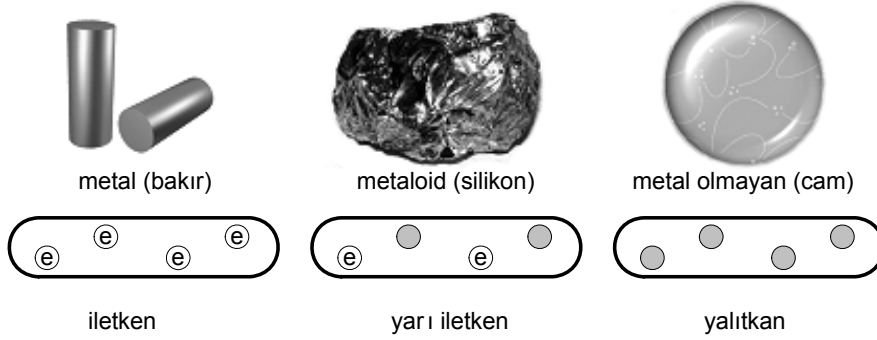


YARI İLETKENLER

Enstrümantal Analiz

Bir yarı iletken, iletkenliği bir iletken ile bir yalıtkan arasında olan kristal bir malzemedir. Çok çeşitli yarıiletken malzeme vardır, silikon ve germanyum, metalimsi bileşikler (silikon karbür gibi), ve çeşitli organik bileşikler bunlardan bazılarıdır. Elektronik aletlerin yapımında kullanılan iki önemli yarıiletken malzeme kristal silikon ve germanyumdur; incelemelerimiz bu yarıiletkenleri kapsayacaktır.



Tanımlar

p-n Bağlantısı: p-tip ve n-tip yarı iletken malzemeler arasındaki sınır.

Diyot: Sadece bir yönde akım geçmesine olanak veren bir elektronik alet.

Engel (Bariyer) Potansiyeli: Bir p-n bağlantı diyotunun tüketme bölgesindeki potansiyel.

Düz (Forward) Bias: Bir diyotun akım ilettiği koşul.

Ters (Reverse) Bias: Bir diyotun akımı engellediği koşul.

Fotodiyot: Ters direnci, gelen ışıkla değişen bir diyottur.

1. Silikon ve Germanyum Yarıiletkenler

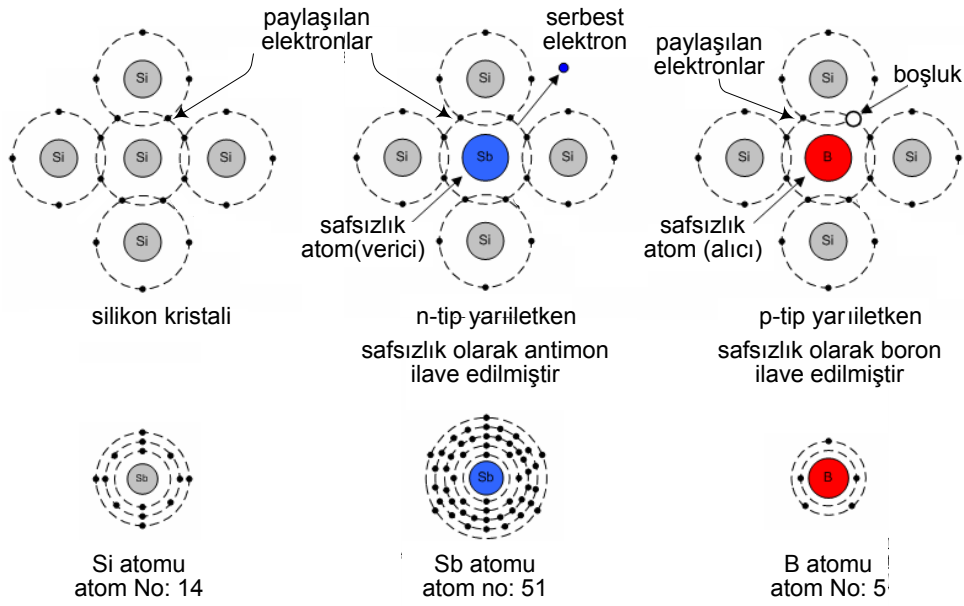
Silikon ve germanyum IV.Grup elementlerindedir ve bağ yapabilen dört valans elektronları bulunur. Silikon kristalinde bir silikon atomunun her bir elektronu, diğer bir silikon atomunun bir elektronu ile kovalent bağ oluşturduğundan hareketsizdir. Buna göre kristal silikonda serbest elektron bulunmaz, ve maddenin bir yalıtkan özelliği göstermesi beklenir. Gerçekte ise oda sıcaklığında, bir elektronun serbest kalmasına yetecek kadar ısı çalkalanma vardır, böylece bağlardan kopan bir elektron kristal dokusu içinde dolaşır ve elektriği iletir. Bir elektronun bu şekilde ısı "uyarılması" pozitif yüklü bir bölgenin oluşmasına yol açar, buna "boşluk" denir ve silikon atomunu belirtir. Boşluk da hareketlidir, ve kristalin elektrik iletimine yardımcı olur. Boşluğun hareket mekanizması kademelidir; elektronca zayıf bölgeye, komşu silikon atomundan bağlı bir elektron atlar ve kendi yerinde pozitif bir boşluk bırakır. Bıraktığı boşluğa, oradaki atomun yanındaki atomdan yeni bir elektron atlaması ile olay devam eder. Böylece elektron hareketinin ters yönüne doğru boşluk oluşması devam eder. Bu açıklamaya göre, bir yarıiletkenin iletkenliği ısı elektronun bir yönde, boşlukların ise diğer yöndeki hareketlerinden kaynaklanır.

