



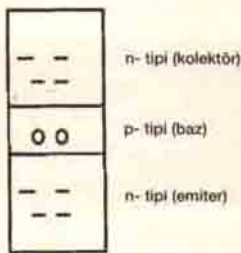
# Düşünen Devreler Çipler

Elektronikle ilgilenenler, kurdukları birçok devrede bir transistör kullanmışlardır. Biraz karmaşık işlemler yapan bir devre kurmak istiyorsanız, transistör kullanmak neredeyse elinizdeki tek seçenektir. Peki, biz de biraz karışık bir işlem yapmayı düşünelim. Bir ağ üzerinde üç boyutlu grafikler ve seslerle desteklenmiş bir oyun (örneğin dom) oynuyor olalım. Sesleri de bir ses kartından alalım. Ağ kartından diğer bilgisayardaki durum okunur. Girdi çıktı kartından fare ile yaptığımız hareket alınır. RAM'den son durum hakkındaki bilgiler okunur. Merkezi işlem birimi tüm bu verilerle bir miktar hesap yapar. Grafik kartındaki işlemci gönderilen verileri işleyerek ekrana, ses kartındaki işlemci de hoparlörlere gönderir. Her bir parçadaki işlemcilerde milyonlarca transistör çalışarak bize ağ üzerindeki diğer bilgisayardaki arkadaşımızın oyundaki adamının vurup vurulmadığını ses ve görüntü olarak anlatır.

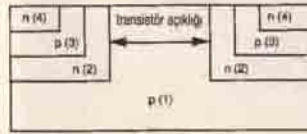
Bu transistörlerin hepsi ayrı ayrı duruyor olsa, onları birbirine bağlamak için kilometrelere tel ve dev bir oda gerekirdi; bütün bunların olduğunu varsayacak bile, ekrandaki tek bir noktanın renginin değişmesi veya hoparlörden bir nota duyulmak için dakikalara beklememiz gerekirdi. Ancak, ilk olarak entegre devreler ve onu takiben VLSI'nin geliştirilmesi bize rahat oyun oynama yollarını açtı. Peki, VLSI nasıl ortaya çıktı?

## Bipolar Transistörleri Sıkıştırmak

Geçen ayki yazıda değindiğimiz transistör tipine, bipolar transistör adı verilmiştir. Bunların temel yapısı aynı olmasına rağmen, bilim adamlarının onları bir entegre devreye sığdırmak için kullandıkları yollar farklı farklıdır. Hatırlayacağımız gibi bipolar transistör şöyle bir şeydi.



n tipi silikonda fazladan elektronlar ve p tipinde de fazladan boşluklar vardır. Peki bir çipe birden fazla transistörü nasıl sığdırdınız?

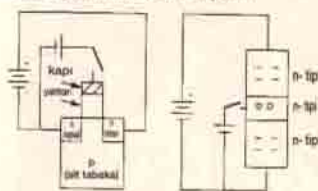


Şekildeki rakamlara göre, ilk olarak tüm çip p-tipi ve boron atomları içeren bir parçadan üretilir (1). Silikonun bazı yerlerine fosfor atomları yerleştirilerek n-tipi adacıklar (2) yaratılır. İzolasyon adaları olarak bilinen bu parçaların arasında, transistör açıklığı denilen bir miktar boşluk bırakılır. Eğer bu açıklık yeterince geniş olmazsa, bir transistörde akan elektronlar yandakine de geçerek çipin doğru sonuç vermesine neden olacaktır. Bu ilk n-tipi bölgeler, transistörün kolektörü olur. Daha sonra izolasyon adalarının içinde bazı olacak olan p-tipi silikon (3) ve emitör olacak olan n-tipi silikon üretilir.

