

# Tümleşik Devreler

Yazan :  
Nadir ZEREN  
PTT

## ÖZET

Günümüzde elektronikte yeni bir teknoloji gelişmektedir. Birçok avantajları sebebiyle transistörlerin yerini almakta, olan bu teknoloji tümleşik devre teknolojisidir.

Bu yazıda tümleşik devrelerin özellikleri, temel prensipleri, üretim metodları ve bazı çok kullanılan Örnekleri verilmiştir.

## SUMMARY

Today a new technology is developing in electronics. This technology which is replacing transistors because of its many advantages, is integrated circuit technology.

in this article) are given the features, fundamentals, fabrication methods and some common examples of integrated circuits.

## 1. GİRİŞ

1948 yılında transistorun icadından sonra, katı hal fiziği büyük ölçüde ilgi çeken bir mühendislik alanı haline geldi. O zamandan beri yeni tip cihazlar birbiri arkasından geliştirilmeye bağlandı. Bugün transistor tekniği, sadece birkaç yıl önce çözümü İmkânız gibi görünen güç, frekans, güvenilirlik ve maliyet sorunlarını yoketmiş bulunmaktadır. Şimdide tamamen yeni bir teknolojinin eşliğinde bulunuyoruz; Elektronikte transistorun yaptığından daha fazla yenilik ve değişiklik yapmakta olan tümleşik devreler.

Tümleşik devreler (TD) başlangıçta, uçak, roket ve uzay araçlarında kullanılan çok özel devreleri, son derece küçük boyutlarda imâl etmek üzere Amerika Birleşik Devletleri'nde geliştirilmiştir. Ancak boyut avantajının yanında daha güvenilir olmaları, yüksek çalışma hızı, daha az enerji sarfetsmeleri maliyetlerinin ucuzluğu gibi özellikleri anlaşıldıkça, gelişmeler hızlanmış kullanılış alanları çok genişlemiştir. 1965 yılında beşyüz bin adet olan tümleşik devre satışı l6&B'da 2 milyona, 1970'de 30 milyona çıkmıştır.

Bugün tümleşik devreler, uzay araçlarında, elektronik bilgisayarlarda, çok sayıda sayısal devrenin kullanıldığı elektronik samtraOarda, uzak mesafe taşıyıcı sistem cihazlarında, radyo cihazlarında, lineer amplifikatör ihtiva eden TV,

radyo feibi halk tipi elektronik cihazlarda çok geniş ölçüde kullanılmaktadır.

### 1.1. Tümleşik devrelerin sınıflandırılması:

Mikrominyatür devreler Tablo Tdeki gibi sınıflandırılabilir :

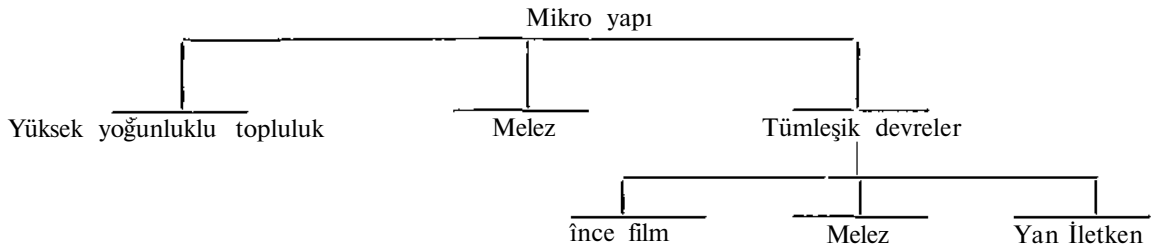
Yüksek yoğunluklu topluluk, klâsik tipten devre elemanlarının çok sayıda bir araya getirilmesiyle elde edilirler. Buna tipik bir örnek RCA tarafından geliştirilmiş mikro - modül'dür.

Tümleşik devreler, çok sayıda devre elemanının bir alt yapı üzerinde birbirlerinden ayrılmaz şekilde İmâl edilmesiyle meydana getirilirler.

Bu İki tipin bir arada kullanılmasıyla da melez tip mikro yapı meydana gelir.

ince filan tümleşik devrelerde, bir alt yapı üzerinde teşekkül ettirilen ince bir filmde istifade ile direnç ve kondansatörler meydana getirilir. Bundan sonra klâsik tipten diyot ve transistörler bunların üzerine monte edilir. Genellikle alt yapı elemanı olarak bir cam plâka, dirençler için vakumla çöktürülmüş nikel krom kullanılır. Kondansatörler, alt yapı üzerinde metal-dielektrik-metal şeklinde Uç tabakanın oluşturulmasıyla elde edilirler. Bu pasif elemanlar birbirlerine İrtibatlandırıldıktan sonra, aktif elemanlar bunların üzerine monte edilirler.

Tablo L  
Mikro yapının enuflandırılması:



Monolitik tümleşik devrelerde denilen yan iletken tümleşik devreler, direnç, kondansatör, diyot ve transistor gibi devre elemanlarıyla bunlar arasındaki bağlantıların, tek parçadan ibaret bir yarı iletken kristal üzerinde meydana getirilmesiyle elde edilirler.

Melez tümleşik devrelerde bu iki tipin birlikte kullanılmasıyla meydana gelir.

Günümüzde yan iletken tümleşik devreler çok geniş bir alanda kullanıldığından, tümleşik devre denildiğinde yarı iletken tip kastedilmektedir.

## 1.2. Tümleşik devrelerin özellikleri :

Tümleşik devrelerin en dikkate değer özelliği şüphesiz ki, çok sayıda devre elemanının çok küçük boyutlara sığdırılmasıdır. örnek olarak, 6 transistor, 30 diyot ve 12 dirençten meydana gelen bir devre 1,5X1,8 mm.alık bir silisyum plâka üzerine sığdırılabilir. Bir karşılaştırma halinde, dma başına, lâmbalı devreler için  $10^2 - 10^3$ , transistörlerde  $3.10^* - 104$ , ince filin tümleşik devrelerde  $10^6$ , yarı iletken tümleşik devrelerde  $3.10^6 - 3.10^7$  arasında ceman kullanılabilceği görülmektedir. Son gelişmelerle hatta  $3.10^{10}$  elemana kadar çıkabilmektedir.

Tümleşik devreler yüksek çalama hızı İstenen devreler için çok uygundur. Zira iç bağlantıların boyu çok kısa yapılabildiğinden ulaşım zamanı çok kısalmaktadır, örnek olarak bir bilgisayarı göz önüne alırsak, iburada bilgi devamlı olarak bilgisayara verilmekte ve buradan bellek devrelerine sevkedilmektedir. Klâsik tipten tel bağlamalı devreler kullanıldığında, bellek devreleri makinanın diğer kısımlarından ayrı bir yerde bulunduğundan, ulaşım zamanı önemli bir büyüklük olacaktır. Haibuki son derece küçültülmüş tümleşik devreler kullanıldığında, bu zaman son derece kısaltılabilmektedir.

Tümleşik devrelerin çok önemli bir özelliği de güvenilir olmalarıdır. Güvenilirlik elektronik cihazlar için çok önemli bir etkidir. Klâsik tipten devrelerde tel bağlamalar sebebiyle çeşitli montaj arızaları bulunabilir. TV ve radyo gibi bağlama adedi nisbeten az olan cihazlarda bu irtibatlandırma hataları çok olmayabilir. Ancak irtibat sayısının birkaç binin üstünde olduğu karmaşık cihazlarda muhtemel hata oranı oldukça yüksek olur. Tümleşik devrelerin imalât şeklinin otomatik oluşu bu tip hatalara imkân vermez. Elemanların hataları irtibatlandırma hatalarından daha da önemlidir. Tümleşik devreler bu bakımdan da klâsik devrelere nazaran çok üstündür. Transistörlerdeki arızaların önemli bir kısmı, transistorun kendisiyle çU«ş bağlantıları arasında meydana gelir. Tümleşik devrelerde bu

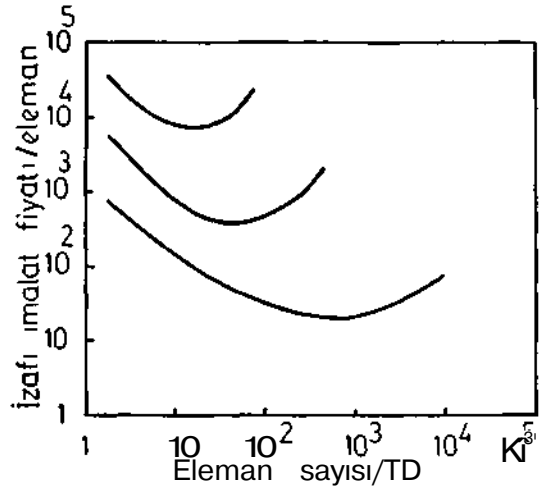
bağlantıların ince metal filmlerle otomatik yapılması, güvenilirliğin transistörlere nazaran çok yüksek olmasını temin eder. Keonjian tarafından sayısal bilgisayarlarda iki arıza arasındaki ortalama süre (AAOS) için yapılan incelemenin sonucu Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2.  
Sayısal bilgisayarlarda AAOS :

1960 Lâmba	1964 Transistör	1964 Tümleşik devre	1970 Tümleşik devre
8,65 saat	74 saat	4650 saat	12400 saat

Bu tablodan da görülüyor ki, iki arıza arasındaki ortalama süre dolayısıyla güvenilirlik tümleşik devrelerde, klâsik elemanlara nazaran çok önemli miktarda artmaktadır.