Bir silikon veya germanyum kristalinin iletkenliği "doping" yapılarak çok fazla artırılabilir. Doping, ufak ve miktarı kontrol edilebilen bir safsızlığın kristal yapısına sokulmasıdır. Bir silikon yarıiletkene konulan doping maddesi arsenik veya antimon gibi bir V. grup elementi, veya indiyum veya galyum gibi bir III. grup elementi olabilir.

Donor (Verici) veya n-Tip Safsızlık: Bir V. grup elementi atomunun kristal örgüsündeki bir silikon atomu ile yer değiştirmesi durumunda, yapıya bir tane bağlı olmayan elektron konulmuş olur; elektronun kristalde dolaşması için çok az bir ısı enerjisi gereksinim vardır. Bu elektronun ayrılmasıyla geride kalan pozitif atom (V. grup elementinin atomu), hareket edebilen bir boşluk görevi yapamaz, çünkü kovalent silikon bağından buradaki bağımsız konuma bir elektronun geçme eğilimi çok azdır. Doping yapılmış bir yarıiletkene, bağlı olmayan elektronlar içerdiğinden "n-tip" veya negatif tip yarıiletken denir, çünkü akımın "başlıca (salt) taşıyıcıları" elektronlardır. Bu tip bir yarıiletkende hala pozitif boşluklar vardır, ancak sayıları elektronların sayılarına kıyasla çok azdır; yani, n-tip bir yarıiletkende boşluklar akımın "azınlık taşıyıcıları" dır.

Akseptör (Alıcı) veya p-Tip Safsızlık: Silikonun, sadece üç valans elektronu bulunan bir III. grup elementi ile doping yapılması durumunda "p-tip" veya pozitif

tip yarıiletken meydana gelir. Safsızlık atomunun boş orbitaline, yanındaki silikon atomlarından elektronların atlamasıyla pozitif boşluklar oluşur. Bu işlemle III. grup atomu pozitif yüklenir. Boşluklar silikon atomundan silikon atomuna geçerek ilerler; böylece, çoğunun taşıyıcısının pozitif olduğu bir akım oluşur. Pozitif boşluklar serbest elektronlardan daha az hareketlidirler; buna göre bir p-tip yarıiletken bir n-tip yarıiletkenden daha zayıf bir iletkenidir.



