

Modern Elektronikteki Gelişmeler -I-

Yazan :

Dr. Mehmet T. MADAKBAŞ

ÖZET

Uzay yolculuklarının gayesi ne olursa olsun, ortaya çıkan gerçek /ayda sudur ki; zamanımızdaki teknolojik gelişmeleri, sokaktaki adama en güzel ve en ilginç şekilde göstermekte ve ispatlamaktadır. Bu teknik başarıların belki de en büyük payı modern elektroniğe aittir. Astronotların yanlarında taşıdıkları normal bir sigara paketi büyüklüğünde 5 kanallı bir haberleşme cihazının içinde 16000 transistöre tekabül eden bir devreden bahsedilince, konuya karşı ilgi daha da artmaktadır. Ancak modern elektronik hakkında bildiklerimiz de yine zihnimizde kapalı bir kutu gibi yerleşmiştir. Cihaz sistemlerinde ve elemanlardaki gelişmeye bağlı olan bu teknolojik aşamanın bir kısmı bu makalede anlatılmaya çalışılmıştır. Katı maddeler içinde temel

elektronik prensiplerin uygulama alanı bulması, yalnızca elektronik elemanların dolayısıyla cihazların boyutlarını küçültmekle kalmamış, aynı zamanda sistem teşkilini kolaylaştırmış ve devrelerde sağamlık, kararlılık ve güvenilirliği artırıcı bir rol de oynamıştır.

SUMMARY

Among the recent technological advances one of the biggest shares is due to modern electronics. In this article some aspects of these advances which depend on the development of electronic device systems and device elements discussed and some useful results of the application of the basic electronic principles to solids are mentioned.

ELEKTRONİK ELEMANLARDA GELİŞME VE ENTEGRE DEVRELER

Elektron lambasının 1907 yılında De Forest tarafından icadı ile başlayan elektronik çağı, hiç güphe yok ki bugün modern yaşantımızı sosyal, ekonomik, politik hatta her yönden etkileyerek gelişimini sürdürmektedir. Elektroniği herhalde pozitif ilimler içinde en hızlı gelişme gösteren ve uygulama alanı en fazla olan bir dal olarak görmek hatalı olmaz. Bugün radyo ve televizyon bütün dünyada haberleşmeyi en ücre köşelere kadar götüren bir vasıta olmuştur. Askeri savunma için suni peykler, robot ve roket tekniği feza yolculuğu yapabilecek seviyede geliştirilmiştir. Modern bilgi işlem ve hesap makineleri (bilgi sayarlar) temel ve uygulamalı bilimlerde, ilmi araştırmaları ve teknik ilerlemeleri teşvik etmekte son derece tesirli görünmektedir. Elektronik ayrıca endüstriyel imalat kontrolü ve üretim metodlarında, tıbbi alanda teşhis ve tedavide büyük gelişmelere katkıda bulunmuştur.

Elektronikteki bu gelişmeler, elektronik elemanların gelişmelerine bağlı ilerlemekte ve her geçen gün daha derin bir fizik bilgisi temeline dayanmaktadır. Yani yalnız aktif ve pasif devre elemanlarını birleştirerek istenen bir elektronik fonksiyonun nasıl yaptırılacağı değil, aynı zamanda çeşitli fiziki olaylardan faydalanarak, belirli ortamlarda (vakum, gaz, sıvı, yarı iletken, katı v.b.) herhangi bir bilginin ve temel fonksiyonun nasıl kullanılacağı da düşünülmektedir.

Amerikan araştırmacılarından Shockley, Bardeen ve Brattain'ın 1948 de transistörü böyle bir düşünce ile ortaya koymaları ile elektronikte ye-

ni bir devre açılmıştır. Bu tarihten sonra elemanların elektronik fonksiyonları artmış, boyutları küçülmeye başlamıştır.