Tümleşik devrelerin bir diğer önemli özelliği de ekonomik potansiyelleridir. Bu aynı maksatla kullanılacak bir devrenin tümleşik devrelerle klâsik elemanların kullanıldığı duruma nazaran çok daha ucuza elde edilebilmesi demektir. Tümleşik devrelerin imâl şekil hemen tamamen «epitaksiyal - planar» transistörlerlnkinin aynıdır. Ancak tek bir plâka üzerinde çok sayıda eleman imâl edildiğinden eleman başına maliyet çok düşmektedir. Pratik olarak çok sayıda eleman İhtiva eden bir tümleşik devre İle klâsik tip bir transistorun fiyatı aynı olmaktadır. Şekil 1'de tümleşik devre başına eleman sayısı ile, eleman başına İzafi maliyet fiyatı arasındaki bağıntılar verilmiştir. Bu eğrilerden görülüyor ki, teknolojinin gelişmesiyle optimum ekonomik nokta sağa doğru kaymaktadır. Bu tek bir kristal üzerine ne kadar çok sayıda eleman yerleştlnbilirse, fiyat o kadar düşüyor demektir. Bu durum son



Şekil 1. Ttimleşme yoluyla ekonomi.

zamanlarda gelişmekte olan geniş, çapta tümleşme metodunun yaygınlaşma sebeplerini ortaya koymaktadır.

Bunlardan başka boyutların küçülmesi sebebiyle ağırlığın çok az olması, güç tüketimlerinin düşüklüğü ve bu sebeple batarya ömrünün çok uzun olması, soğutma probleminin kolaylığı, aynı devrenin değişik maksatlarla kullanılabilmesi gibi özelliklerde tümleşik devrelerin kullanılış alanlarını arttıran hususlardır.

Bu avantajlarına karşın tümleşik devrelerin bazı mahzurları da bulunmaktadır :

1. Tümleşik devrelerde izolasyon dolayısıyla meydana gelen parazitik sğalar, diyot ve kondansatörlerin kaçak dirençleri, p-n-p transistörlerin yapıları dolayısıyla meydana getirdikleri reaksiyonlar gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır.
2. Tümleşik devrelerdeki elemanların toleransları klasik tip elemanlara nazaran daha büyüktür.
3. p-n<sup>+</sup>p transistör yapmak oldukça zordur.
4. Yüksek güçlü ve yüksek frekanslı integre devreler yapmak zordur.
5. Endüktans ve yüksek değerde kondansatör yapmak imkânsızdır.

## 2. TÜMLEŞİK DEVRELERİN ESASLARI

Klâsik tipten elektronik devreler, değişik usullerle imâl edilen elemanların bir araya getirilmesi ile meydana getirilirler. Buna karşılık tümleşik devrelerde bütün devre elemanları aynı metotla imâl edilirler, örnek olarak tümleşik devrelerdeki dirençler, planar silisyum transistörlerin aynı olan imâl metodu ile elde edilirler. Bu sebeple tümleşik devrelerdeki elemanların maliyet fiyatları düşük fakat toleransları klâsik tiplere nazaran yüksek olur. Klâsik devrelerdeki elemanlar gerekli noktalarda birleştirilir yada izole edilir. Tümleşik devrelerde ise, devre elemanları tek bir kristal üzerinde imâl edildiklerinden elemanlar arasında parazitik kuplajlar mevcuttur. Devrelerin tasarımında bunların minimumda tutulabilmesine dikkat edilmelidir.

### 2.1. Yarı iletken devreler için malzeme :

Tümleşik devrelerin imâlinde kullanılan malzeme üçe ayrılabilir :

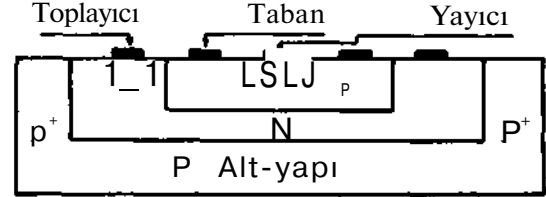
1. Aktif elemanların imâlinde kullanılan malzemeler,
2. Başlık, bağlantı uçları, camı metale veya seramiğe yapıştırmak üzere kullanılacak malzeme, bağlama ön hazırlama işlemi ve parlatma gibi imalatın son safhasında kullanılan malzemeler,
3. imalat sonunda gözükmeyen fakat çeşitli işlemler için kullanılan yardımcı kimyasal malzemeler, gaz v.s.

Aktif malzemelerin imalatında kullanılan yarı iletkenler, fiziksel özellikleri ve teknoloji metodları çok iyi bilinen germanyum ve silisyumdur. Aşağıdaki özellikleri sebebiyle bugün tümleşik devre teknolojisinde tamamen silisyum kullanılmaktadır.

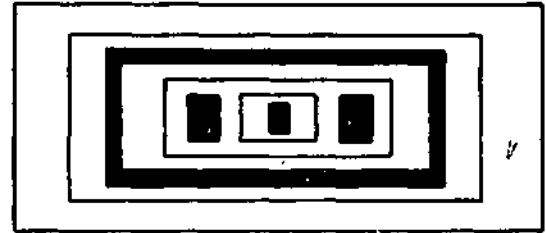
- a. Planar yapı kullanılmaktadır,
  - b. p-n eklemlerindeki ters akımlar küçüktür,
  - c. Çalışma sıcaklığı sahası çok geniştir.
- Clisyum dioksitde tümleşik devre imalatında çok önemli bir malzemedir. Uniformluk ve devamlılık göstermesi, silisyum üzerine tamamen yapışabilmesi, kalınlığının kolayca kontrol edilebilmesi, ısıl katsayılarının tamamen silisyuma benzemesi, maske alınmasına müsait olması, aşındırılma kolaylığı, izole etme gibi özellikleriyle bizzat tümleşik devre yapısında kullanılan diğii, imalat kontrolunda da silisyum dioksit kullanılır.

### 2.2. Transistor :

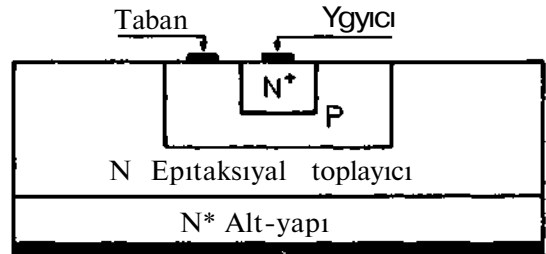
Tümleşik devrelerdeki transistor tipi Şekil 2'de gösterilmiştir. Burada yapının, yüzeydeki toplayıcı



Enine Kesit



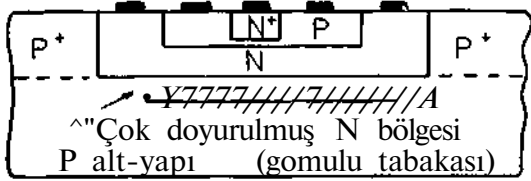
T D Transistor Ust görünüş



t—Toplayıcı  
Planar Transistor

Şekil 2. Tümleşik devrelerdeki transistor yapısı ve klâsik planar-epitaksial transistörle karşılaştırılması.

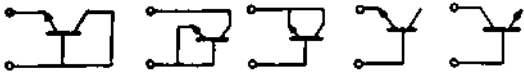
yıcı elektrodu hariç, tamamen klâsik planar-epitaksiyal transistörünkl gibi olduğu görülmektedir. Bu durumda toplayıcı akımı yayıcı ekleminden akarak, yüzeye paralel toplayıcı bölgesinden geçecektir. Toplayıcı bölgesinin kalınlığı, toplayıcı kesim gerilimi için gerekli tabaka kalınlığı tarafından tayin edilir. Bu kalınlık genellikle çok küçüktür. Toplayıcı eklemının kapasite ve kesim gerilimi bunu tahdit eder. Bundan dolayı toplayıcı bölgesinin direnci klasik tiplere nazaran oldukça yüksek olur. Bu mahzuru önlemek için Şekil 3' de gösterildiği gibi, çok doyorulmuş yani alçak dirençli n tipi bir tabaka, p tipi (alt yapı içine gömülür. Bu şekilde alt yapı üzerinde, yüksek yoğunluklu n tipi bir tabakanın epitaksiyal olarak meydana getirilmesiyle, alçak dirençli bir bölge elde edilir. Bu durumda gömülü tabakanın alçak direnci, toplayıcı tabakasına paralel geldiğinden, efektif direnci küçük olan bir tabaka, toplayıcı bölgesi elde edilmiş olur. Bu metod kullanılarak hemen hemen tamamen klâsik tip epitaksiyal - planar transistörlerinkine benzeyen karakteristikler elde edilirler.



