü bir silisyum parçasını göstermektedir. Bu temel yapı biçimine “yarı iletken diyot” denir. N bölgesinde daha çok serbest elektron bulunur. Bunlar akım taşıyıcısı olarak görev yaparlar ve “çoğunluk akım taşıyıcısı” olarak adlandırılırlar. Bu bölgede ayrıca ısı etkisi ile oluşturulan birkaç boşluk (delik=hole) bulunur. Bunlara ise “azınlık akım taşıyıcıları” adı verilir.



Şekil-1.12.a ve b Basit bir PN yapısının oluşumu.
Çoğunluk ve azınlık taşıyıcılarının ikisi de gösterilmiştir.

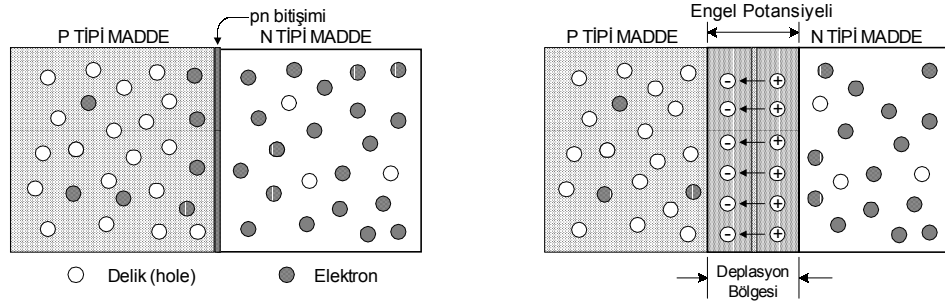
P bölgesi ise çok sayıda boşluklar (delik=hole) içerir. Bunlara “çoğunluk akım taşıyıcıları” denir. Bu bölgede ısı etkisi ile oluşan birkaç serbest elektronda bulunur. Bunlara ise “azınlık akım taşıyıcıları” denir. Bu durum şekil-1.12.(b)’de gösterilmiştir. PN birleşimi elektronik endüstrisinde kullanılan diyotların, transistörlerin ve diğer katkı hal devrelerinin temelini oluşturur.

Deplasyon Katmanı ve İşlevi

P maddesinde elektron noksanlığı (boşluk), N maddesinde ise elektron fazlalığı meydana gelmişti. Elektron ve oyukların hareket yönleri birbirine zıttır. Aslında bu iki madde başlangıçta elektriksel olarak nötr haldedir.

P ve N maddesi şekil-1.13.a’da görüldüğü gibi birleştirildiğini kabul edelim. Birleşim olduğu anda N maddesindeki serbest elektronlar, P maddesinde fazla olan oyuklarla (boşluk=delik) birleşirler. P maddesindeki fazla oyukların bir kısmı ise, N maddesine gelip elektronlarla birleşirler. Bu durumda P maddesi net bir (-) yük, N maddesi ise (+) yük kazanmış olur. Bu olay olurken P maddesi (-) yüke sahip olduğundan N maddesindeki elektronları iter. Aynı şekilde, N maddesi de (+) yüke sahip olduğundan P maddesindeki oyukları iter. Böylece P ve N maddesi arasında daha fazla elektron ve oyuk akmasını engellerler. Yük dağılımının belirtildiği şekilde oluşması sonucunda PN birleşiminin arasında “gerilim seddi” denilen bir bölge (katman) oluşur.

Bu durum şekil-1.13.b’de resmedilmiştir. İletim dengesi sağlandığında deplasyon katı, P-N birleşiminde iletim elektronu bulunmadığı noktaya kadar genişler.



Şekil-1.13.a ve b PN birleşiminin denge iletimi. Elektron boşluk çiftinin oluşturduğu sıcaklıkla, N bölgesindeki birkaç boşluğun azınlık taşıyıcılarının meydana getirilmesi.

Şekil-1.13.b’de PN birleşim bölgesinde pozitif ve negatif iyonlarla oluşturulan gerilim seddi görülmektedir. Oluşan bu gerilim seddi; 25⁰ C’de silisyum için engel 0.7 volt, germanyum için 0.3 volt civarındadır. Bu gerilime “diyot öngerilimi” denir. Diyot öngerilimi ısıdan etkilenir. Örneğin sıcaklık miktarındaki her 1⁰C’lik artış, diyot öngeriliminin yaklaşık 2.3mV azalmasına neden olur.

Diyot öngerilimi çok önemlidir. Çünkü PN birleşimine dışarıdan uygulanan gerilimin oluşturacağı akım miktarının kararlı olmasını sağlar. İlerideki bölümlerde PN birleşimini ayrıntılı olarak inceleyeceğiz.

1.6 PN BİRLEŞİMİNİN POLARMALANMASI

PN bitişiminin nasıl oluşturulduğunu gördük. PN bitişimi elektronik devre elemanlarının üretiminde kullanılan en temel yapıdır.

PN birleşimine elektronik biliminde “diyot” adı verilmektedir. Diyot veya diğer bir elektronik devre elemanının DC gerilimler altında çalıştırılmasına veya çalışmaya hazır hale getirilmesine elektronikte “Polarma” veya “bias” adı verilmektedir.

PN birleşimi veya diyot; DC gerilim altında iki türde polarmalandırılır. Bunlardan birisi “ileri yönde polarma” diğeri ise “ters yönde polarma” dır. İleri veya ters yönde polarma, tamamen diyot uçlarına uygulanan gerilimin yönü ile ilgilidir.

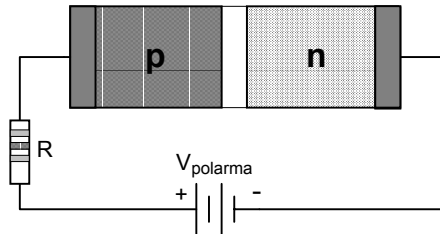
Bu bölümü bitirdiğinizde;

- İleri yönde polarma (forward bias)
- Ters yönde polarma (reverse bias)

Kavramlarını öğreneceksiniz.