Bipolar transistörlerin entegre devrelerde kullanılmasının en kötü sonucu transistör açıklığı nedeniyle kaybedilen yerdir. Sonuçta, bir çipe koyabileceğiniz transistör sayısı oldukça azalacaktır. **FET'ler**

Bipolar transistörlerin yetersizliği, çip üreticilerini başka bir tip transistörü kullanmaya itti. FET (Field-Effect Transistör: Alan Etkili Transistör). FET'ler, liseden hatırlayacağımız elektrik alanı kavramına dayanırlar. Yüklü parçacıklar aynı yüke sahipse birbirlerini iterler, zıt yüklere sahipse birbirlerini çekerler. Ancak, itme ve çekme kuvvetleri arasındaki uzaklığın karesiyle ters orantılıdır. Bir yüklü parçacık diğerine belirli bir mesafeden uzakta, aralarındaki kuvvet, iki parçacık üzerinde de hiçbir etki yapmayacaktır. Ancak daha yakınsa, sahip oldukları yüklere göre hareketi değiştirecektir.

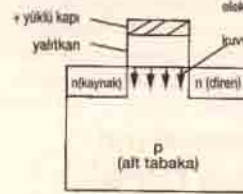
Bir yüklü parçacığın etrafındaki bu alandan yararlanılarak üretilen FET'lerin bipolar transistörden farkını anlamak için ikisini de inceleyelim:



En büyük fark, FET'te küçük pilin devresiyle (devre girdisi) p-tipi malzeme arasında doğrudan bağlantı olmamasıdır. p-tipi malzemeyle (alt tabaka) kapı arasında bir yalıtıcı vardır. Kapı,

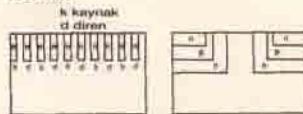
devre girdisine bağlı olan iletken bir malzemedir. Alt tabaka ise, transistörlerin üzerine yerleştirildikleri büyük bir silikon malzemedir. Eğer, devre girdisiyle alt tabaka arasında doğrudan bir bağlantı olsaydı, bu bir bipolar transistör olurdu.

Alan etkili transistör şöyle çalışır: Devre girdisi açıkken transistörün iki n-tipi alanı -kaynak ve diren- arasında iletim yoktur. Ancak girdi kapandığında, kapı artı yükü yüklenir ve bir elektrik alanı oluşur. Kapı alt tabakadan yalıtılmış olmasına karşın, elektrik alanı alt tabakanın üst kısmındaki protonları üzerinde etki eder ve onları transistörün tepesinden uzaklaştırır.



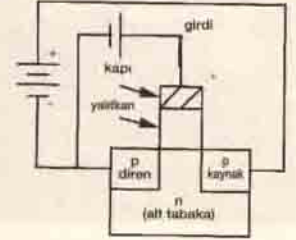
Böylece alt tabakanın üzerinde bir zıt tabaka oluşur. Burada elektronlar çoğunluktadır. Sonuçta, kaynaktan direne doğru bir akım olur.

FET'lerin bipolar transistörler üzerindeki en büyük avantajı izolasyon adalarına ihtiyaç duymamalarıdır. Kaynak ve diren için ihtiyaç duyulan n-tipi alanlar, bipolar transistörlerin kolektörünün n-tipi alanına göre daha küçüktür. Yani çipin çok daha küçültülmesi mümkün olacaktır.



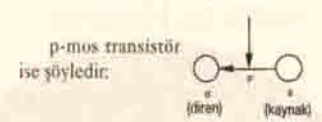
İzolasyon adalarına ihtiyaç yoktur; çünkü alt yapıyla doğrudan bir bağlantı yoktur. Yani alt tabaka her alanda yüklenmemiştir. Yine de transistörler arasında bir akıma karşı önlem olarak arada çok az bir mesafe olması gerekmektedir.

CMOS teknolojisindeki gelişmeler sayesinde n-mos ve p-mos transistörler bir silikon çip üzerinde yerleştirilebilmiştir. n-mos transistörlerin ne olduğunu daha önce görmüştük. p-mos transistörler de yan taraftan yukarıdaki gibi gözükür.

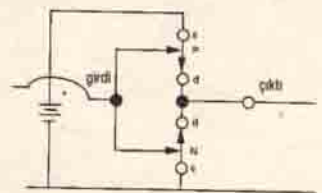


p-mos'ta kaynak ve diren n-mos'tan farklı olarak, p-tipi malzemeden oluşmuştur. Girdi kapalıyken, kapı + yüklenicek ve n-tipi alt tabakadaki elektronlar yukarıda toplanarak, kaynağa diren arasında bir akım olmasını engelleyecektir. Açıldığında ise, elektronlar direnden kaynağa doğru akacaktır. Yani delikler kaynaktan direne doğru hareket ederler.