Sekili 3. n+ gömülü tabaka.

### 2.3. Diyot :

Tümleşik devrelerdeki diyot yapısı, transistörlerinin aynı olup, transistörün tabanını, yayıcısını, toplayıcısını teşkil eden üç tabakanın uygun kombinasyonları ile teşkil edilirler. Zira bir transistörün iki eklemını kullanmak, diyonu özel olarak yapmaktan daha ucuz bir yoldur. Şekil 4' de transistör eklemelerinden faydalanılarak elde edilen diyot çeşitleri gösterilmiştir. Burada bazı noktalara özel olarak dikkat etmek gerekir :



Şekil 4. n-p-n transistörünün eklemelerinden yapılan diyot şekilleri.

1. Toplayıcı taban diyonu geçirme yönünde kullanılamaz. Zira izolasyon bahsinde izah edileceği gibi, ters kutuplandırılmış p - n eklemeleri izolasyon maksadıyla kullanılmaktadır. Eğer toplayıcı taban eklemi geçirme yönünde kutuplandırılırsa, bu bölgede bir p - n - p transistör durumu meydana gelir, bu suretle tabandan alt ya-

pı elemanına doğru bir sükunet akımı akmaya başlar.

2. Yayıcı taban eklemi geçirme yönünde kutuplandırılmış bir diyot olarak kullanılabilir. Fakat bu durumda taban toplayıcıya kısa devre edilmiş olmalıdır. Eğer toplayıcı bölgesi havada ise, bu bölgenin meydana getirdiği potansiyelle, taban, toplayıcı ve alt yapı bölgeleri efektif bir p - n - p transistörü haline gelir.

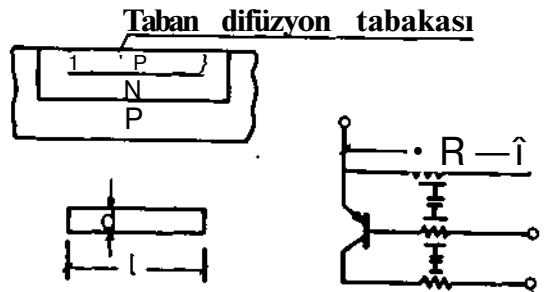
### 2.4. Dirençler:

Tümleşik devrelerde, transistörlerin taban difüzyonu tabakalarından istifade edilerek elde edilen difüzyon dirençleri veya ince film tekniğiyle elde edilen film dirençleri kullanılır. Bugün daha ziyade difüzyon dirençleri kullanılmaktadır. Bu tip dirençler transistörlerin imâlinde kullanılan metodlarla imâl edilirler ince film dirençlerden daha ucuz ve güvenilirlerdir.

Difüzyon dirençleri taban bölgesi tamamen p - n eklemi tarafından kuşatıldığından bir direnç özelliğine sahiptir. Şekil ffe de bu direnç ve eşdeğer devresi verilmiştir. Burada R direncinin değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$R = \frac{\rho_s}{d} (L/d)$$

burada  $\rho_s$  difüzyon tabakasının düzlemsel geçirgenliği, L direncin uzunluğu ve d de genişliğidir. Şekil ö'teki eşdeğer devrede görüldüğü gibi; yayıcısı taban difüzyon tabakası, tabanı n izolasyon tabakası ve toplayıcısı p tipi alt yapı olan transistör, bu dirence bağlanmaktadır. Bu sebeple n tipi izolasyon tabakasını en yüksek potansiyel seviyesinde kutuplandırmak lazımdır. Bundan sonraki taban difüzyon tabakası tıkama yönünde kutuplandırılır. Böylece izole bir direnç elde edilmiş olur.



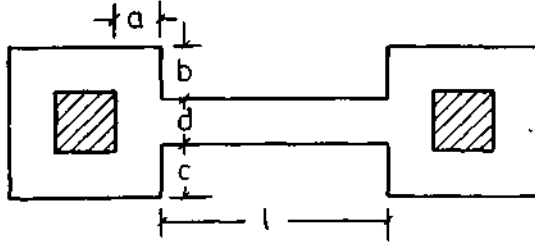
Şekil 5. Difüzyon direnci ve eşdeğer devresi.

Difüzyon tabakasının her iki tarafına da elektrot bağlandığı durumda R direncinin değeri aşağıdaki gibi verilir :

$$B = \frac{\rho_s}{d} (L/d + 2a)$$

Burada a, direncin temas alanını karakterize eden bir düzeltme faktörü olup, elektrotların

şekline bağlıdır. Çoğunlukla  $\tau$  değeri  $L/d$ 'ye nazaran çok ufak bir büyüklüktür. Şekil 6'daki örnekte  $\tau = 0,65$ 'dir Bu dirençlerin toleransları  $g > L$  ve  $d$ 'deki değişimlere bağlı olup, genellikle % 20 civarındadır. Difüzyon dirençleri ısı değişimlerine karşı oldukça hassastırlar.



Şekil 6. Bir direnç örneği :  
 $a = b = c = d = 0,65$

İnce film dirençleri, İzole bir alt yapı üzerinde ince bir film teşekkül ettirilmesiyle meydana getirilirler. Alt yapı elemanı olarak cam ya da seramik kullanılır. Direncin boyutları bir maske ile kontrol edilir. Kullanılan tipik malzemeler tantal, nikron veya kalay oksittir ( $\text{SnO}_2$ ). Küçük dirençler için bakır, alüminyum veya gümüş kullanılabilir. İnce bir silisyum monoksit tabakası koruyucu olarak kullanılır. Meydana getirilen direncin değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir :

$$R = (L/A) \cdot g$$

Burada  $g$ , ohm/metre olarak özdirenç,  $L$  metre olarak film boyu ve  $A$   $\text{m}^2$  olarak filmin enine kesit alanıdır.

## 2.5. Kondansatör :

Tümleşik devrelerde p - n eklemi ve silisyum oksidin dielektrik gibi kullanıldığı ince film kondansatörleri kullanılır.

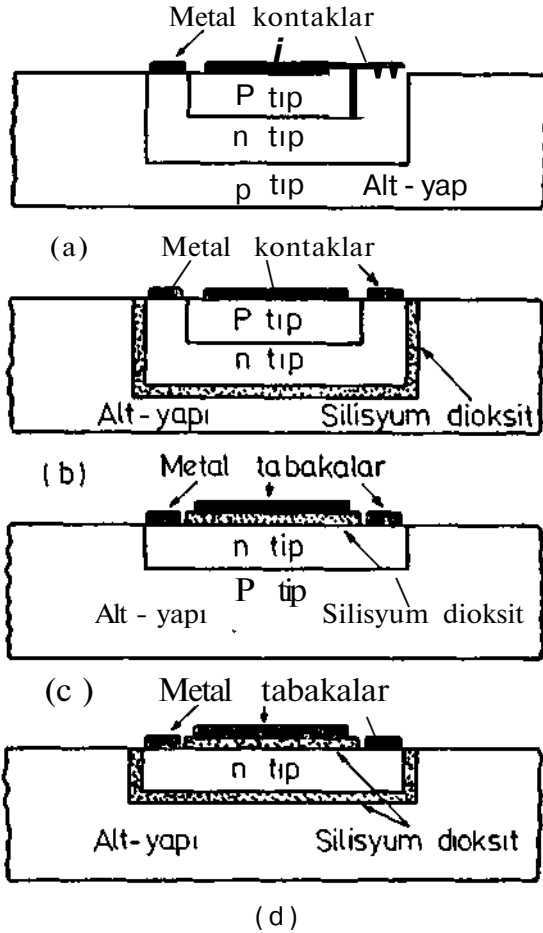
Tıkama yönünde kutuplandırılmış p - n ekleminden yapılan kondansatör çok basit bir yapıdır. Fakat doğrusal olmamaları, içinden ters doyma akımı geçirmeleri, kesim geriliminin altında çalışabilme gibi mahzurları vardır. Tipik bir difüzyon kondansatörü Şekil 7a'da gösterilmiştir. Şekil 7b'de kuplajları önemli ölçüde azaltan silisyum dioksitle izole edilmiş bir eklem kondansatörü görülmektedir, p - n eklemi kondansatörlerinin doğrusal olması, kutuplandırılmaları, ihmal edilebilir bir kaçak akımına sahip olmaları istenirse, bir  $\text{SiO}_2$  tabakası dielektrik olarak kullanılır. Şekil 7c'de, p - n eklemi  $U_e$  izole edilmiş, Şekil 7'de silisyum dioksit  $U_e$  izole edilmiş bu tip kondansatörler gösterilmiştir. Bu tip kondansatörlerde, 2000 Å kalınlığında silisyum dioksit tabaka kullanılarak delinme gerilimi 100 V olan 20.000  $\text{f/cm}^2$  kapasiteler elde edilebilir. Şayet silisyum diok-

sit tabakanın kalınlığı azaltılırsa, sığa artar fakat delinme gerilimi azalır.