İleri Yönde Polarma (Forward Bias)

İleri yönde polarma; yarıiletken bir devre elemanının uçlarına uygulanan DC gerilimin yönü ile ilgilidir. PN birleşiminden akım akmasını sağlayacak şekilde yapılan polarmadır. Şekil-1.14’de bir diyoda ileri yönde polarma sağlayacak bağlantı görülmektedir.



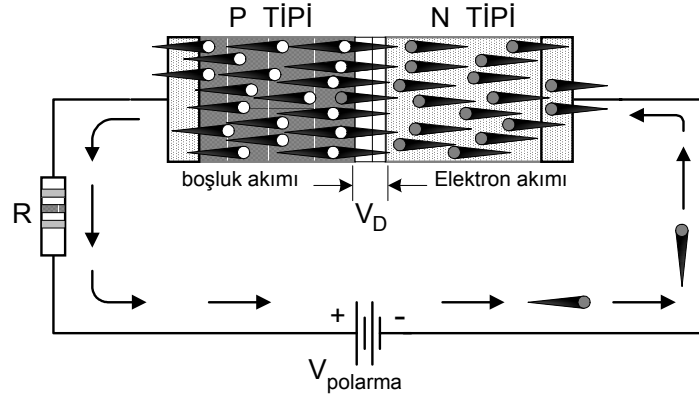
Şekil-1.14 İleri yönde polarma bağlantısı. R, direnci akım sınırlamak amacıyla kullanılmıştır.

İleri yönde polarma şöyle çalışır. Bataryanın negatif ucu N bölgesine (Katot olarak adlandırılır), pozitif ucu ise P bölgesine (Anot olarak adlandırılır) bağlanmıştır. Bataryanın negatif terminali, N bölgesindeki iletkenlik elektronlarını birleşim bölgesine doğru iter. Aynı anda pozitif terminal, P bölgesindeki oyukları birleşim bölgesine iter. Uygulanan polarma gerilimi yeterli seviyeye ulaşınca; N bölgesindeki elektronların ve P bölgesindeki oyukların engel bölgesini aşmasını sağlar.

N bölgesinden ayrılan elektronlara karşılık, bataryanın negatif ucundan çok sayıda elektron girmesini sağlar. Böylece N bölgesinde iletkenlik elektronlarının hareketi (çoğunluk akım taşıyıcıları) eklem bölgesine doğrudur.

Karşıya geçen iletkenlik elektronları, P bölgesinde boşluklar ile birleşirler. Valans elektronları boşluklara taşınır ve boşluklar ise pozitif anot bölgesine taşınır. Valans

elektronlarının boşluklarla birleşme işlemi PN uçlarına voltaj uygulandığı sürece devam eder ve devamlı bir “akım” meydana gelir. Bu durum şekil-1.15’de resmedilmiştir. Şekilde ileri yönde bayaşlanan diyodtaki elektron akışı görülmektedir.



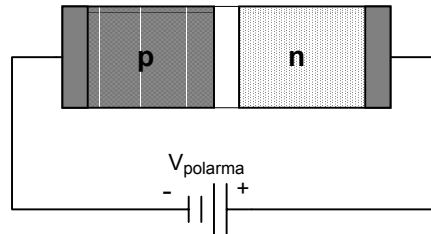
Şekil-1.15: PN birleşimli diyot 'ta elektron akışı.

İleri polarmada Gerilim seddinin etkisi

PN birleşiminde meydana gelen gerilim seddi, Silisyumda 0.7V, germanyumda ise 0.3V civarındadır. Polarma geriliminin potansiyeli bu değere ulaştığında, PN birleşiminde iletim başlar. PN uçlarına uygulanan gerilim, diyodu bir kez iletime geçirdikten sonra gerilim seddi küçülür. Akım akışı devam eder. Bu akıma ileri yön akımı I_f denir. I_f akımı P ve N bölgesinin direncine bağlı olarak çok az değişir. Bu bölgenin direnci (ileri yöndeki direnç) genellikle küçüktür ve küçük bir gerilim kaybına sebep olur.

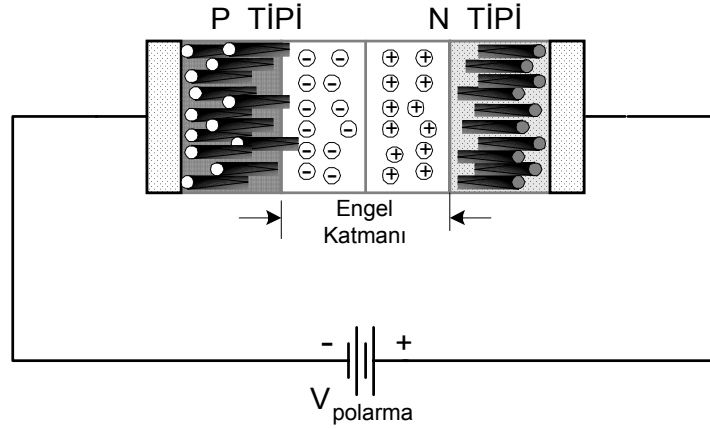
Ters Polarma (Revrese Bias)

Ters kutuplamada bataryanın negatif ucu P bölgesine, pozitif ucu ise N bölgesine bağlanmıştır. Bu durum şekil-1.16’da gösterilmiştir. Ters polarmada PN birleşiminden akım akmaz. Bataryanın negatif ucu, PN bölgesindeki boşlukları kendine doğru çeker. Pozitif ucu ise PN bölgesindeki elektronları kendine doğru çeker ve bu arada (depleasyon bölgesi) yalıtkan katman genişler. N bölgesinde daha çok pozitif iyonlar, P bölgesinde ise daha çok negatif iyonlar oluşturulur.



Şekil-1.16 Ters Polarma bağlantısı.

Yalıtkan (deplezyon) katmandaki potansiyel farkı harici bayaş gerilimine eşit oluncaya kadar genişler. Bu noktada boşlukların ve elektronların hareketi durur. Birleşimden çoğunluk akım taşıyıcılarının harekete başlaması (transient) akımı diye adlandırılır. Bu ise ters kutuplama yapıldığında çok kısa bir anda akan bir akımdır.