Sembolik olarak n-mos transistör şöyle gösterilir:



Örneğin, CMOS ile yapılan bir "değil" devresi şöyledir:

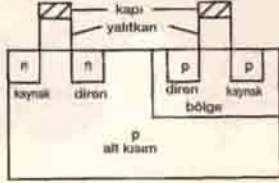


Üstteki transistör p-mos'tur. Altta ise n-mos'tur. Girdi 1'ken p-mos'tan akım geçmeyecektir. Çıktı pilin "-" tarafına bağlı ve "0" olacaktır. Girdi 0 iken n-mos açık olacaktır ve çıktı pilin "+" tarafına bağlanacaktır. Bu devredeki önemli nokta, büyük pilden hiçbir akım geçmiyor olmasıdır. Bu nedenle CMOS teknolojisi çok az enerji tüketmekte ve VLSI teknolojisinde tercih edilmektedir.

## FET'lerle Bipolar Transistörlerin Karşılaştırması

İlk olarak bahsettiğimiz transistör tipi olan bipolar transistörlerin yerleştirilmelerindeki sınırlamalar nedeniyle FET'ler geliştirildi ve transistörler daha sıkışık bir şekilde paketlenildi. Şu ana kadar VLSI teknolojilerinden CMOS teknolojisini FET kullananlara örnek olarak inceledik ve kendine has avantajlarını sunduk. Ancak CMOS

teknolojisi sadece n-mos veya sadece p-mos transistörler kullanan diğer VLSI teknolojilerine göre çok daha büyük yer kaplamaktadır. Bunun nedeni ise, p-mos transistör için fazladan gereken n-tipi bölgedir. Böylece bir düzengen kesiti aşağıda verilmiştir.



CMOS'un avantajları (simetrik tasarım, düşük güç tüketimi ve elektrğin elverdiğince küçük transistör üretimi) olan kullanımındaki zararı karşılayabilmektedir. FET'lerin tüm bu avantajlarına karşın, araştırmacılar bipolar transistörleri küçültmenin yollarını aramaktalar; çünkü bir tek transistörün hızı göz önüne alındığında bipolarlar, FET'lere göre daha hızlıdır.

#### Üretim

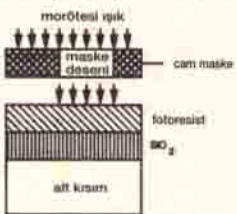
Transistörlerin silikondan üretilmesinden daha önce bahsetmiştik. Bir milimetrekareye milyonlarca transistör sığdırılmasını sağlayan şey, üretimde kullanılan teknolojidir. Bu nedenle üretim konusuna da biraz değineceğiz.

İlk olarak saf silikondan hazırlanan tek kristal malzemeden kalınlığı 1 mm'nin çok altında olan dilimler kesilir. Dilimlerin çapı 15 cm'yi bulabilir ve her bir dilimden birçok çip üretilebilir. Bu dilimlere daha sonra üretilecek olan çipin özelliğine göre, n-tipi veya p-tipi yapacak şekilde boron veya fosfor atomları eklenir.

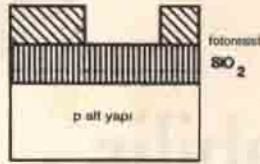
Bu adımdan sonra, seçici difüzyon adı verilen bir işlem serisiyle, çip, silikon alt tabakanın üzerinde üretilir. Seçici difüzyon üç ana adımdan oluşur.

1. Kimyasal ve fiziksel işlemlerle silikon dilimin üzerinde bir engel tabaka oluşturulur. Bu tabakanın görevi daha sonra eklenecek olan atomların alt tabakaya sızmasını engellemektir. Engel malzeme olarak en uygun bileşiğin silikon dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) olduğu bulunmuştur. Bu  $\text{SiO}_2$  tabakaya alan oksit adı da verilmektedir.