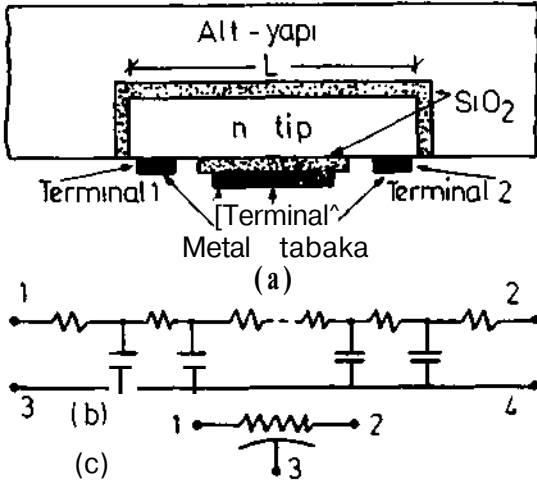
İnce film kondansatörler esasında klâsik tip kondansatörlere benzer, önce iletken bir film sonra bir izolasyon tabakası daha sonra da tekrar bir iletken tabaka meydana getirilerek yapılır. Silisyum monoksit ( $\text{SiO}$ ) ekseriya dielektrik olarak kullanılır. 10.000 Å kalınlığında bir film kullanılarak 5000  $\text{f/cm}^2$ 'lik kapasiteler elde edilebilir. Dielektrik olarak cerium fluorit kullanıldığında aynı kalınlık için takriben 34 defa daha büyük sığalar elde edilir. Birim alan başına daha büyük kapasiteler istendiğinde  $T_{\text{a-0}}$ , dielektrik olarak kullanılır.

## 2.6. Dağılmış elemanlı RC devreleri :

Tümleşik devrelerde difüzyon veya ince film tekniği ile elde edilmiş, dağılmış elemanlı RC devreleri de kullanılır. Şekil 8'de difüzyon yolu  $U_e$  elde edilmiş RC devresi görülmektedir. Burada p - n eklem kondansatörü ve n tipi tabaka direnci kullanılmıştır.

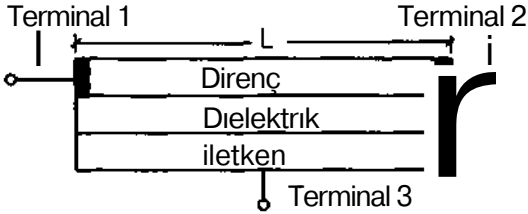


Şekil 7. Tümleşik kondansatörler.



Şekil 8. a. Dağılmış elemanlı BC devresi,  
b. Eşdeğer devresi,  
c. Sembolü.

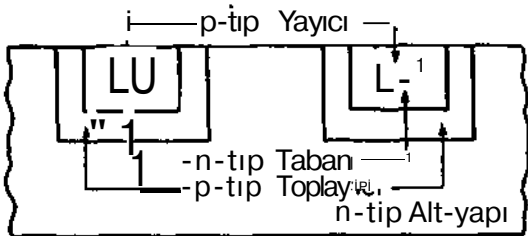
İnce film tekniği  $U_e$  de RC devreleri elde edilebilir. Şekil 9'da bu tip bir devre verilmiştir. Üçten, daha fazla tabaka ihtiva eden, dağılmış elemanlı devreler de bu yolla kolayca elde edilebilir.



Şekil 9. İnce film BC devresi.

### 2.7. Devre elemanlarının izolasyonu :

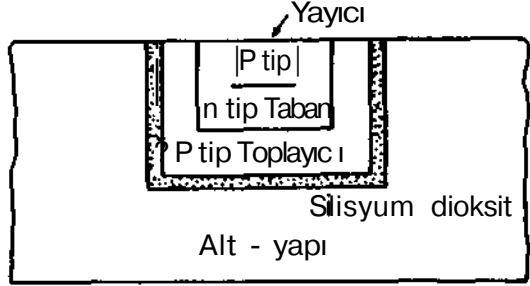
Tümleşik devrelerde tek bir kristal üzerinde bir çok devre elemanı imâl edildiğinden, bunlar arasındaki kaçak direnç ve kapasitelerin önlenmesi için bir izolasyon gereklidir. Bunun için kullanılan bir metod p - n eklemi ile izolasyondur. Bu metotta her devre elemanı ters olarak kutuplandırılmış bir p - n eklemi ile kuşatılmıştır. Böylece elemanlar birbirlerinden, tıkama yönünden kutuplandırılmış p - n eklemiyle yüksek direnci ile izole edilmiş olurlar. Şekil 10'da bu durum gösterilmiştir. Bu yolla eklem delin-



Şekil 10. Tek bir kristal üzerindeki transistörlerin ters kutuplandırılmış p - n eklemi ile izolasyonu.

me gerilimine kadar olan gerilimler için izolasyon temin edilmiş olur. Ancak bu metotta, p - n eklemiyle izolasyon kapasitesi sebebiyle kapasitif kuplajlar mevcuttur.

İzolasyon için diğer bir metod, silisyum dioksit bir tabaka kullanmaktır. Bu metodun yüksek delinme gerilimi, alçak kaçak akımlar ve küçük kuplaj kapasitesi gibi avantajları mevcuttur. Şekil 11'de bu metodla yapılan izolasyon gösterilmiştir.



Şekil 11. Silisyum dioksit ile izolasyonu.

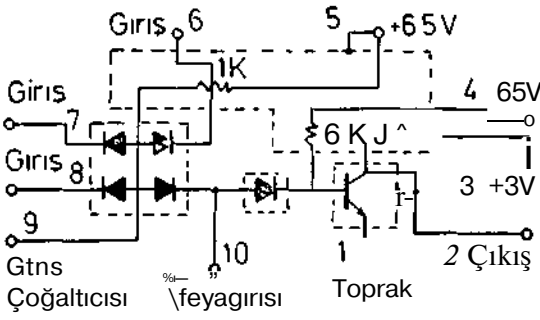
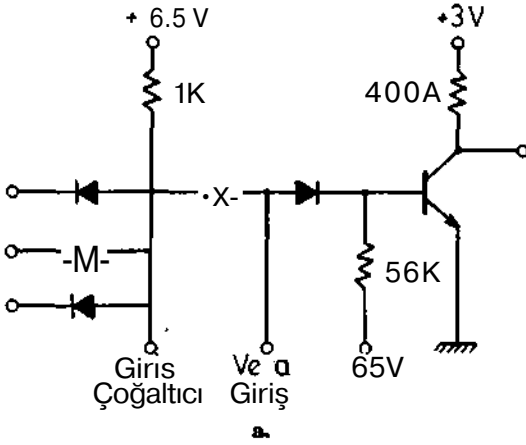
Bunlardan başka «beam - lead metodu» da izolasyon maksadıyla kullanılır. Burada her devre kristalin ayrı bir bölgesinde imâl edilir. Bu bölgeler arasındaki bağlantılar iyi bir inetalizasyonla temin edildikten sonra diğer kısımlar tamamen aşındırılır. Böylece yalıtım maddesi olarak hava kullanılmış olur.

### 2.8. Elemanların tertibi ve bağlantı iletkenleri :

Tümleşik devrelerin fiyatında en büyük faktör, alt yapı elemanının büyüklüğüdür. Bu sebeple elemanların çok küçük bir alan işgal etmeleri için mümkün olduğu kadar birbirine yakın bir tertip arzu edilir. Devre elemanları arasındaki bağlantılar, genellikle silisyum oksit tabakanın üzerinde alüminyum buharlaştırılması ile elde edilir. Alüminyumdan başka altın, nikel, krom ve gümüş de bağlantı iletkenlerinde kullanılır. Bütün bu metallerin son derece saf olması gereklidir, özel durumlarda kullanılan bir diğer malzeme de kovar'dır. Burada kullanılan buharlaştırma metoduyla oldukça emniyetli iç bağlantılar elde edilir.

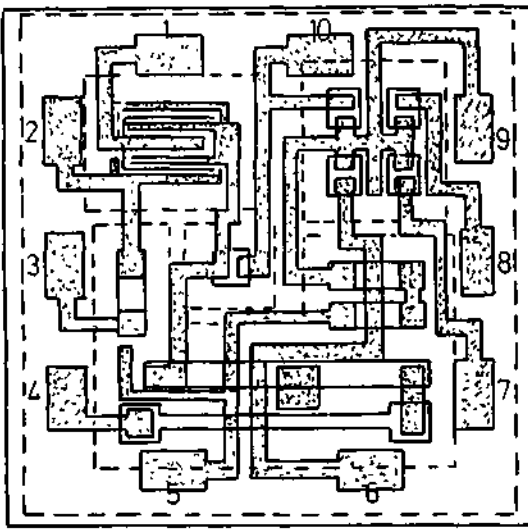
Elemanların tertibinde bağlantıların birbirlerini kesmemelerine dikkat etmek gerekir. Bununla beraber bağlantı iletkenleri difüzyon dirençleri üzerinden geçebilir. Zira direncin yüzeyi silisyum oksit ile kaplanmıştır.