http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_1.html

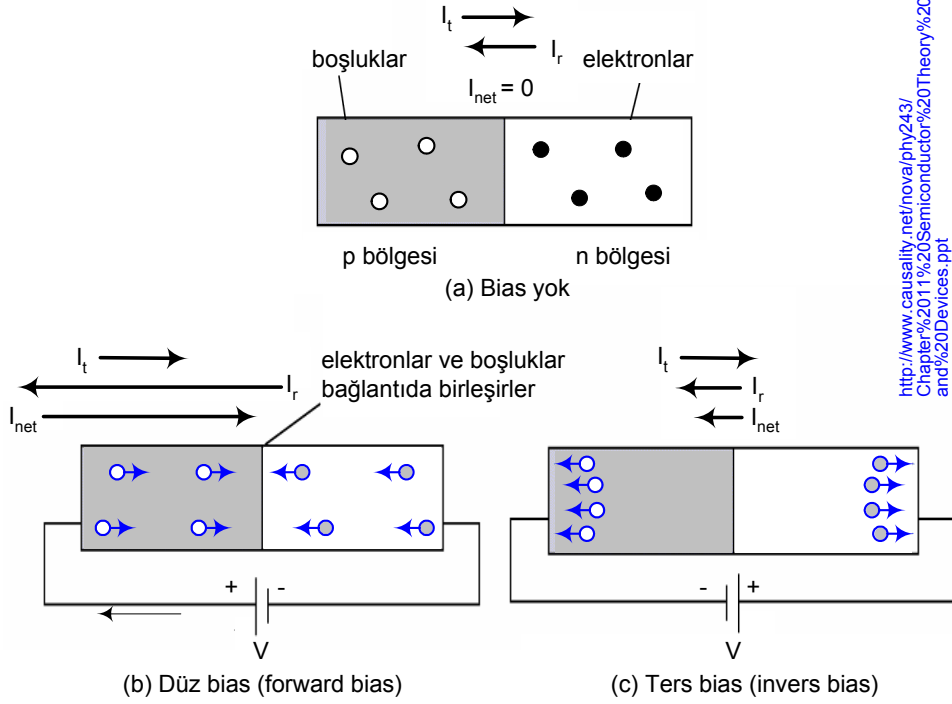
Saf silikon kristali, verici safsızlık antimon atomu ve alıcı safsızlık bor atomunun yapısını ve yarı iletkenlerin dokusunu gösteren diyagramlar

2. Yarı İletken Diyotlar

Bir "diyot", bir yöndeki iletkenliği diğer yönden daha büyük olan bir sistemdir. Tek bir germanyum, veya silikon kristali içinde birbirine bileşik n- ve p-tip bölgeler oluşturularak çok faydalı diyotlar yapılmaktadır; bölgeler arasındaki yüzeye pn bağlantısı denir.

Bir pn Bağlantısının Özellikleri

Şekil (a)'da bir pn bağlantısının kesiti görülmektedir; bu tip bir bağlantı p bölgesinden n bölgesine pozitif yük (veya ters yönde negatif yük) akmasını sağlar; diğer yönde (n den p ye) pozitif yük akmasına karşı büyük bir direnç gösterir, bu bağlantıya "akım rektifieri (doğrultmaç)" adı verilir.



Şekil (b)'de, bir potansiyel uygulanarak p bölgesinin n bölgesine göre pozitif yüklendiği durumdaki elektrik iletimi mekanizması gösterilmiştir; bu işleme "düz-bias" gerilimi denir.

Düz bias (forward bias): $V_{uygulanan} > 0$

p bölgesindeki pozitif boşluklar ve n bölgesindeki fazla elektronlar (yani, her iki bölgedeki başlıca taşıyıcılar) elektrik alanının etkisiyle bağlantıya doğru hareket ederler, ve birbirleriyle birleşerek yok olurlar. Bataryanın negatif ucu n bölgesine yeni elektronlar verir, bunlar tekrar iletme işlemini sürdürürler; bataryanın pozitif

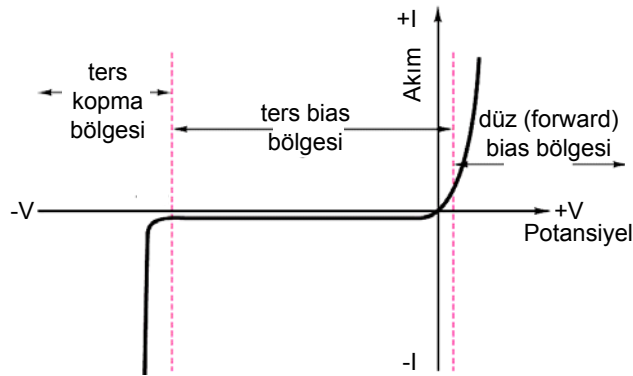
ucu ise p bölgesinden elektron çekerek, pn bağlantısına doğru hareket eden yeni boşluklar yaratır.