Şekil-1.17 Ters polarmada oluşan engel katmanı

Diyot ters kutuplandığında engel katmanının yalıtkanlığı artacak ve her iki taraftaki iyonlar şarj olacaktır. Bu durum kapasitif bir etki yaratır. Ters kutuplama gerilimi arttıkça engel katmanı genişler. Bu arada kapasitans da artacaktır. Bu durum, deplezyon katmanının kapasitansı diye bilinir ve bu durum pratik kolaylıklar sağlar.

Azınlık Akımı

Şimdiye kadar öğrendiğimize göre; diyoda ters gerilim uygulandığında çoğunluk akım çabucak sıfır olur. Ancak ters kutuplama da bile çok az bir azınlık akımı mevcut olacaktır. Bu ters akım germanyumda, silisyum'a göre daha fazladır. Bu akım silisyum için mikro amper veya nano amperler mertebesinde. Dolayısı ile ısı ile oluşan elektron boşluk çifti ise minimum seviyesindedir. Harici ters gerilim; uygulanırken bazı elektronlar PN birleşimini geçecektir. Ters akım aynı zamanda birleşimin ısısına ve ters kutlama geriliminin miktarına bağlıdır dolayısı ile ısının artması ters akımı da artıracaktır.

Ters Yönde Kırılma

Eğer dışarıdan uygulanan ters polarma gerilimi aşırı derecede artırılırsa çığ kırılması meydana gelir. Şimdi bu ne demektir? Azınlık akım taşıyıcıları olan iletkenlik bandı elektronlar dışarıdan uygulanan ters gerilim kaynağının etkisi ile P bölgesine itilirler. Bu esnada valans elektronları iletkenlik bandına doğru hareket ederler. Bu anda iki tane iletkenlik bandı elektronu mevcuttur. Her biri bir atomda bulunan bu elektronlar; valans bandından, iletkenlik bandına hareket eder. İletkenlik bandı elektronlarının hızla çoğalması olayı, çığ etkisi olarak bilinir. Sonuç olarak büyük bir ters akım akar. Çoğu diyotlar genelde ters kırılma bölgesinde çalışmazlar. Çünkü hasar görebilirler. Bununla birlikte bazı diyotlar sırf ters yönde çalışacak yönde yapılmışlardır. Bunlara "**Zener Diyot**" adı verilir.

1.7 DİYOT

Önceki bölümlerde oluşturulan PN birlesimine elektronik endüstrisinde “diyot” adı verilmektedir. Diyot, elektronik endüstrisinin temelini oluşturan en basit aktif devre elemanıdır. Üretici firmalar kullanıcının gereksinimine bağlı olarak farklı akım ve gerilim değerlerinde çalışabilecek şekilde binlerce tip diyot üretimi yapmışlardır.

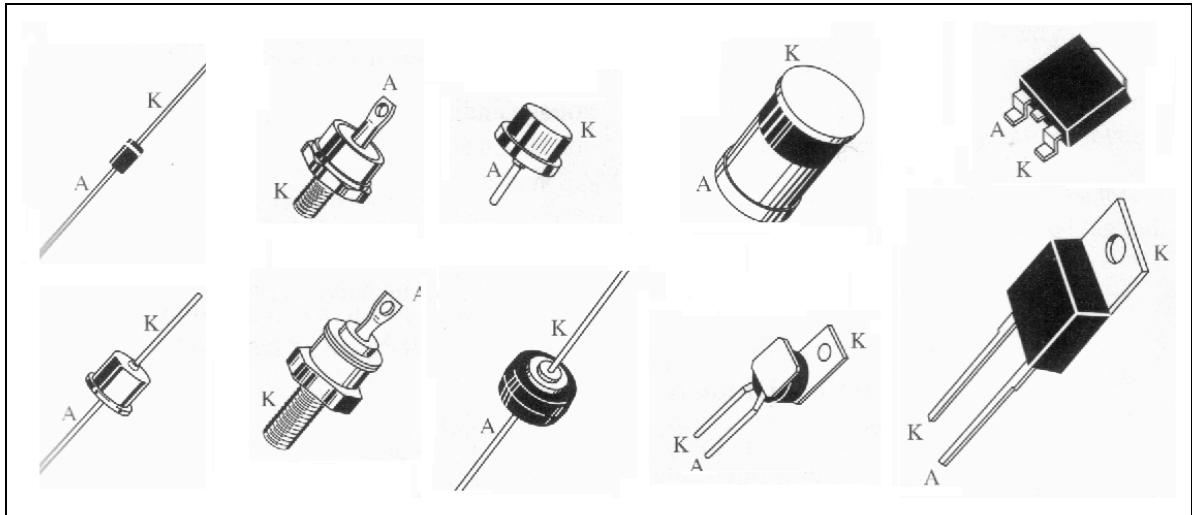
Bu bölümde diodun nasıl çalıştığını, akım-gerilim karakteristiklerini ayrıntılı olarak inceleyeceğiz. Bu bölümde sıra ile;

- Diyot sembolünü
- İdeal diyot modelini
- Pratik diyot modelini
- Diyot'un polarizasyonunu,
- Diyot'un V-I karakteristiğini
- Diyot direncini
- Diyotlarda yük doğrusu ve çalışma karakteristiğini
- Diodun sıcaklıkla ilişkisini

Öğreneceksiniz. Bu bölümde öğreneceğiniz temel çalışma prensipleri, ileriki bölümlerde diotlarla yapacağınız uygulama ve tasarımlara sizleri hazırlayacaktır.

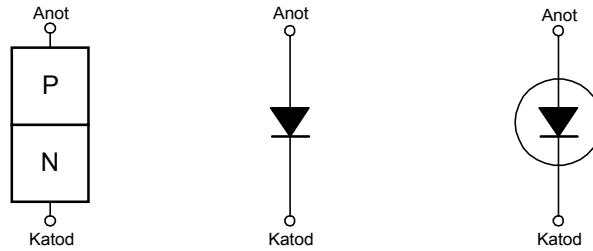
PN Bitişi ve Diyot

Bir önceki bölümde oluşturulan P ve N maddesinin birleştirilmesi, Diyot adı verilen yarıiletken devre elemanını meydana getirir. P ve N maddesinin birleştirilmesi işlemi, diyot üreticileri tarafından bir yüzey boyunca veya belirli bir noktada yapılabilir. Bu nedenle diotlara “nokta teması diyot” veya “yüzey bitişimli diyot” adı da verilebilir. Her iki tip diodun özellikleri ve çalışma karakteristikleri aynıdır. Dolayısı ile bu olay üreticileri ilgilendirir. Bizim bu konuyla ilgilenmemize gerek yoktur. Şekil-1.19’da elektronik endüstrisinde kullanılan diotların kılıf tipleri ve terminal isimleri verilmiştir.