Şekil 12a'da bir örnek olarak (DTM) diyot transistör mantık devresi verilmiştir. Aynı devre Şekil 12b'de, bağlantı uçlarını durumunu ve izole edilecek bölgeleri daha iyi görmek üzere, değişik bir çizimle verilmiştir. Şekil 13'de ise



Şekil 12. a. DTL Devresi

bu devrenin tümleşik devre olarak yapısı verilmiştir. Burada silisyum alt yapı üzerindeki devre elemanlarının durumu ve bağlantı İletkenlerinin şekli görülmektedir. Şekil 12b ile mukayese edildiğinde, hangi kısımların transistör, diyot, direnç v.s.'ye tekabül ettiği kolayca anlaşılabilir.



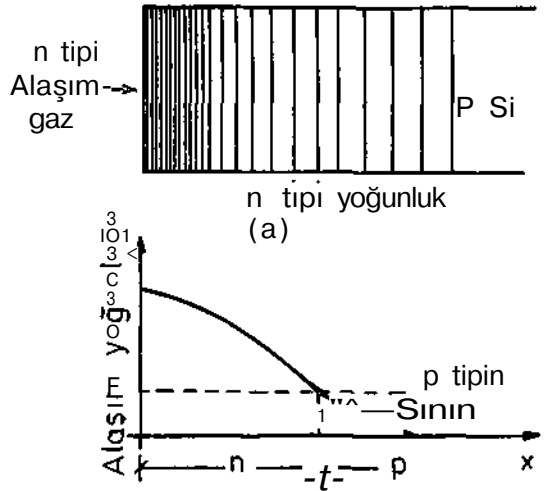
Şekil 18. DTL devresinin tümleşik devre yapısı.

## S. TÜMLEŞİK DEVAEİJERİN İMALATI

Tümleşik devrelerin imalât metodu esas olarak epitaksiyal - planar transistörlerin imâl metodunun aynısıdır. Bundan sonraki bölümlerde bu metodun safhaları izah edilecektir.

### 8.1. Alaşım difüzyonu :

Tümleşik devrelerde p-n eklemeleri, katı hal difüzyon metoduyla elde edilirler. Difüzyon işleminin başlangıcında alaşım atomları, silisyum tabakanın yüzeyinde yüksek bir yoğunluk gösterirler. Sıcaklık arttıkça, bu alaşım atomları katı haldeki silisyum kristalin yapısına difüzyonla nüfuz ederler. Bu şekilde yüzeydeki yüksek yoğunluklu bölgeden, içerlerdeki alçak yoğunluklu bölgelere doğru bir akış meydana gelir. Şekil 14'de difüzyon işlemi ile meydana gelen alaşım dağılımı grafik olarak verilmiştir. Bu dağılımın şekli; difüzyon süresi, sıcaklığı, alaşımın safliği ve difüzyon sabitesi, gaz basıncı gibi birçok etkenlere bağlıdır. Şekil 14b'de difüzyon sonunda meydana gelen p-n eklemesinin durumu görülmektedir. Burada silisyum, p tipi ve n tipi difüzyon alaşımlarını ihtiva etmektedir, p-n eklemi difüzyon yoğunluğunun içerlerdeki alaşım yoğunluğuna eşit olduğu düzlemde elde edilir.



Şekil 14. Alaşım difüzyonu ve p - n eklemi.

### 3.2. KPR işlemi :

Bir alt yapı elemanı üzerinde çok sayıda devre elemanı imal edildiğinden çeşitli difüzyonlar sırasında istenilen bölgelerin tesir görmesi arzu edilir.

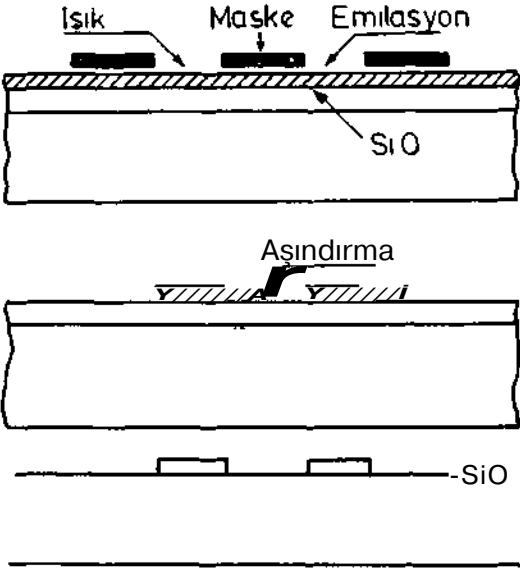
Bu maksatla fotolitografik metodlar kullanılır. Bu metodlarda ışığa hassas tabakalar ve çeşitli maskeler kullanılmak suretiyle istenmeyen kısımlar kimyasal yolla aşındırılırlar.

Fotolitografik metodların içinde en yaygın olanlardan birisi KPR metodudur. KPR, Kodak Photo

Resist kelimelerinin baş harflerinden meydana gelmektedir. Bu metod aşağıdaki temel İşlemleri İhtiva eder :

1. Bir fotografik plâk, ışığa hassas bir fotorezistif emülsiyonla kaplanarak bir alt yapı meydana getirilir,
2. Arzuya göre hazırlanan maske, alt yapı ile tam üst üste getirilir,
3. Emülsiyon, kuvvetli bir mor ötesi ışığa maruz bırakılır,
4. Maske vasıtasıyla plağa çıkarılan şekil banyo edilir, ışık almayan yerler kimyasal yoldan giderilir,
5. Banyodan sonra kalan kısımlardaki emülsiyon tesblt edilir,
6. Emülsiyon tarafından örtülmeyen oksit tabakası kimyasal olarak aşındırılır,
7. Emülsiyon tabakası soyulur ve plâka temizlenir.

Şekil 15'de KPR metodunu İzah eden bir örnek verilmiştir.



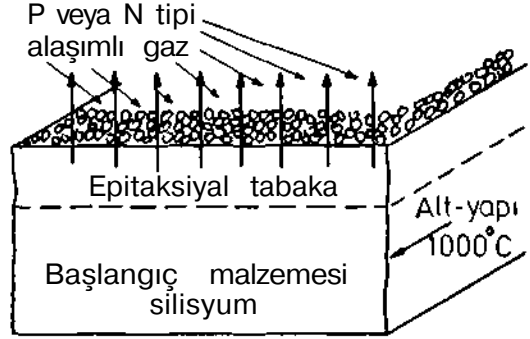
Şekil 15. KPR işleminin.

### 8.3. Gömülü tabaka :

Daha evvelki bölümlerde izah edildiği gibi transistor karakteristiklerini düzeltmek üzere, 'doyurulmuş, bir tabaka alt yapı içine gömülüydü. Bu işlem için silisyum kristal 2,5 - 3,5 cm çapında, 0,2 mm kalınlığında plâkalar halinde kesilir. Kesme işlemi sırasında meydana gelen İzleri yok etmek üzere kimyasal ya da mekanik bir parlatma işlemi yapılır, n - p - n transistor durumu için fosfor, arsenik ya da antimuan gibi n tipi bir materyel bu p tipi alt yapı içinde difüze edilir. Bu suretle düzlemsel direnci çok düşük olan bir tabaka elde edilmiş olur.

### 3.4. Epitaksiyal büyüme :

Epitaksiyal büyüme, tek bir alt yapı kristali üzerinde atomların ikinci bir alt yapıyı tek kristal modu şeklinde elde etmeyi ifade etmektedir. Böylece elde edilmiş İafes yapısı, alt yapı kristal şeklinin genişletilmiş tam bir modeldir.

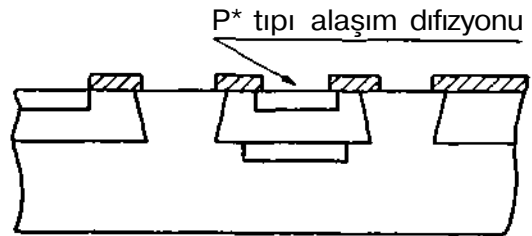


Şekil 16. Epitaksiyal büyüme.

Tümleşik devrelerde takriben 25  $\mu$ m kalınlığında r tipi bir silisyum tabaka, p tipi alt yapı üzerinde epitaksiyal olarak elde edilir. Bu maksatla en çok kullanılan usul, 1200 C°'da silisyum tetraklorürün hidrojenle indirgenmesidir. Burada büyüme hızı takriben dakikada 1  $\mu$ m'dür. Çalışılan büyüklüklerin bu kadar küçük olması, kontrol işlemlerinin çok dikkatle yapılması gereğini ortaya koyar. Zira bu tabakanın kalınlık ve üniformluğu doğrudan doğruya tümleşik devrenin üniformluğuna tesir eder.