KATIHALI FİZİĞİ

Transistorun elektronik fonksiyon bakımından pratik değeri anlaşılınca, katı maddeler, özellikle yarıiletken maddeler üzerindeki çalışmalar yoğunlaşmış ve katıhal fizikinin spektrumu çok genişlemiştir. Bu gelişim fizik ile elektroniği birleştirici bir rol oynamıştır. Hemen hemen katıhal fizik içinde incelenen her olay bir elektronik eleman ile sonuçlanmıştır, örneğin; elektron emisyonu (foto emisyon, alan emisyonu, termik emisyon, sekonder emisyon), elektrolüminesans,, termoluminesans, magnetorezistivite, ferro ve piezoelektrik, ferro ve ferrimagnetizm, antiferromagnetizm, imagnetostriksiyon, superkonduktivite, E.S.R. bunun birkaçıdır. Daha Faraday (1820) zamanında gümüş sülfür maddesinin kullanılması, sonra selenyum maddesinin özelliklerinin incelenmesi ve daha sonra germanyum ve silisyum maddelerinin saflaştırılması ve kristal özelliklerinin Laue ve Bragg tarafından röntgen difraksiyon metodlarını uygulayarak incelenmesi, yarıiletken maddeler üzerindeki çalışmaların bir başlangıcı olarak bilinmektedir. O sıralarda dalga mekaniğinin teorik olarak oynadığı rol de ihmal edilemez.

Yarı iletken maddelerden imal edilen elektronik elemanlar içinde belki de en mühimi transistördür. Katıhal fizikinin bir ürünü olan tran-

sistörün ortaya konmasıyla elektronik fonksiyonlara haiz sistem geliştirme için yapılan çalışmalarda, boyutların küçültülmesi, sistemin güvenilir bir çalışma yapacak şekilde sokulması, İmalât masraflarının asgariye indirilmesi gibi unsurlar önem kazanmıştır. Teknolojinin bu yönde ilerlemesiyle radyo lâmbalarına nazaran çok daha basit fiziki yapıya sahip bu elemanların kullanılması neticesi küçük ve çok fonksiyonlu sistemlerin yapılması ve uygulama alanlarının arttırılma imkânı elde edilmiştir. Basit yapı aynı zamanda boyutları ufaltmış, güç ihtiyacını azaltmış, sağlam, hatasız ve güvenilir bir yapı ile fonksiyonunu görebilme imkânını vermiştir. İmalât teknolojisi ve metodlarının zamanla gelişmesi hem çok fonksiyonlu sistemleri geliştirmekte hem de elemanların flatlarını hızla düşürmektedir.

Katıhal fiziği içinde yarıiletkenler teknolojisinin daha birçok örnekleri vardır M, başka fiziki olaylar ve özellikler kullararak elektronik fonksiyonlara haiz elemanlar üretilebilir.

Elektronikğin uygulama alanları : zaman geçtikçe arttığına göre, İstenen bir fonksiyonu yapabilecek veya fonksiyonların arttırımını sağlayacak veya yeni devre teşkil edecek sistemlerin geliştirilmesi de zorunlu hale gelmektedir. İstenen sistem karmaşık nitelikte bir yapı teşkil ediyorsa bu sistemi yine belirli fonksiyonda alt sistemlere bölerek kesikli İnşa etmek mümkün olmaktadır. Zamanımız elektronikğinde hızla gelişen bir sistem olarak bilinen sayısal sistem bu gelişmeye örnek verilebilir. Bu tip sistemler ile esnek fonksiyonlu ve daha kesin neticeler verebilecek birleşimlere girmek kolaylaşabilmektedir. Sayısal sistem kullanılarak geliştirilmiş sistemlerin avantajlarını en açık bir şekilde hesap makinalarında ve bilhassa bu makinaların gelişmesinde görmekteyiz. Böyle bir sistemde boyutların küçültülmesi, bellek sistemi, mantık kuruluşu ve işlem hızı gibi kemiyetler üzerinde durularak gelişme sağlanmaktadır.

Sayısal sistem tekniği ile yapılan işlemler, ölçü sistemlerinde de yeni İmkanlar açmış, gerilim ve akımların zaman ve frekansın kesinlikle ölçülmesi gibi elektronikte faydalı aşamalar sağlanmıştır. Fizikî kemiyetlerin sayısal ifade-sinde de artık bu metodu kullanılması ile çok daha kesin neticelere erişmek mümkün olmaktadır.