Şekil-1.19 Diyot'larda kılıf tipleri ve terminal isimleri

Elektronik biliminde her devre elemanı sembollerle ifade edilir. Sembol tespiti bir takım uluslararası kurallara göre yapılmaktadır. Şekil-1.20’de diyot’un temel yapısı ve şematik diyot sembolleri verilmiştir.



Şekil-1.20 Diyot’un yapısı ve şematik diyot sembolleri

Şekil-1.20’de görüldüğü gibi diyot 2 terminalli aktif bir devre elemanıdır. Terminallerine işlevlerinden dolayı “**anot**” ve “**katod**” ismi verilmiştir. Anot terminalini P tipi madde, katod terminalini ise N tipi madde oluşturur.

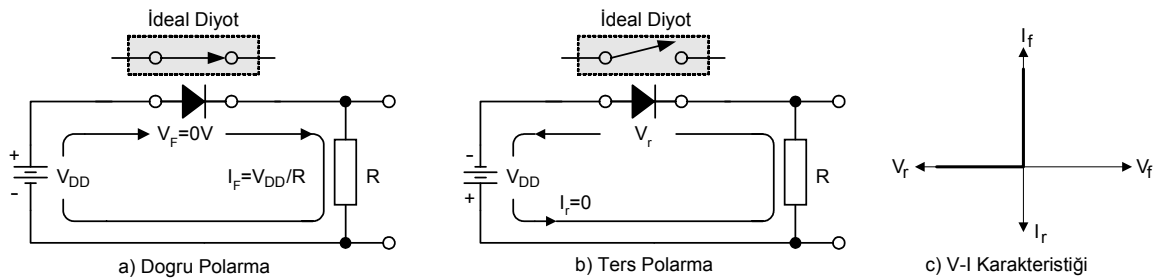
Bu bölümde genel amaçlı doğrultmaç diyotlarını ayrıntıları ile inceleyeceğiz. Elektronik endüstrisinde farklı amaçlar için tasarlanmış, işlevleri ve özellikleri farklılıklar gösteren diyotlarda vardır. Bu diyotlar, özel tip diyotlardır. İleriki bölümlerde incelenecektir.

İdeal Diyot Modeli

İdeal diyodu tek yönlü bir anahtar gibi düşünebiliriz. Anot terminaline göre; katot terminaline negatif bir gerilim uygulanan diyot, doğru (ileri) yönde polarmalandırılmış olur. Diyot, doğru yönde polarmalandığında kapalı bir anahtar gibi davranır. Üzerinden akım akmasına izin verir. Direnci minimumdur. Bu durum şekil-1.21..a’da görülmektedir.

Anot terminaline göre; katot terminaline pozitif bir gerilim uygulanan diyot ters yönde polarmalandırılmış olur. İdeal diyot ters yönde polarmalandırıldığında, açık bir anahtar gibi davranır. Üzerinden akım akmasına izin vermez ve direnci sonsuzdur.

Bu durum şekil-1.21.b’de gösterilmiştir. İdeal bir diyot’un Akım-gerilim karakteristiği ise şekil-1.21.c’de verilmiştir.



Şekil-1.21 İdeal diyot’un ileri ve ters polarmada davranışları

Pratik Diyot Modeli

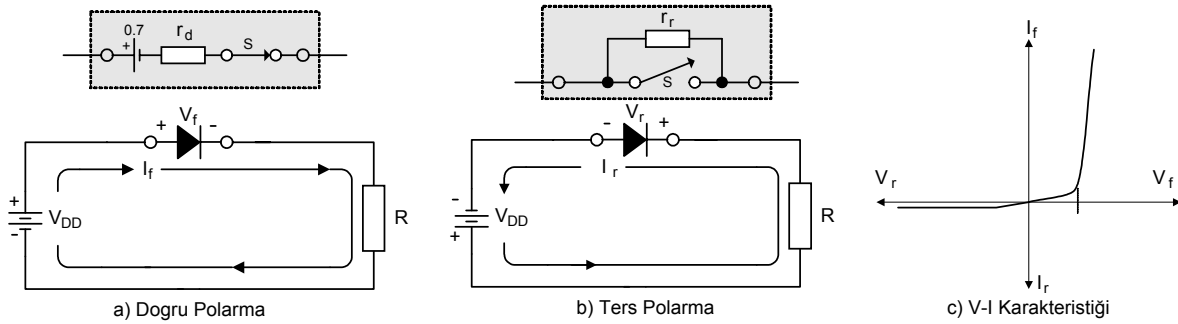
Pratik kullanımda diyot, ideal modelden farklı davranışlar sergiler. Örneğin; doğru polarıma altında kapalı bir anahtar gibi kısa devre değildir. Bir miktar direnci vardır. Bu nedenle üzerinde bir miktar gerilim düşümü oluşur. Bu gerilime “**diyot öngerilimi**” denir ve V_F veya V_D sembolize edilir. Bu gerilim değeri; silisyumda 0.7V, germanyumda ise 0.3V civarındadır. Gerçek bir diyot’un doğru polarıma altında modellenmesi şekil-1.22..a’da verilmiştir.

Ters yönde polarıma ise, açık bir anahtar gibi direnci sonsuz değildir. Bu nedenle üzerinden çok küçük bir miktar akım akar. Bu akıma “**sızıntı akımı**” denir ve I_R ile sembolize edilir. Sızıntı akımı çok küçük olduğundan pek çok uygulamada ihmal edilebilir.

Gerçek bir silisyum diyodun V-I karakteristiği ise şekil-1.22.c’de verilmiştir. Örneğin; şekil-1.22.a’da görülen doğru polarıma devresinde diyot üzerinden geçen ileri yön akım değeri I_F

$$I_F = \frac{V_{DD} - V_D}{R}$$

olarak belirlenir.