### 3.5. İzolasyon difüzyonu :

Epitaksiyal büyüme ile elde edilen tabaka üzerinde ısı yolu ile takriben bir mikron kalınlığında çok ince bir silisyum dioksit tabaka meydana getirilir. Bu oksit tabakasının üzerine KPR işlemi tatbik edilir. İstenmeyen bölgeler giderildikten sonra, difüzyon alaşımı bu aşındırılmış bölgeden alt yapıya ulaşacak şekilde difüze edilir, örnek olarak, n tipi bir epitaksiyal tabakayı izole etmek için 1100 °C'da toor difüzyonu yapılır. Böylece Şekil 17'de görüldüğü gibi izole edilmiş n tipi adacıklar meydana gelir.

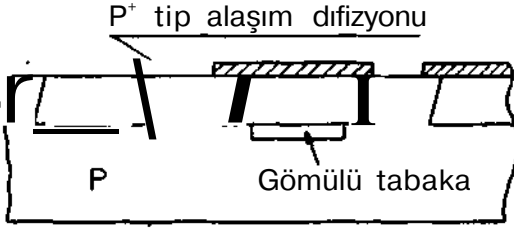


Şekil 17. izolasyon difüzyonu.



### 3.6. Taban, direnç ve anot difüzyona :

Transistor, diyot ve dirençler izole edilmiş, n tipi bölgelerde imâl edilirler. Silisyum dioksit KPR işlemi ile giderildikten sonra, p tipi alaşım difüzyon tabakası, transistor tabanı, diyot anodu veya direnç olarak kullanılabilir. Bu taban, anot ve direnç tabakaları aynı zamanda difüze edildiklerinden, yüzeysel yoğunlukları ve eklem derinlikleri aynı olur. Bir plâkanın taban difüzyonundan sonraki enine kesidi Şekil 18'de verilmiştir, p tipi difüzyon aşamını olarak bor kullanılır. Bu işlem esnasındaki sıcaklık ve süre çok önemlidir. Zira takriben  $3 \times 10^{-3}$  kalınlığında bir tabaka elde edilecektir.



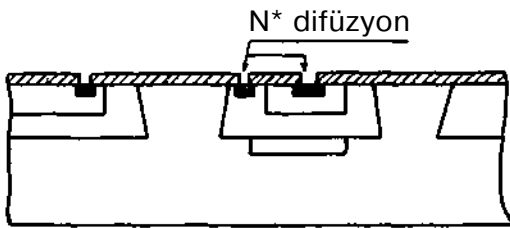
Şekil 18. Taban, direnç, anot difüzyonu.

### 3.7. Yayıcı, n tipi omik temas, katod difüzyonu :

Transistor elde etmek üzere, taban bölgesinin üzerindeki oksit tabakası giderildikten sonra n tipi bir alaşım yayıcı bölgesi olarak difüze edilir. Bu bölgenin kalınlığı  $2 - 3 \times 10^{-3}$  kadardır. Bu tabaka diyot katodu olarak da kullanılabilir.

Tümleşik devrelerde bütün elektrotlar yüzeye irtibatlandırılmıştır. Dahili bağlantılar için alüminyumla toplayıcı foölges" arasında iyi bir omik temas sağlamak üzere, toplayıcı elektrodu civarına n tipi alaşım yüksek yoğunlukta difüze edilir. Bu arada dirençlere ait n tipi bölgeler, p-n eklemine tıkama yönünde kutuplanması için, ters yönde kutuplandırılmalıdır. n tipi alaşım, n tipi direnç bölgelerinin elektrotlarına yüksek yoğunlukta difüze edilir.

Yayıcı difüzyonunda genellikle fosfor kullanılır. Bu difüzyon işleminden sonra bütün yüzey silisyum dioksit ile kaplanır. Yayıcı difüzyonundan sonraki plâka durumu enine kesit olarak Şekil 19'da verilmiştir.



Şekil 19. Yayıcı, katod difüzyonu.

### 3.8. Altın buharlaştırılması ve difüzyon -.

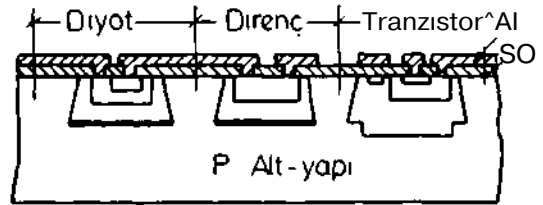
Mantık devrelerinde kullanılan diyot ve transistor türlerinde iletim hızını arttırmak üzere, azınlık taşıyıcılarının faaliyet süresini kısaltacak bir metal, toplayıcı bölgesine difüze edilir. Bu işlem için kullanılan bir metal altındır. Yayıcı difüzyonundan sonra, yüzey oksit tabakası ile kaplanmaktadır. Bu işlemden sonra plâkanın diğer yüzeyinin oksit tabakası giderilir ve altın burada buharlaştırılarak difüze edilir. Bu şekilde azınlık taşıyıcılarının faaliyet süreleri  $1/1000$  nisbetinde azaltılabilir.

### 3.9. KPR işlemi ile omik temas :

Yukarıdaki difüzyon işlemleri tamamlandıktan sonra, plâkanın bütün yüzeyi silisyum dioksit ile kaplanır, iç bağlantılar ve elektrotların devre elemanlarına irtibatlandırılması için bu oksit tabakası KPR metodu ile aşındırılır. Aşındırılan bu bölgeler transistorlerin taban yayıcı ve toplayıcılarını, diyotların anot ve katodlarını, dirençlerin elektrotlarını, tıkama yönünde kullanılmamış p-n eklemelerini izole etmek için kullanılacak olan topraklama noktalarını, n tipi direnç bölgelerini daha yüksek potansiyelli noktalara bağlayacak elektrotları teşkil ederler. Bu noktalar bir alüminyum film ile birleştirileceklerinden iyi bir omik temas meydana getirmeleri gerekir.

### 3.10. Alüminyum buharlaştırma ve KPR:

Bütün difüzyon işlemleri tamamlandıktan sonra omik temas temin eden bölgeler, KPR işlemi ile pencereler halinde oksit tabakadan kesilir. Plâka üzerinde ince bir alüminyum filmi buharlaştırma metoduyla meydana getirilir. Bundan sonra KPR metoduyla, devre elemanları arasındaki bağlantılar tesbit edilir. Böylece tümleşik devre hemen hemen ortaya çıkmış olur. Şekil 20'de bu durumdaki tümleşik devrenin kesidi verilmiştir. Plâka-



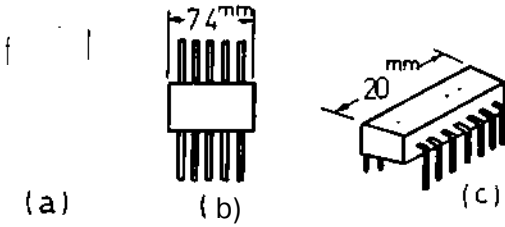
Şekil 20. Alüminyum buharlaştırılmasından sonra tümleşik devre.

lar bundan sonra metalin silisyum yüzeyle alaşım yapacağı bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Böylece alüminyumla silisyum ve oksit tabakaları arasındaki temaslar mükemmel hale getirilir.

### 3.11. Kapsülleme işlemi :

Bu şekilde elde edilen bir plâka birkaç yüz tümleşik devre eder. Bunların arasında, İmalat su rasında, kaçınılmayan bazı hatalar sebebiyle meydana gelmiş kusurlu devreler mevcuttur. Bu devreler kapsülmeden önce tashih edilmelidir. Bunun için plâkanın üzerindeki bütün tümleşik devrelerin karakteristikleri, yüksek hızlı otomatik devre test makinalarında kontrol edilir. Bu kontrolden sonra plâkalar elmasla münferit parçalar halinde kesilir ve kapsülendir.

Kapsüllemede dolgu maddesi olarak seramik, cam veya epoksi kullanılır. Tipik kapsül şekilleri Şekil 21'de gösterilmiştir, a'da, klâsik 10 çıkışlı TO-5 kapsülü görülmektedir, b'de ise 10-14 çıkış ucu ihtiva eden metal ya da seramik kapsül verilmiştir. Elde de, düzey çıkış uçlarını havi, metal veya seramik çift uçlu kapsül görülmektedir.



Şekil 21. Değişik kapsül çeşitleri.

Tümleşik devreler bu kapsüllere, metal kısımların lehimlenmesi ve seramik kısımların da yapıştırılması suretiyle tutturulurlar. Devrelere monte edilen elektrotlar ve çıkış uçları mükemmel iletken metal teller kullanılmak suretiyle irtibatlandırılırlar. Genellikle bu iş için 25 - 50  $\mu$  çapında alüminyumda da altın teller kullanılır. Bu bağlama işlemi için çoğunlukla ısı basınç metodu kullanılır. Bu işlemin tümleşik devrelerin güvenilirliği üzerinde büyük tesiri vardır. Dolayısıyla bu işlemin büyük bir dikkatle yapılması gerekir. Boşluklar da sıkı sıkıya doldurulduktan sonra, tümleşik devrenin karakteristikleri otomatik test cihazları ile kontrol edilir. Bundan sonra tümleşik devre tamamlanmış olur.