Elektronikğin yakın geçmişteki gelişimine barksak, gerek elektronik elemanların, gerek fonksiyonlu alt sistemlerin ve gerekse her ikisini kapsayan komple cihazların yapısında güvenilirliği arttırıcı şartların sağlanması yönüne gidildiğini görmekteyiz. Esasen güvenilir bir

çalışma yapmayan sistem veya cihazın fonksiyonlarını arttırmaya yönelmek de doğru olmaz. Zaten radyo lâmbalarından başlayarak zamanımızdaki İntegre devre tekniğinin uygulanmasıyla imal edilen cihazlara kadar, sürekli bir güvenilirlik artışına İhtiyaç duyulmuş, ve imalât metodları da bu sınırları genişletecek şekilde geliştirilmiştir. Karışık sistemlerde, sistemin tam fonksiyonlu çalışması için, kullanılan elemanların hatasız ve uzun ömürlü olması aranan bir niteliktir. Şayet bir sistem (n) adet elemandan teşkil edildiyse, sistemin yapabileceği arıza ihtimali (n) adet eleman üzerine dağılmıştır. Sistemi teşkil eden elemanların boyutlarının ve çalışmalarını için icabeden gücün, en alt seviyede tutulması hatasız çalışmayı sağlayacak en önemli faktörler arasındadır.

Meselâ, 50 000 transistor, diod v.s. ihtiva eden bir cihazda elemanlardan bir adedinin arıza yapmasıyla o cihaz fonksiyonunu kaybediyorsa ve bu amanın haftada bir defadan fazla tekrerr edmemesi isteniyorsa böyle bir cihazın elemanlarının ömrünün 350 000 gün (1000 sene) olması İcabettiği hesap edilebilir. Halbuki pratikte, kabul edilebilecek en fazla anza oram ele alındığında, bir haftada (168 saatte), 50 000 elemandan birinin arıza yapması halinde, 1000 saat içinde % 0,012 nisbetinde bir arıza beklenebilir. Elemanların sağlamlığının veya güvenilirliğinin ölçüsünü böyle bir misal ile daha iyi anlamak mümkündür. Esasen yarıiletken elemanlar imalâtında da kullanılan güvenilirlik sınırı da budur. Şayet 500 adet eleman, 1 000 saatlik bir ömür testine tabi tutulduğunda sadece bir adedi anza gösterirse arıza nisbetini; saatte 500 000 elemanda 1 olarak, veya (1000 saat genellikle birim olarak alınacağına göre) 1000 saatte % 0,2 olarak, tesbit edilebilir. Elektronikte bu birime (arızadan önceki ortalama zaman) denir. Güvenilirlik sınırlarını arttırmak için aşağıdaki üç nokta üzerinde durmak gerekmektedir.

1. Devrelerde veya alt İstemlerde iç bağlantıların sayısını mümkün olan en az sayıya İndirmek,
2. Elemanların tamamen kontrollü ve homojen, bir imalât metodu ile yapılmış olmaları,
3. Kullanma esnasında eleman için gerekli güç ihtiyacının en düşük seviyede olması.

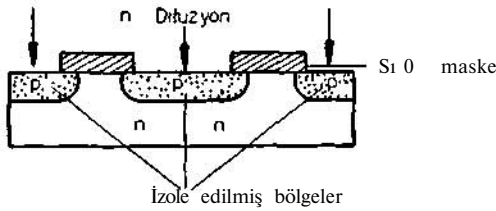
Nitekim elemanların böyle bir gelişme ile boyutlarının ufaldığı dolayısıyla gereken elektrik gücünün ve mekanik bağlantıların azaldığını görmekteyiz. Şartlar böyle gelişince elektronik çağında bir minyatürleşme başlamıştır.