Şekil-1.22 Pratik bir diyot’un ileri ve ters polarıma davranışları

1.8 DİYOT KARAKTERİSTİKLERİ

Diyot karakteristiği; diyoda uygulanan polarıma gerilimi ve akımlarına bağılı olarak diyodun davranışını verir. Üretici firmalar; ürettikleri her bir farklı diyot için, gerekli karakteristikleri kullanıcıya sunarlar.

Bu bölümde;

- *Diyot’un V-I karakteristiğini*
- *Diyot direncini*
- *Yük doğrusu ve çalışma noktasını*
- *Diyot karakteristiğinin sıcaklıkla ilişkisini*

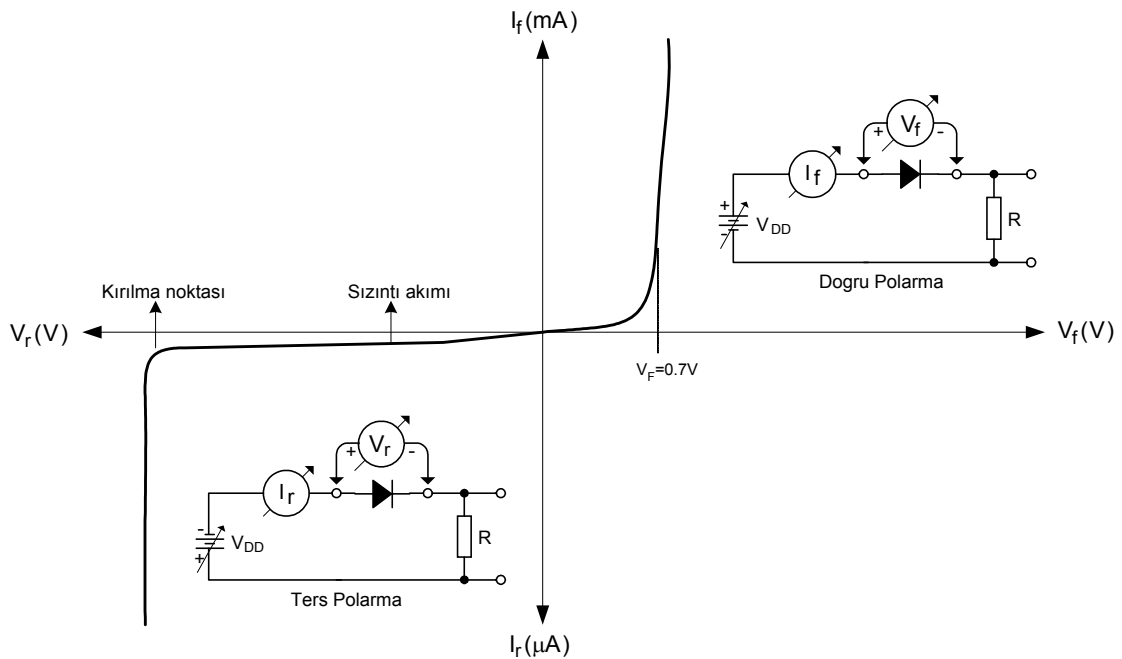
ayrıntılı olarak inceleyeceğiz.

Diyot'un V-I karakteristiği

Diyot'un V-I karakteristiği; diyot uçlarına uygulanan gerilimle, diyot üzerinden geçen akım arasındaki ilişkiyi gösterir. Diyot; doğru ve ters polarma altında farklı davranışlar sergiler. Genel kullanım amaçlı silisyum diyodun doğru ve ters polarmalar altındaki V-I karakteristiği şekil-1.23'de verilmiştir. Şekil-1.23 üzerinde diyodun V-I karakteristiğini çıkarmak için gerekli devre bağlantıları görülmektedir.

Diyot, doğru polarmanda iletimdedir. Ancak iletme başlama noktası V_D olarak işaretlenmiştir. Bu değerden sonra diyot üzerinden akan ileri yön I_F akımı artarken, diyot üzerine düşen gerilim yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Bu gerilim diyot öngerilimi olarak adlandırılır. Diyot öngerilimi silisyum bir diyot'da yaklaşık olarak 0.7V civarındadır.

Ters polarma altında ise; diyot üzerinden geçen akım miktarı çok küçüktür. Bu akıma "sızıntı akımı" denir. Sızıntı akımı, silisyum bir diyot'da birkaç nA seviyesinde, germanyum bir diyot'da ise birkaç μA seviyesindedir. Ters polarma altında diyot, belirli bir gerilim değerinden sonra iletme geçer. Üzerinden akan akım miktarı yükselir. Ters polarma altında diyot'u kırılıp iletme geçmesine neden olan bu gerilime "kırılma gerilimi" denir. Bu durum şekil-1.23 üzerinde gösterilmiştir.



Şekil-1.23 Silisyum diyot'un V-I karakteristiği

Diyot; kırılma geriliminde iletme geçmekte ve üzerinden akım akmasına izin vermektedir. Şekil-1.23'deki grafik dikkatlice incelenirse, diyot üzerinden akan akım arttığı halde, gerilim sabit kaldığı gözlenmektedir. Bu durum önemlidir. Üretici firmalar, bu durumu dikkate alarak farklı değerlerde kırılma gerilimine sahip diyotlar geliştirip, tüketime sunmuşlardır. Bu tür diyotlara "zener diyot" adı verilir. Zener diyotlar, ileri bölümlerde ayrıntılı olarak incelenecektir.