Ters bias (reverse bias): $V_{uygulanan} < 0$

Diodda "ters-bias" gerilimi varsa (Şekil-c) her iki bölgedeki başlıca taşıyıcılar bağlantıdan uzaklaşacak yönde hareket ederler, böylece geride birkaç yükün bulunduğu bir "eksiltme tabakası" bırakırlar. Her iki bölgede de sadece bağlantıya doğru hareket eden ve böylece bir akım taşıyan çok az konsantrasyondaki azınlık taşıyıcılar kalır. Böylece, ters-bias gerilimi altındaki iletim düz-bias altındakinin $10^{-6} - 10^{-8}$ katı kadar olur.

Yarı İletken Diyotlar İçin Akım-Voltaj Eğrileri

Aşağıdaki şekilde tipik bir yarıiletken diyotun forward (düz) ve ters-bias altındaki davranışı gösterilmiştir. Düz-biasda akım voltajla hemen hemen eksponensiyel olarak artar; bir kaç amperlik akımlar gözlenir. Ters-bias altında ise, bir voltaj aralığı boyunca mikro amper seviyesinde bir akım gözlenir; bu bölgede iletkenlik azınlık taşıyıcılarca sağlanır. Bu ters akımın önemi yoktur. Ters potansiyel artırıldığında, yine de hızla ters akımın aşırı derecede arttığı "kopma" voltajına ulaşılır. Burada, yarıiletkenin kovalent bağlarının kopmasıyla meydana gelen boşluklar ve elektronlar alan tarafından hızlandırılarak çarpışmayla yeni elektronlar ve boşluklar oluştururlar.



http://spider.cs.ntou.edu.tw/yeri/Electronic981/Chapter_9_Lecture_PowerPoint.ppt

Bir silikon yarıiletken diodun akım voltaj özellikleri

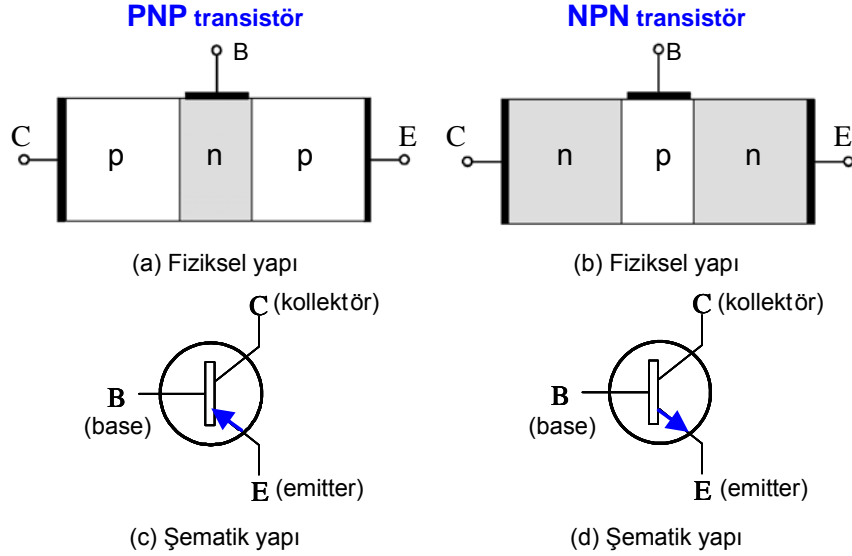
Ayrıca bağlantı tabakası arasında, elektronların kuantum mekaniği tüneli de iletkenliğin artmasına yardım eder. Bu iletkenlik ısıtma etkisiyle diyotu tahrip edecek kadar yüksektir. Ters-bias altında akımda ani artışa neden olan voltaja "Zener kopma voltajı" denir. Bağlantı tabakasının tipinin ve kalınlığının kontrol edilmesiyle birkaç volttan birkaç yüz volta kadar Zeener Voltajları alınabilir. Bu olaydan elektronikte çok yararlanılır.