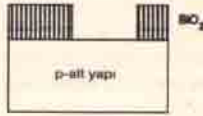
2. Silikona diğer atomların ekleneceği yerden engelleyici kaldırılır. Bunun için  $\text{SiO}_2$  tabakanın üzeri foto rezist adı verilen ve morötesi ışık tarafından bozulan bir malzemeyle kaplanır. Belli bir desene sahip bir cam maske, tabaka üzerine konur ve morötesi ışıkla bir yüzey aydınlatılır. Foto



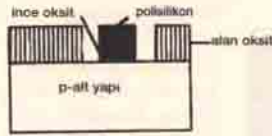
rezistin ışık gören yerleri açılır ve alttaki  $\text{SiO}_2$  yüzey ortaya çıkar. Daha



sonra asitle yok olan foto rezistin açığa bıraktığı  $\text{SiO}_2$  yüzey de ayrılır. Ve bir kez daha morötesi ışık uygulanarak kalan foto rezistin tamamı ayrılır. Sonuçta silikon dilimin üzerindeki  $\text{SiO}_2$  tabakanın deseni, cam maskenin deseni ile aynıdır.



Daha sonra, alan oksitinin ( $\text{SiO}_2$ ) boşluklarına, FET'in yalıtkan kısmını oluşturacak olan ince oksit adı verilen malzeme üzerine de polisilikon konur. Polisilikon kapıyı oluşturacaktır.



$\text{SiO}_2$ 'yi ayırmak için kullanılan benzer bir şekilde polisilikonun ihtiyaç duyulmayan kısmı ayrılır ve sadece kapı kalır. Bunun ardından ince oksit de kimyasal işlemle sadece kapı tarafından korunan kısım kalacak şekilde ayrılır.



3. En son olarak silikon dilime kaynak ve direni oluşturacak atomlar da eklenir(f). Üretimin tamamlanması için kapı, kaynak, diren ve alt tabakaya elektrik bağlantılarını oluşturacak metalik bağlantılar da eklenir. Bunlar için kullanılan yöntem de transistörün diğer parçalarını oluşturmada kullanılanla aynıdır.

Bu şekilde milyonlarca transistörün bir araya getirilmesiyle oluşturulan bir merkezi işlem biriminin nasıl çalıştığını inceleyenler daha önceki gibi her bir transistörün neler yaptığına bakmamız oldukça zor olacaktır. Bunun yerine basitçe çalışma mantığını anlamaya çalışalım.

#### Basit Bir Bilgisayar

Birçok bilgisayar mimarisi iki ana alt parçadan oluşur. Merkezi işlem birimi ve hafıza. Merkezi işlem birimi hesaplamaları yapar, matematiksel işlemlerle ve bilgilerle yapılacak diğer işlemler ile ilgilenen hesaplama kütüklerine sahiptir. Merkezi işlem birimi, koşulları gereken tüm komutları alarak onları komut kütüğünden geçirir ve her bir komutu koşar.

Hafıza, hesap yapamaz. O, basitçe, oldukça ucuz bir seri kütükten oluşan bir veri depolama yeridir. Kü-

tükler 0'dan n'e kadar numaralandırılmışlardır. Her biri 16,32 veya daha fazla bit bilgiyi tutabilir ve n'm sayısını milyarlara kadar büyütebilir.

Ana işlemci hafızadan iki çeşit bilgi ister: Komutlar ve veriler. Komutların hafızada bir seri ikili düzende kodlanmış makine komutu olarak yüküdür. Bunlar sıralı olarak merkezi işlemciye getirilerek uygulanır. Komutça istenilen hesaplamalar için hafızada bulunan diğer tip bilgiye, veriye, ihtiyaç vardır. Bu veriler, kullanıcının istediği yanıtları almak için üzerlerinde değişiklik yapmak istediği karakter ve sayıları kapsar. Hesaplama, sürekli olarak merkezi işlem birimine komutlara göre birleştirilip değiştirilecek bilgileri getirmeyi ve bunları tekrar hafızada saklamayı gerektirir.

Günümüzde çok çeşitli merkezi işlem birimleri vardır. Bazıları az sayıda, hatta bir tek hesaplama kütüğüne ve birkaç komuta sahiptir. Bazıları ise düzinelere hesaplama kütüğüyle ve yüzlerce komuta donatılmışlardır.