MtKBOELEKTBOntK

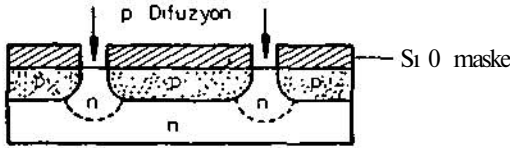
1963 yılında International Electrotechnical Commission (I.E.C.) (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) elektronikteki yeni gelişmeleri, şu tanımlama ile eskiden ayırmıştır : Bir cm^2 de 3'den fazla elaman ihtiva eden devrelere mikro devre denir. Mikroelektronikte devreleri gruplarda toplayabiliriz :

1. Normal elemanların mevcut en ufaklarını WP araya toplayarak teşkil edilen devrelerle yapılan bloklar :

Yani R, C, L, transistor, diod v.s. nln bir blok içine yerleştirilmeleri ve bu mikro blokların sonradan birbirleri ile bağlantıları yapılarak teşkil edilen sistemlerdir. Mikro bloklar ile RCA¹ nm 85 ayrı devre kullanarak yaptığı bir sistemde mevcut 10 000 mikro blok 251 cm^2 hacim içine sığdırılmış, 40 kg ağırlıkta olup 250 W güç çekmektedir.



Şekil 1.



Şekil 2.

%. Kaim film tekniği ile yapılan devreler:

Bu teknikte farklı rezistivite ve dielektrik özelliği olan çeşitli macun haline getirilmiş maddelerin bir seramik veya cem, taşıyıcı levha üzerine sürülerek kurutulması suretiyle R ve devre haiz bir devre teşkil edilir, sonradan minyatür transistor, diod v.e.nln bağlanması suretiyle esas devre imal edilmektedir. Boyut ve güç bakımından mikro bloklarla mukayesesi yan yarıdır.

3. İnce film tekniği Ue yapılan devreler :

Şayet aktif elemanların pasif devre elemanlarının miktarına olan oran küçük ise ince film tekniği pratikte büyük faydalar sağlar. Bu tek-

nikte izole bir levha üzerine metal buharlaştırması veya oksid kaplanması ile pasif devre elemanları teşkil edilir. Birbirleri ile olan irtibatları ise ayrı bir maske üzerinden iletken bir metal buharlaştırması ile yapılmaktadır. Meselâ; bir rezistansın bu şekilde imali için, taban plaka üzerine belirli bir rezistif değeri olan bir metal buharlaştırılır veya iki iletken metal arasına oksid kaplanması ile metal ve oksid boyutları ayarlanarak istenen değerde bir kapasite sağlanabilmektedir. Kondansatör için en uygun metal tantalum'dur. Aktif elemanlar ise bu devre üzerine yine mekanik olarak monte edilmektedir. İnce film tekniği ile Mullard tarafından özel bir sipariş üzerine bir devre 389 transistor, 832 diod, 587 kondansatör, 1660 direnç ihtiva etmesine rağmen 110 cm^2 hacim içine yerleştirilmiş ve 750 gr. ağırlıkta gelmiştir.

4. Entegre devreler

Yarıiletken kristaller üzerinde bütün fonksiyonlara haiz devre elemanlarının aynı anda teşkili ile imal edilmekte olup, elemanların devrenin elektronik fonksiyonunu bozmadan ayırma imkanı yoktur. İmalat teknolojisine göre entegre devreler de şu kısımlara ayrılır :

- Monolitik entegre devreler,
- İnce film entegre devreler,
- Her ikisini ihtiva eden hybrid entegre devreler.

Entegre devrelerin yapısını izah ederken konvansiyonel bir transistor veya diodun da yapısı ve imal metodu anlatılmış olacaktır. Zira yarı iletken teknolojisi, İntegre devrelerin imalinde transistörler imali için bilinen metodlar tatbik edilmiş olup, genel temel prensipler üzerinde fazla bir yenilik getirmemiştir. Aynı ayrı yarıiletken elemanların imali için kullanılan fizik aynen bu devreler için de kullanılmaktadır. Sadece seri imalat için teknolojik yeniliklere büyük ihtiyaç duyulmuş olup, mekanik ve fotoğrafik işlem yapacak aletler ve seri imalatı test edecek cihazlar geliştirilmiştir.