3. Transistörler

Transistör yarıiletken kuvvetlendirme aletidir ve bir vakum kuvvetlendirme tüpü ile aynı işlevi yapar; yani, giriş sinyalinden daha büyük bir çıkış sinyali oluşmasını sağlar. Bir kaç tip transistör bulunur; bunlardan en çok kullanılan "bipolar" ve "alan-etki transistörü" üzerinde durulacaktır.

Bipolar (İki Kutuplu) Transistörler

Bipolar transistörler sırt-sırtta yerleştirilmiş iki yarıiletken diodtur. pnp transistörde n-tip bir bölge iki p-tip bölge arasında sıkıştırılmıştır; npn tip transistör bunun tersi bir yapıdadır. Bipolar transistörler çeşitli şekillerde hazırlanabilir, bunlardan ikisi aşağıdaki şekle gösterilmiştir.



Tüm transistörlerin genel görünümü:

- Küçüktürler.
- Fazla dopingli dış tabakalardan küçüğüne "emitter" büyüğüne "kolektör" denir.
- İnce (~ 0.02 mm), hafif dopingli "base" tabakası, emitter ile kolektörü birbirinden ayırır.
- Üç bölge arasında mekanik ve elektrik bağlantısı vardır.

Bir alaşım bağlantı pnp transistörü, çoğunlukla, n-tip bir germanyum çipten yapılır. Çipin her iki tarafı üzerine, indiyum gibi, bir III.Grup metali pelletleri konulur ve pelletler ergiyip germanyum içinde çözününceye kadar ısıtılır. Soğutulup kristallendirilir. Böylece, ince bir tabaka n-dopingli germanyumun iki tarafında, iki tane yüksek dopingli p-bölgesi oluşturulur.

Tipik bir düzlemsel npn transistörü, silikon dioksit ile kaplanmış ince bir n-tip silikon yaprakтан hazırlanır. Yaprak oksijen atmosferinde ısıtılarak bir oksit tabakası şeklinde çöktürülür. p-tip base bölgesini yapmak için, oksid yüzey üzerinde daire şeklinde bir girinti yapılır; sonra, kristal ısıtılır ve boron buharlarına tutularak difüzyonla hafif dopingli, p-tip bölgenin oluşması sağlanır. Tabaka tekrar oksitlenerek yeniden yüzey filmi oluşturulur, sonra orijinal dairenin içine daha küçük bir daire girintisi çizilir. Bu dairesel girintinin, kristalin ısıtılıp fosfor buharlarına tutulmasıyla, difüzyonla yüksek dopingli, n-tip emitter bölge oluşturulur.

pnp ve npn tip transistörlerin sembolleri şekilde gösterilmiştir. Emitter bağlantısındaki ok pozitif yük akımının yönünü gösterir. Buna göre, pozitif yük pnp tipte emitterden base'e, npn tipte ise base'den emittere doğru akar.

Bir Bipolar Transistörün Elektriksel Özellikleri

Bu kısımda bir pnp-tip bipolar transistörün davranışları incelenecektir. npn-tip bir transistör de, elektrik akış yönünün ters olması dışında, aynı davranışları gösterir.

Elektronik bir sistemdeki bir transistörün uçlarından biri girişe bağlanır, ikinci uç çıkış görevi yapar; üçüncü uç ilk iki uca bağlıdır ve "genel" uçtur. Bu durumda üç şekil olabilir: bir genel-emitter, bir genel-kolektör, ve bir genel-temel şekli. Genel-emitter en çok uygulanan bağlantı şeklidir ve burada detaylı olarak incelenecektir.

Genel-emitter şeklindeki bir pnp transistörünün akımı yükseltmesi şematik olarak şekilde verilmiştir. Burada, yükseltilecek küçük bir DC giriş akımı (I_B), emitter-base devresine girer; bu akım şekilde base akımı olarak gösterilmiştir. Daha sonra görüleceği gibi, alternatif akım da I_B ile seri halde verilerek, yükseltilebilir. Yükseltildikten sonra, DC bileşeni bir yüksek-frekans filtresi ile uzaklaştırılır.

Bir emitter-kollektör devre, bir seri batarya veya rektifierden oluşan bir DC kaynağı veya güç kaynağından beslenir. Tipik bir güç kaynağı 9-30 V arasında potansiyel verir.