## 4. ÇOK KULLANILAN BAZI TÜMLEŞİK DEVRELER

### 4.1. Sayısal tümleşik devreler:

Sayısal devreler aşağıdaki özellikleri sebebiyle tümleşik devreler için çok uygundur:

1. Sayısal bilgisayarlarda aynı tipten çok sayıda mantık devresi kullanılır.

- Z. Sadece ikili (binary) işaretler kullanılması nedeni ile müsaade edilen toleranslar oldukça geniştir.
3. Bu devreler İndüktanssız, değişken direnç ve kondansatörlü, yüksek direnç ve alçak kapasiteli olarak imâl edilebilirler.
4. Tümleşme suretiyle iç bağlantıların boylan kısıldığından, çok yüksek çalışma hızları elde edilir.

Bunlara tümleşme sonucu elde edilen, boyutların küçüklüğü, güvenilirliğin artması v.s. özellikler de üve edilebilir.

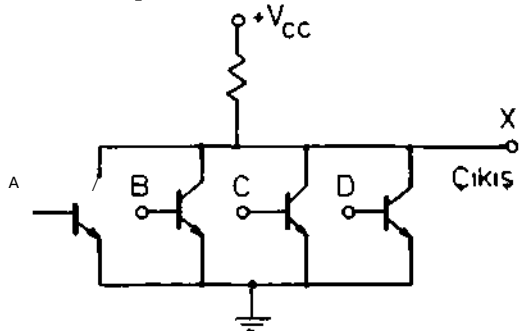
Tümleşik devrelerle gerçekleştirilen tipik mantık devreleri aşağıda gösterilmiştir :

1. DKTM tip, direk kuplajlı transistor mantık devresi.
2. DTM tip, diyot-transistör mantık devresi.
3. ETM tip, eşlendirilmiş transistor mantık devresi.
4. AMM tip, akım modlu mantık devresi.

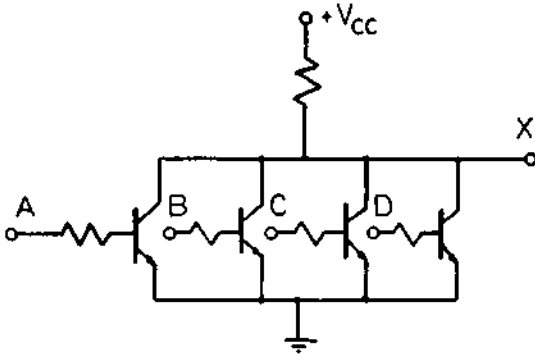
Bu devrelerin herbiri değişik çalışma hızı, gü-rültü sınırı, güç sarfiyatı ve ısı dağılma özelliklerine sahiptir. Bu devrelere ait avantajlar ve dezavantajlar bundan sonraki kısımlarda verilmişse de, yazının hacmi bakımından teferruatlı açıklamadan kaçınılmıştır.

#### 4.1.1. DKTM:

Şekil 22'de 4 girişli veya-değil kapısına alt DKTM devresi gösterilmiştir. Bu devre transistor ve dirençlerden meydana gelir. Bu devrenin, birbiri arkasında bulunan transistörlerin taban-yayıcı karakteristiklerindeki değişmeler sebebiyle meydana getirdiği hata bir çalışması vardır. Meydana gelen hata akımı sebebiyle kullanılışı pek pratik değildir. Bu sakıncayı önlemek üzere transistör tabanlarına seri dirençler ilâve etmek suretiyle RTM devresi geliştirilmiştir (Şekil 23). Seri dirençler her ne kadar bu hata akımına mani olursa da, iletim hızını düşürür. Bu hızı arttırmak üzere seri dirençlere paralel kondansatörler kullanmak suretiyle RKTM devresi geliştirilmiştir.



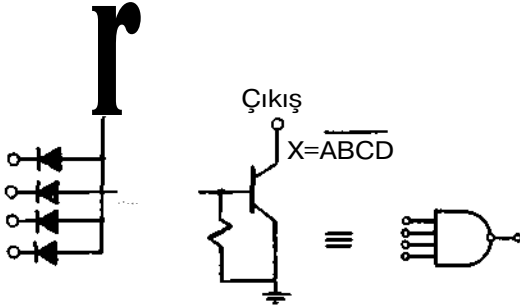
Şekil 22. DKTM (X = A + B + O + D).



Şekil 23. RTM.

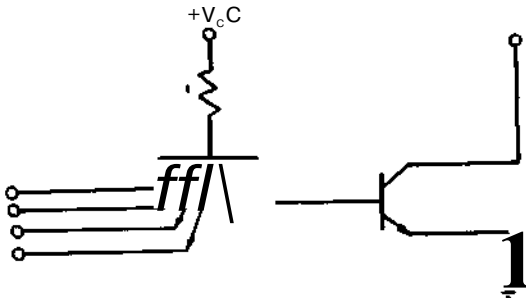
#### 4.1.2. DTM :

DKTM devresinde mantık işlem transistörler vasıtası ile yapılır. DTM devresinde ise bu işlem diyotlar vasıtası ile yapılmaktadır. Devrede kullanılan transistor, amplifikasyon ve faz dönürme işlemlerini yapar. Tümleşik devrelerle gerçekleştirilen devre esası Şekil 24'de gösterilmiştir. Bu devreye bazan ASM alçak seviyeli mantık devresi de denir. Tümleşik devre imâl eden fabrikaların hemen hepsi DTM imâl etmektedir. DTM orta bir çalışma hızına ve kullanılış kolaylığına sahiptir. Bu sebeple tümleşik devrelerin mantık işlemlerde kullanılan en yaygın tipidir.



Şekil 24. DTM ve-değİL

DTM devresindeki diyot kapıları yerine, çok yayıcı girişli transistor kullanılarak TTM devresi geliştirilmiştir (Şekil 25). TTM tümleşik devre-

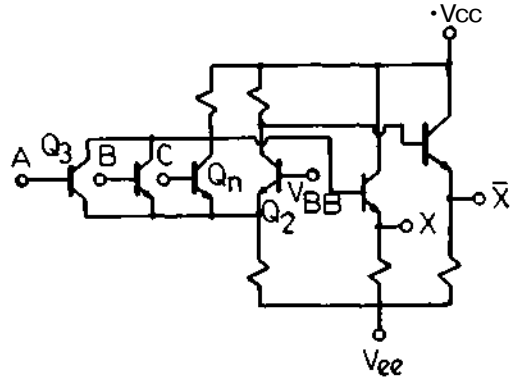


Şekil 25. TTM.

si esas olarak DTM'den daha basit bir devredir. Son zamanlarda gürültü sınırın çok geniş olan bir yüksek seviyeli TTM geliştirilmiş olup, orta hızlı devrelerde çok geniş olarak kullanılmaktadır.

#### 4.1.3. AMM :

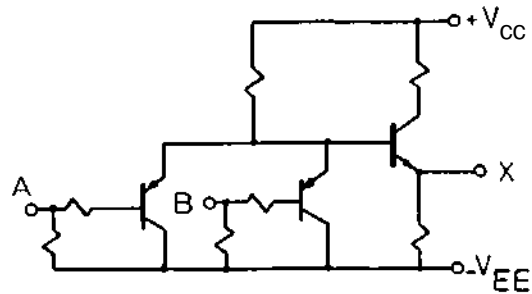
Yukarda bahsedilen devrelerdeki transistörler doyma bölgesinde çalışırlar. Bu sebeple çalışma hızları, azınlık taşıyıcılarının birikme tesiri yüzünden oldukça azdır. Yüksek hızlı çalışmalar için transistörlerin doymasız bölgede çalışmaları istenir. Şekil 26'da görülen AMM devresinde, transistörler yayıcı bölgesinde çalışırlar.  $Q_2$ ,  $Q_3$ ,  $Q_n$  bir diferansiyel amplifikatör meydana getirmektedirler. Bu devrenin çalışma hızı ile karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Buna karşılık güç tüketimi fazla olduğundan işaret seviyesi düşük olur.



Şekil 26. AMM.

#### 4.1.4. ETM :

Yukardaki devrelerde sadece n-p-n transistörler kullanılmıştır, p-n-p eklemelerini ihtiva eden alt yapı elemanları kullanılarak, p-n-p ve n-p-n tip transistörler tek bir kristal üzerinde imâl edilebilirler. Şekil 27'de İbu tip iki girişli  $ye^{\wedge}S^{11}$  kapısı gösterilmiştir. Bu devre sadece yayıcı çıkışlı elemanlardan meydana gelmektedir ve doyma



Şekil 27. ETM.

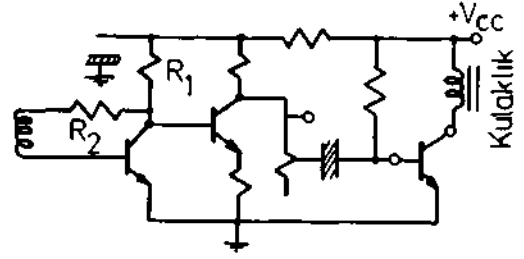
maşız bölgede çaldır. Devrenin çalışma hızı çok yüksektir (2-4 ns). Fakat güç tüketimi oldukça fazladır.