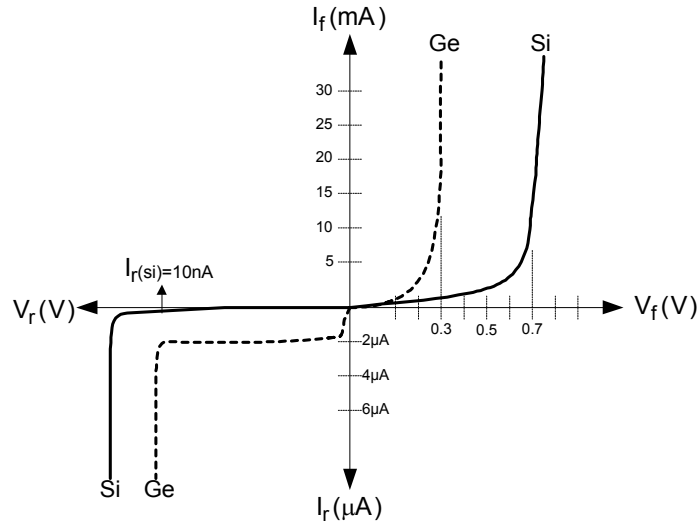
Şekil-1.23’de verilen diyot karakteristiğinde; diyot’un kırılıp akım akıtmaya başlaması, aşağıda verilen eşitlik ile açıklanabilir.

$$I = I_0 (e^{\frac{qV}{\eta kT}} - 1)$$

Bu formülde;

- I : Diyot akımını
- I_0 : Ters polarmada sızıntı akımını
- V : Diyot uçlarına uygulanan polarma gerilimini
- Q : Elektron şarj miktarını (Coulomb olarak)
- T : pn birleşim sıcaklığını (K cinsinden)
- K : Boltzman sabitini
- η : Metale bağımlı bir sabite (Ge:1, Si=2)

Silisyum ve germanyum diyotların akım-gerilim karakteristik eğrileri şekil-1.24’de birlikte verilmiştir. Görüldüğü gibi germanyum diyotların sızıntı akımı çok daha büyüktür. Bu nedenle günümüzde silisyum diyotlar özellikle tercih edilir. Germanyum diyotlar, ise öngerilimlerinin küçük olmaları nedeniyle (0.2-0.3V) özellikle alçak güçlü yüksek frekans devrelerinde kırpıcı olarak kullanılmaktadırlar.



Şekil-1.24 Silisyum ve germanyum diyot karakteristiklerinin karşılaştırılması

Diyot Direnci

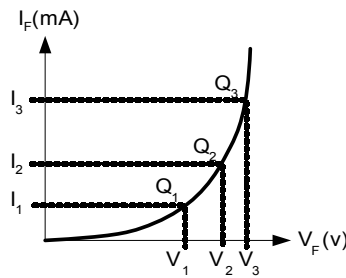
Diyot’un elektriksel olarak direnci; diyot uçlarındaki gerilimle diyot üzerinden geçen akımın oranına göre tayin edilir. Diyot direnci, karakteristiğinde görüldüğü gibi doğrusal değildir. Doğru polarma altında ve iletim halindeyken, direnci minimum 10Ω civarındadır. Ters polarma altında ve kesimdeyken ise $10M\Omega$ - $100M\Omega$ arasındadır. Diyodun doğru akım altında gösterdiği direnç değerine “statik direnç” denir. Statik direnç (r_s) aşağıdaki gibi formüle edilir.

$$r_s(\text{statik}) = \frac{V_D}{I_D}$$

Alternatif akım altında gösterdiği direnç değerine “**dinamik direnç**” denir. Dinamik direnç (r_D) aşağıdaki gibi formüle edilir.

$$r_D(\text{dinamik}) = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

Diyotlarda; dinamik veya statik direnç değerlerinin hesaplanmasında diyot karakteristiği kullanılır. Şekil-1.25’de silisyum bir diyodun ileri yön karakteristiği verilmiştir.



Şekil-1.25 Statik ve Dinamik diyot dirençlerinin belirlenmesi

Statik ve dinamik diyot dirençlerinin belirlenip formüle edilmesinde şekil-1.25’de görülen diyot karakteristiğinden yararlanılır. Şekilde görülen karakteristikte değişim noktaları Q₁, Q₂ ve Q₃ olarak işaretlenmiştir. Örneğin Q₁ ve Q₂ noktalarında diyot’un statik direnci;

$$r_s(Q_1) = \frac{V_1}{I_1}$$

$$r_s(Q_2) = \frac{V_2}{I_2}$$

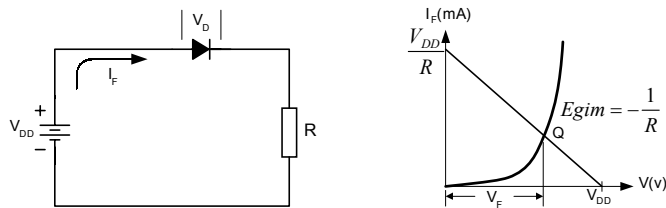
olarak bulunur. Diyot’un dinamik direnci ise, akım ve gerilimin değişmesi ile oluşan direnç değeridir. Örneğin Q₂ noktasındaki dinamik direnç değerini bulmak istersek, Q₂ noktasındaki değişimin (Q₁ .. Q₃ değişimi gibi) küçük bir değişimini almamız gerekir.

$$r_D = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{V_3 - V_1}{I_3 - I_1}$$

Elde edilen bu eşitlik ters polarmada da kullanılabilir.

Yük Doğrusu ve Çalışma Noktası

Diyot, direnç ve DC kaynaktan oluşan basit bir devre şekil-1.26.’da verilmiştir. Devrede diyot doğru yönde polarmalandırılmıştır.



Diyot ideal kabul edilirse devreden akacak akım miktarı;

$$I_F = \frac{V_{DD}}{R}$$

olacağı açıktır. Gerçek bir diyot kullanıldığında ise; devreden akacak I akımı miktarına bağlı olarak diyot uçlarında V_D ile belirlenen bir diyot öngerilimi oluşacaktır. Bu gerilim değeri lineer değildir. Bu gerilim değerinin;

$$V_F = V_{DD} - I_F \cdot R$$

olacağı açıktır. Ayrıca devreden akan akacak olan I_D akımı değerinin V_{DD} gerilimine bağlı olarak da çeşitli değerler alacağı açıktır. Çeşitli V_{DD} değerleri veya I_F değerleri için, diyot ön gerilimi V_D 'nin alabileceği değerler diyot karakteristiği kullanılarak bulunabilir. V_{DD} geriliminin çeşitli değerleri için devreden akacak olan I_F akım değerleri bulunup karakteristik üzerinde işaretlenir ve kesişim noktaları birleştirilirse şekil-1.26'da görülen eğri elde edilir. Bu eğriye yük doğrusu denilir.