Kollektör veya çıkış akımı I_C , base giriş akımı I_B 'den oldukça büyüktür. Kollektör akımın büyüklüğü, giriş akımı ile doğru orantılıdır

$$I_C = \alpha I_B$$

Orantı sabiti α 'ya "akım kazancı" denir, akım kuvvetlenmesinin bir ölçüsüdür. Kollektör akım emitter akımla da orantılıdır.

$$I_C = \alpha I_E$$

Buradaki orantı sabiti α 'ya "düz akım transfer oranı" denir.

$$I_E = I_B + I_C$$

Olduğundan,

$$a = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

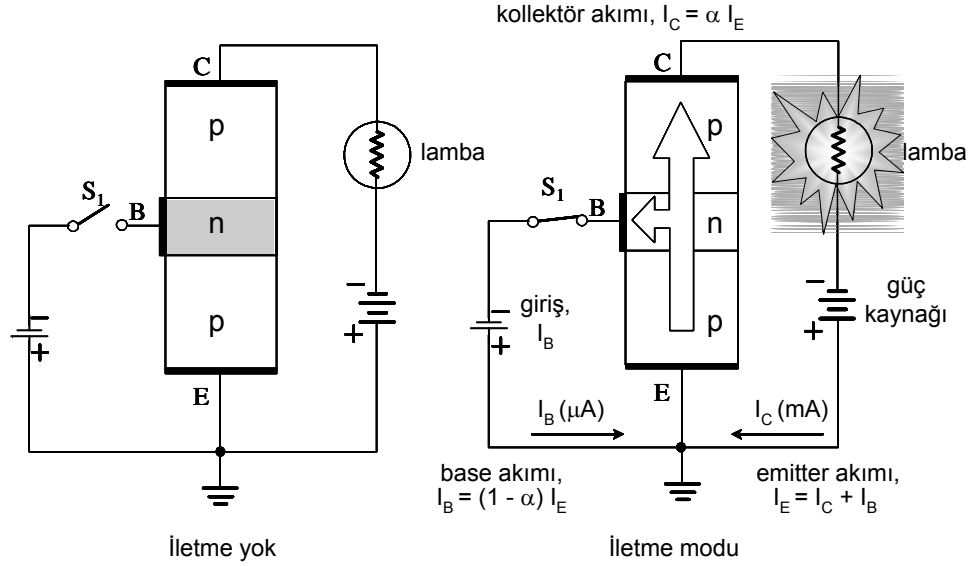
eşitliği yazılabilir. Tipik bir transistörde α , 20-200 aralığında bir değerdir.

Bir Bipolar Transistör ile Kuvvetlendirme (Amplifikasyon) Mekanizması

Şekilde görülen transistörün emitter-base yüzeyleri arası bir forward-biaslı pn, base-kollektör bölge ise bir ters-biaslı np bağlantısıdır. Onda birkaç voltluk bir giriş sinyali uygulandığında forward-biaslı bağlantıdan bir I_B akımı akar. Tersine, ters biaslu kollektör base bağlantısının uçları arasından elektrik geçişi, başlıca taşıyıcıların bağlantıdan uzaklaşmasıyla, engellenir.

Forward-biaslı pn bağlantısında, p bölgesindeki boşlukların sayısı, n bölgesindeki hareketli elektronların sayısına hemen hemen eşittir. Bu nedenle, hareketliliklerin-

deki küçük farklılık dışında, dioddaki iletim yüklü iki tip arasında az veya çok eşit olarak paylaşılır.



http://www.usna.edu/EE/ee452/LectureNotes/02-_CMOS_Process_Steps/07_CMOS_Device_Types.ppt

Bir pnp transistörlü devredeki akımlar: $\alpha = 20-200$

Bir pnp transistörünün p bölgesinin n bölgesinden daha fazla dopingli olduğu biliniyor. Bu nedenle, p bölgesindeki boşlukların konsantrasyonu, n tabakasındaki hareketli elektronların konsantrasyonundan yüz kat veya daha fazladır. Bu durumda, bu pn bağlantısındaki boşlukların akım-taşıma kapasitesi, elektronların kapasitesinden belki yüz kat daha büyük olur.