Mimarilerin farklı olduğu bir başka konu da birkaç hafıza merkezi işlem birimi olan yapılar kurmaktır. Bu mimariye paralel mimari denilmektedir.

Bir işlemcinin nasıl çalıştığını incelemek için günümüzün karmaşık çipleri yerine, ilk PC'lerde kullanılan Intel 8088'in bir altı olan P88'i (8088 parçası) inceleyelim. Bunun tek bir hesaplama kütüğü ve 12 komutu var.

P88 çipi bir komut gösterge kütüğü (GK) bir komut kütüğü (KK), bir durum göstergesi (DG), bir hesaplama kütüğü (AX) ve hafızadan oluşur. Bilgisayarın çalışması aşağıdaki programı sürekli olarak işletmesiyle olmaktadır:

1. (A1) GK'nın gösterdiği hafıza noktasındaki komutu oku ve onu KK'ye koy. GK'yi bir sonraki komutun adresini gösterecek şekilde artır, 2. (K) KK'deki komutu koş.

Bu döngü ile bir bilgisayarın nasıl çalıştığını bir örnek anlatalım. Ancak, komutların hafızada, ikili düzende saklandığından bahsetmiştik. Burada örnek olarak anlatacağımız işlemi hafızada olduğu gibi 1'ler ve 0'lardan oluşan bir şekilde anlatsak pek açıklayıcı olmayacağı için onları normal bir şekilde yazacağız.

Hafızada öndeki sayıların gösterdiği konumlarda sayıların yanındaki komutlar veya veriler olsun

10	kopyala	AX,X
11	ekle	AX,Y
12	kopyala	CN1,AX
13	kopyala	AXCN1
...		
20	7	(X)
21	4	(Y)
22	0	(CN1)
...		

Hafıza

Merkezi işlem birimi ise, yandaki gibi gösterilebilir:

GK	10
KK	
DG	
AX	

İlk al işlemi, GK'de gösterilen hafıza noktasında kayıtlı komutu, yani "Kopyala AX,X"i alır. GK 11 olur.

GK	11
KK	kopyala AX,X
DG	
AX	

İlk koş işlemi ile komut kütüğündeki komut, çözücü ve çalıştırıcı devrelerde işlenir ve X ile gösterilen hafıza konumundaki veri (7) hesaplama kütüğüne kopyalanır. Bu durumda merkezi işlem birimi yandaki durumdadır.

GK	11
KK	kopyala AX,X
DG	
AX	7

Bir sonraki al işleminde "ekle AX,Y" komutu KK'ya alınır ve GK 12 olur. Koş işleminde çözücü ve çalıştırıcı devreler Y'nin değerini hafızadan okur ve onu hesaplama kütüğündeki değere ekler. Daha sonraki al ve koş işlemleriyle hesaplama kütüğündeki değer CN1'e kopyalanır ve en sonuncu işlemlerle saklanan değer tekrar hesaplama kütüğüne yazılır. Hafıza bu işlemlerin sonunda şu şekildedir.

10	kopyala	AX,X
11	ekle	AX,Y
12	kopyala	CN1,AX
13	kopyala	AXCN1
...		
20	7	(X)
21	4	(Y)
22	11	(CN1)

Merkezi işlem birimlerinde ise şunlar bulunmaktadır.

GK	14
KK	kopyala AX,CN1
DG	
AX	11

Komutlar, hafızadan sırayla okunup çalıştırılır. Bazen alınan bir atla komutu ile hafızadaki sıradan çıktılar başka bir noktaya atlanabilir. Örneğin 14. komut "atla 11" olsaydı, CN1'e sürekli olarak 4 sayısını ekleyen bir program elde ederdik.

Tüm dijital bilgisayarların temel işleyişleri bu al-koş döngüsüne dayanır. Bu, aslında günümüz bilgisayarlarının yaptıkları tek şeydir: Komutları almak ve koşmak. Bu nedenle, güzel ışıklarına, büyüklüğüne, sunduğu muhteşem grafiklere ve işlem kapasitesine bakarak, bir bilgisayardan etkilenmemiz için hiçbir neden yoktur; çünkü bu iki komut dışında yaptığı birşey yok ve yakın gelecekte de yapamayacak!