#### 4.2. Doğrusal tümleşik devreler (amplifikatörler):

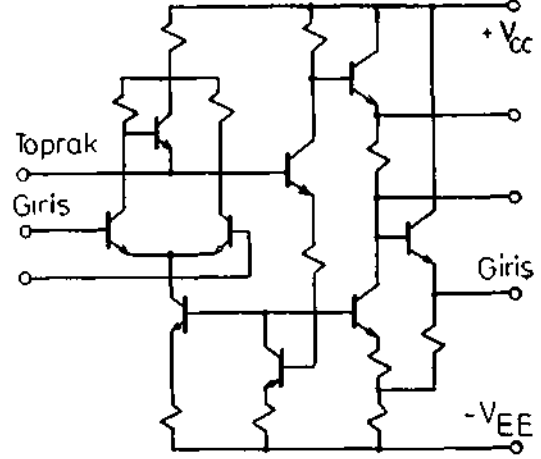
Doğrusal tümleşik devrelerin gelişmesi, sayısal devrelerle karşılaştırıldıklarında aşağıdaki sebepler yüzünden geciktirici:

1. Pratikte kullanılan pek çok çeşit amplifikatör bulunması,
2. Amplifikatör karakteristiklerinin devre elemanlarının toleranslarına büyük ölçüde bağlılığı sebebiyle, bu tolerans değerlerinin sınırlandırılmış bulunması,
3. Amplifikatörlerde çok yaygın olarak kullanılan, transformatör ve şelflerin yan iletken olarak imalinin imkânsızlığı,
4. Yüksek güçlü cihazlar elde etmenin oldukça güç olması.

Bununla beraber doğrusal devrelerin tümleşmesiyle, minyatür yapının güvenilirliğin ve ucuzluğun önemli olduğu bu alanda da önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Son zamanlarda geliştirilen doğrusal tümleşik devreler aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.



Şekil 28. İşitme cihazlarında kullanılan bir lineer tümleşik devre. (^PO 11 NEC)



Şekil 20. Diferansiyel amplifikatör (^A 702 Fairchild).

##### 4.2.1. İşitme cihazı :

işitme cihazlarında kullanılacak bir düzen, tümleşik devreler için çok müsaittir. Zira boyutlar küçük, band genişliği dar (200 Hz-10 kHz) ve çıkış gücü küçüktür (1mWın altında). Şekil 28'de gerilim kazancı 58 dB olan bir tümleşik devreli işitme cihazı şeması verilmiştir. Bu devrede, direnç ve transistör karakteristiklerindeki değişimler sebebiyle meydana gelecek kazanç değişmelerini azaltmak üzere, DA kutuplandırma,  $R_1$  ve  $R_2$  dirençleri vasıtasıyla temin edilen negatif geri besleme ile stabilize edilmiştir.

##### 4.2.2. Diferansiyel amplifikatör :

Eş karakteristikli transistör çiftleri kullanılan diferansiyel amplifikatörlerde, karakteristiklerdeki değişimler sebebiyle meydana gelen hatalar yok edilir. Tümleşik devreler diferansiyel amplifikatörler için çok uygundur. Zira transistörler bir alt yapı üzerinde imâl edildiklerinden karakteristikleri hemen hemen tamamen aynıdır.

Şekil 29'da ^A 702 Fairchild üniversal amplifikatörüne ait devre verilmiştir. Bu devrede band genişliği DA-10 MHz, gerilim kazancı 500 kHz'de G5 dB ve 7 MHz'de 46 dB'dir.

##### 4.2.S. Negatif geri beslemeli geniş bandlı amplifikasyon :

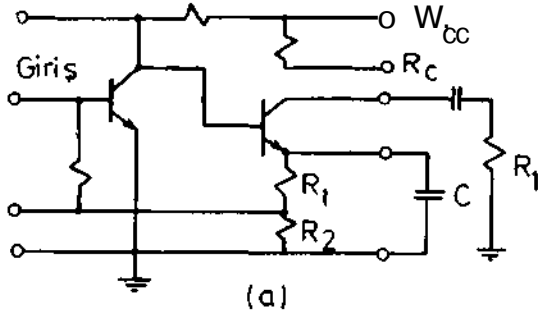
Basit ve DA kuplajlı, değişik maksatlarla kullanılabilen İki katlı geniş bandlı bir amplifikatör devresi Şekil 30 a'da verilmiştir. Kazanç ve frekans karakteristikleri C kondansatörü ve  $R_L$  yük direnciyle kolayca değiştirilebilir. Devrede  $R_j$  ve  $R_2$  dirençlerine bağlı kararlı bir negatif geri besleme kullanılmıştır.

Şekil 30 b'de ise, 20 MHz band genişlıklı bir video amplifikatör verilmiştir. Devrenin kazancı  $R_4 - R_1/R_3$  direnci tarafından tayin edilir.

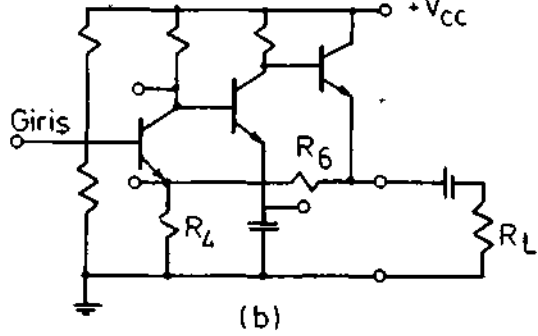
Bunlardan başka tümleşik devreler kullanılarak radyo alıcıları için hi-fi ses frekanslı amplifikatörler, taşıyıcı sistem amplifikatörleri ve stabilize güç kaynaklarındaki gerilim fark dedektörleri de geliştirilmiştir.

#### 5. MOS TÜMLEŞİK DEVRELERİ :

Son zamanlarda çalışma şekli klasik tip transistörlerden farklı olan yeni bir tip transistör geliştirilmiştir. Bu alan etkili transistör (FET) devresinde çoğunluk taşıyıcılarının akışı bi-



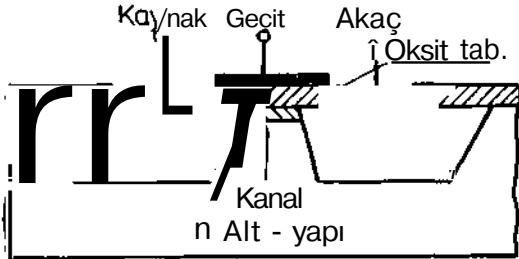
(a)



(b)

Şekil 30. Geniş bantlı amplifikasyon.

tişik kapıya tatbik edilen gerilimle kontrol edilir. Yeni geliştirilen ve MOS denilen FETde, metal oksit tabaka-yaxı iletken'den meydana gelen bir yapı bulunmaktadır (Şekil 31).



ŞekU 31. MOS FET.

n tipi yarı iletken alt yapı içinde, çoğunluk taşıyıcılarının dışarıya aktığı kaynak, ve taşıyıcıların içeri aktığı akaç (drain), p tipi difüzyon yolu ile imâl edilir. Yüzey silisyum oksit ile kaplanır ve bu oksit tabaka üzerinde kapıyı meydana getirecek metal buharlaştırılır.

Genel olarak kaynak topraklanır ve akaç negatif yapılır. Kapı kutuplandırılmadığı zaman, kaynak ve akaç arasında taşıyıcı yoktur. Dolayısıyla ikisi arasında bir akım akmaz. Eğer kapı negatif yapılırsa, pozitif yüklü delikler sebebiyle bir kanal meydana gelir. Böylece çoğunluk taşıyıcıları bir yüzey tabaka oluştururlar ve kaynak ile akaç arasında bir akım akmaya başlar. Bu yüzden akım, kapı gerilimi ile kontrol edilebilir ve lambalannkline benzer karakteristikler elde edilebilir.

Basit yapılış, çok yüksek giriş empedansı ve küçük güç sarfiyatı MOS FET'in en önemli özellikleridir. Buna karşılık çalışma hızı oldukça düşüktür.

MOS FET kullanan sayısal devreler de geliştirilmiştir. Bunlar özellikle sayıcı devreler ve küçük sığalı bellek devreleri için, düşük güç sarfiyatları dolayısıyla çok uygundur.

#### KAYNAKLAR:

Integrated Circuits, 1967, KDD Co. Ltd., Training Section.

Integrated and Active Network Analysis and Synthesis, 1967, Paul M. Chirlian, Prentice-Hall Inc.

Integrated circuits, Design Principles and Fabrication, 1965, McGraw-Hül Co.

Designing with Linear Inte'grated Circuits, 1969, John Wiley and Sons, Inc.

Integrated Circuit Engineering, 1966, Boston Technical Publisher Inc.

Philips Technical Review, 1971, Cilt 32, Sayı 1.