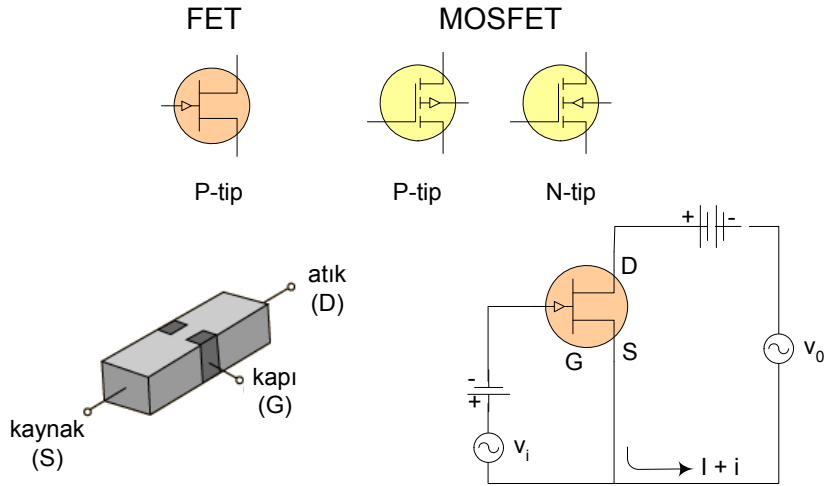
İki DC kaynağının (giriş bataryası ve güç kaynağı) çıkardığı elektronlar p-tip emitter bağlantıda boşluklar oluşturur. Bu boşluklar sonra, çok ince n-tip base bölgesine girer ve burada bazıları giriş kaynağından gelen elektronlarla birleşir; sonuçta, I_B akımı oluşur. Boşlukların çoğu ise dar base tabakasına çekilerek negatif yüklü kolektör-bağlantıya gider ve burada güç kaynağından gelen elektronlarla birleşir; sonuçta, I_C kolektör akımı oluşur.

Kollektör akımının büyüklüğü, emitterdeki akım-taşıyıcı boşlukların sayısına bağlıdır. Bu sayı, giriş base akımı tarafından çıkarılan elektronların bir sabitle çarpımı kadardır. Bu nedenle, base akımı iki-kata çıkarılırsa, kollektör akımı da iki kat yükselir. Bu bağıntı bir bipolar transistörün akım yükseltme mekanizmasının temelini oluşturur.

Alan Etki Transistörleri (FET)

İntegre devrelerde çok kullanılan birkaç tip alan-etki transistörü (FET) geliştirilmiştir. Bunlardan birisi amplifikatörlerin giriş direncini yükseltmek amacıyla yapılmış olan izole-girişli alan etki transistördür ve giriş impedansları 10^9 - 10^{14} aralığında bulunur. Bu tip bir transistör, "metal oxide semiconductor field-effect transistor" kelimelerin baş harfleri alınarak MOSFET sözcüğüyle tanımlanır.

Şekilde n-doplu bir FET'in yapısı gösterilmiştir. Burada bir p-tip madde içinde iki izole n bölgesi oluşturulmuştur. Her iki bölge ince bir izole edici silikon dioksit tabakasıyla kaplanmış, bu tabaka da koruyucu bir silikon nitrid tabakasıyla sarılmıştır. Bu tabakalar arasında boşluklar oluşturularak iki n-bölgesine elektrik teması yapılmıştır. Ayrıca madde ile izole tabakası yüzeyinin teması da sağlanmıştır. İkinciye "kapı" denir, çünkü bu elektrotun potansiyeli "atık" ile "kaynak" arasındaki pozitif akımın büyüklüğünü saptar. Kapı teli ve madde arasındaki silikon dioksit izolasyon tabakası, bir FET'in yüksek impedansının nedenini açıklar.



Yararlanılan Kaynaklar

Principles of Instrumental Analysis, D.A.Skoog, D.M. West, II. Ed. 1981

http://spider.cs.ntou.edu.tw/yen/Electronic981/Chapter_9_Lecture_PowerPoint.ppt

<http://www.causality.net/nova/phy243/Chapter%2011%20Semiconductor%20Theory%20and%20Devices.ppt>

http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_1.html

http://www.usna.edu/EE/ee452/LectureNotes/02-_CMOS_Process_Steps/07_CMOS_Device_Types.ppt