Yük doğrusu çizimi için;

| | | |
|--------------|----------------|------------------|
| $I_F=0$ için | $V_F=V_{DD}$ | (Diyot yalıtkan) |
| $V_F=0$ için | $I_F=V_{DD}/R$ | (Diyot iletken) |

Bulunan bu değerler karakteristik üzerindeki koordinatlara işaretlenir. İşaretlenen noktalar karakteristik üzerinde birleştirilirse yük doğrusu çizilmiş olur. Bu durum şekil-1.26 üzerinde gösterilmiştir. Diyot karakteristik eğrisinin yük çizgisini kestiği nokta Q çalışma noktası olarak bilinir. Yük çizgisinin eğimi ise $-1/R$ 'dir.

Şekil-1.26'da verilen devreye bağlı olarak yük doğrusu bir defa çıkarıldıktan sonra V_{DD} 'nin herhangi bir değeri için akacak akım miktarı ve buna bağlı olarak R direnci uçlarında oluşabilecek gerilim değeri kolaylıkla bulunabilir. Yük doğrusu ve çalışma noktasının tayini; diyot'u özellikle hassas kullanımlarda duyarlı ve pratik çalışma sağlar.

Sıcaklık Etkisi

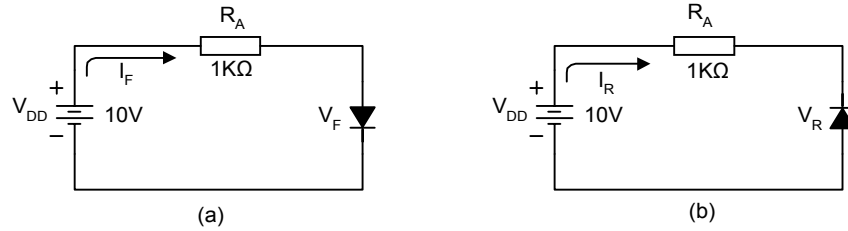
Diyot karakteristiği ile ilgili bir diğer faktör ise sıcaklıktır. Üretici firmalar diydun karakteristik değerlerini genellikle 25°C oda sıcaklığı için verirler. Diyot'un çalışma ortamı ısısı, oda sıcaklığından farklı değerlerde ise diyot öngeriliminde ve sızıntı akımında bir miktar değişime neden olur.

- Diyot öngerilimi V_F ; her 1°C 'lik ısı artışında yaklaşık 2.3mV civarında azalır.
- Diyot sızıntı akımı I_0 ; her 10°C 'lik ısı artışında yaklaşık iki kat olur.

Diyot'un ısı değişimine karşı gösterdiği duyarlılık oldukça önemlidir. Örneğin bu duyarlılıktan yararlanılarak pek çok endüstriyel ısı ölçümünde ve kontrolünde sensör olarak diyot kullanılır.

Örnek:1.1

- a)** Şekil-1.27.a’da verilen devre için diyot üzerinden akan ileri yön akımını ideal ve pratik bir silisyum diyot için bulunuz.
- b)** Şekil-1.27.b’de verilen devre için ters yön gerilim ve akım değerlerini ideal ve pratik bir silisyum diyot için bulunuz. Diyot ters yön akımı $I_R=1\mu A$



Şekil-1.27.a ve b Diyot devreleri

Cözüm:1.1

- a)** İdeal Diyot Modeli;

$$V_F = 0V$$

$$I_F = \frac{V_{DD}}{R_A} = \frac{10V}{1K\Omega} = 10mA$$

$$V_A = I_F \cdot R_A = (10mA) \cdot (1K\Omega) = 10V$$

Pratik Diyot Modeli;

$$V_F = 0.7V$$

$$I_F = \frac{V_{DD} - V_F}{R_A} = \frac{10V - 0.7V}{1K\Omega} = 9.3mA$$

$$V_A = I_F \cdot R_A = (9.3mA) \cdot (1K\Omega) = 9.3V$$

- b)** İdeal Diyot Modeli;

$$I_R = 0A$$

$$V_R = V_{DD} = 10V$$

$$V_{RA} = 0V$$

Pratik Diyot Modeli;

$$I_R = 1\mu A$$

$$V_{RA} = I_R \cdot R_A = (1\mu A) \cdot (1K\Omega) = 1mV$$

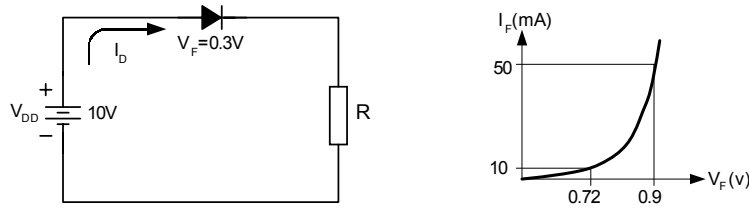
$$V_R = V_{DD} - V_{RA} = 10V - 1mV = 9.999V$$

c)

d)

**Örnek:
1.2**

- a) Şekil-1.28’de verilen devrede germanyum diyet kullanılmıştır. Diyet’ün dayanabileceği maksimum akım değeri 100mA olduğuna göre R direncinin minimum değeri ne olmalıdır? Diyet ve direnç üzerinde harcanan güçleri bulunuz?
- b) Aynı devrede verilen diyet karakteristiğini kullanarak diyet’ün ac dinamik direncini bulunuz?



Şekil-1.28 Diyet devresi ve V-I karakteristiği

Cözüm:

a)

$$V_{DD} = I_D \cdot R + V_D$$

$$R = \frac{V_{DD} - V_D}{I_D} = \frac{10V - 0.3V}{100mA} = 97\Omega$$

Direnç ve diyet üzerinde harcanan güçleri hesaplayalım.

$$P_R = (I_F)^2 \cdot R = (100mA)^2 \cdot (97\Omega) = 0.97W$$

$$P_D = (I_F) \cdot (V_D) = (100mA)^2 \cdot (0.3V) = 0.03W = 30mW$$

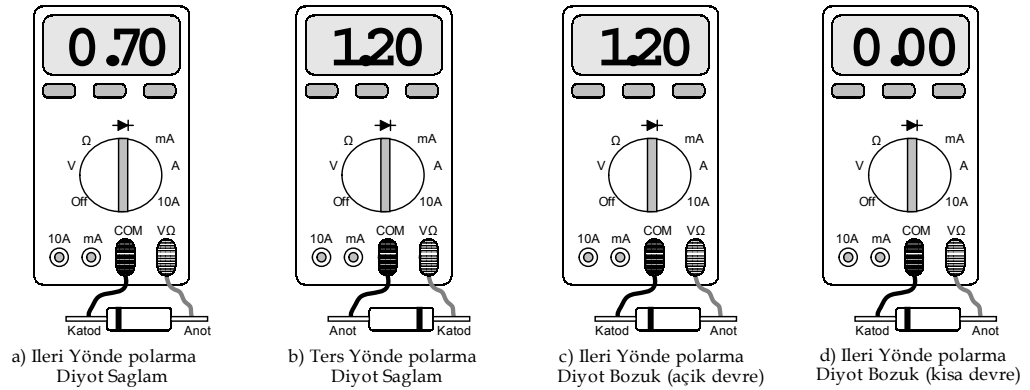
b) İleri yön karakteristiği verilen diyet’ün ac dinamik direnç değeri;

$$r_D = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{0.9V - 0.72V}{50mA - 10mA} = \frac{0.18V}{40mA} \quad r_D = 4.5\Omega$$

Diyot Testi

Diyot, sayısal veya analog bir multimetre yardımıyla basitçe test edilebilir. Analog bir multimetre ile ölçme işlemi Ω konumunda yapılır. Sağlam bir diyet’ün ileri yön direnci minimum, ters yön direnci ise sonsuz bir değerdir. Test işlemi sonucunda diyet’ün anot-katod terminalleri de belirlenebilir.

Şekil-1.29’da diyet’ün sayısal bir multimetre yardımıyla nasıl test edileceği gösterilmiştir. Test işlemi sayısal multimetrenin “Diyot” konumunda yapılır. Multimetrenin gösterdiği değer diyet üzerindeki öngerilimdir. Bu gerilim; doğru polarmada silisyum diyetlerde 0.7V civarındadır. Germanyum diyetlerde ise 0.3V civarındadır. Ters polarmada her iki diyet tipinde multimetrenin pil gerilimi (1.2V) görülür.



Şekil-1.25 Sayısal multimetre ile diyot testi

1.9 BÖLÜM ÖZETİ

- Doğadaki tüm maddeler atomlardan oluşur. Klasik bohr modeline göre atom 3 temel parçacıktan oluşur. Proton, nötron ve elektron.
- Atomik yapıda nötron ve protonlar merkezdeki çekirdeği oluşturur. Elektronlar ise çekirdek etrafında sabit bir yörüngede dolaşırlar. Protonlar pozitif yüklüdür. Nötronlar ise yüksüzdür.
- Elektronlar, çekirdekten uzakta belirli yörüngelerde bulunurlar ve negatif yüklüdürler. Yörüngedeki elektronlar atom ağırlığı ve numarasına bağlı olarak belirli sayılardadırlar.
- Atomun yörüngeleri K-L-M-N olarak adlandırılırlar. Bir atomun son yörüngesindeki elektron miktarı 8'den fazla olamaz.
- Atomun son yörüngesindeki elektronlar "valans elektron" olarak adlandırılırlar. Valans elektronlar maddenin iletken, yalıtkan veya yarıiletken olarak tanımlanmasında etkindirler.
- Yarıiletken materyaller 4 adet valans elektrona sahiptir. Elektronik endüstrisinde yarıiletken devre elemanlarının üretiminde silisyum ve germanyum elementleri kullanılır.
- Silisyum veya germanyum elementlerine katkı maddeleri eklenerek P ve N tipi maddeler oluşturulur. P ve N tipi maddeler ise elektronik devre elemanlarının üretiminde kullanılırlar.
- P ve N tipi maddelerin birleşimi diyot'u oluşturur. Birleşim işlemi bir noktada yapılabilirdiği gibi yüzey boyunca da yapılabilir. Bu nedenle diyotlar genellikle yüzey birleşimli veya nokta temaslı olarak imal edilirler. Her iki tip diyot'unda temel özellikleri aynıdır.

- Diyot elektronik endüstrisinin en temel devre elemanlarından biridir. İki adet terminale sahiptir. N tipi maddeden oluşan terminale Katot, P tipi maddeden oluşan terminale Anot ismi verilir.
- Diyot iki temel çalışma biçimine sahiptir. Bunlar İletim ve kesim modunda çalışmadır.
- Diyot'un anoduna; kataduna nazaran daha pozitif bir gerilim uygulanırsa diyot iletim bölgesinde çalışır ve iletkenidir. Diyot'un anoduna; kataduna nazaran daha negatif bir gerilim uygulanırsa diyot kesim bölgesinde çalışır yalıtkandır.
- İletim bölgesinde çalışan bir diyot üzerinde bir miktar gerilim düşümü oluşur. Bu gerilime "**diyot öngerilimi**" denir. Diyot öngerilimi silisyum bir diyot üzerinde yaklaşık 0.7V, Germanyum bir diyot üzerinde ise yaklaşık 0.3V civarındadır.
- Diyot öngerilimi bir miktar diyot'un çalışma ortamı ısısına bağlıdır. Diyot öngerilimi 1°C sıcaklık artmasına karşın yaklaşık 2.3mV azalır.
- Kesim bölgesinde çalışan bir diyot, pratik olarak açık devre (direnci sonsuz) değildir. Üzerinden çok küçük bir miktar akım akar. Bu akıma "**sızıntı akımı**" denir. Bu değer nA ile μA 'ler mertebesinde.
- Sızıntı akım değeri germanyum diyotlarda silisyum diyotlardan bir miktar daha fazladır. Sızıntı akımı diyot'un çalışma ısısından etkilenir. Örneğin her 10°C sıcaklık artışında sızıntı akımı yaklaşık iki kat olur.
- Analog veya sayısal bir ohmmetre kullanılarak diyotların sağlamlık testi yapılabilir. Test işlemi sonucunda ayrıca diyot'un anot ve katot terminalleri belirlenebilir.