Monolitik entegre devre teknolojisinde özellikle taban maddesi olarak silisyum kullanılır. Silisyum tabiatta bulunduğu şekilden arındırılarak eriyik hale getirilir ve bu eriyiğin, kübik kristal şekli verilmiş bir çekirdek etrafında ağır bir hareketle döndürülerek donması sağlanır. Donarak 2 - 3 cm çapına kadar büyütülen bu kütle, monokristal özellik taşır ve entegre devrenin üzerine işlenebileceği evsafa girmiş olur. Böyle bir silisyum ingottan 0,25 mm kalınlıkta levhalar kesilir ve bu levhaların sadece bir yüzünde istenen devre elemanları teşkil edilerek birbirleri ile bağlantıları sağlanır. Kullanılan teknik; bu

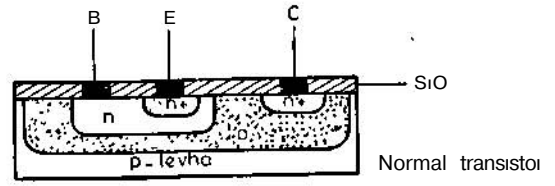
kristal yüzeyinin oksitlendirilmedi, elemanların konacakları yerlerde oksitlerin tekrar sökülmesi ve o yerlere elemanları teşkil edecek maddelerin difüzyon ile işlenmesi şeklindedir. Aktif ve pasif elemanların boyutlarını, kristal üzerindeki yerlerini gayet iyi tesbit etmek için maskeleme metodu kullanılır. Elemanların teşkil edileceği yerler dışındaki bölgenin oksid ile kaplanması difüzyonun bu bölgeler dışına dağılmalarını önleyen iyi bir maske olur. Oksid maskelemeyi yapmak için yüksek bir ısıya haiz (900°C) fırın içine konan kristal levha üzerinden O₂ gazı veya su buharı geçirmek lazımdır. Oksid kaplanan bütün bir yüzeyde aktif ve pasif elemanların teşkil edileceği bölgelerden oksit tabakasını asit ile sökmek gerekir ki, yüzeydeki elemanları teşkil edecek maddeler kristal içine termik olarak işleyebilsin. Bunu yapmak için oksit kaplı yüzey üzerine ışığa duymun bir madde (fotorezist) sürülür. Evvelce büyük bir kağıt üzerine çizilmiş devrenin maske filmi çekilerek bu film ile kristal üzerindeki fotorezist maddesinin istenen bölgeleri sertleştirilir, sert bölgelerin dışında kalan kısımlardaki oksit tabakası asit içinde eritilerek, istenen difüzyon maskesi kristal yüzeyinde sağlanmış olur. Oksidin mevcut olmadığı bu bölgelere yine yüksek ve sabit bir ısı veren (1100°C) fırın içinde bor, fosfor, arsenik v.s. gibi maddelerin girmesi (doping) sağlanır. Silisyum kristal içine bor, alüminyum, galyum, İndiyum gibi yabancı maddeler ilave edilmişse kristal (p) tipi dediğimiz pozitif serbest yüklerle iletkenliğe sahip bir tip olur. Fosfor, arsenik, antimon, bizmut gibi maddeler ilave edilirse negatif iletkenliğe aahlp (n) tipi bir kristal teşkil edilmiş olur.



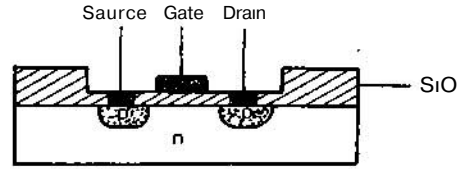
Şekil 3.

Silisyum kristal levha üzerine yukarıda özetlediğimiz süreçler devrenin şekline göre defalarca tekrarlanarak, istenen aktif ve pasif elemanlar teşkil edilmiş olur. Meselâ; 2,5 mm* İlk bir yüzeye 50 adet eleman ihtiva eden bir devre yapılırsa, 3 cm çapında 0,25 mm kalınlıkta bir levha üzerine aynı devreden 350 adedini aynı anda işlemek mümkün olur. Bu kadar ufak boyutlarda maskelemeyi özel bir agrandisman ile fotografik ufaltmak suretiyle sağlamak gayet kolay olmaktadır.

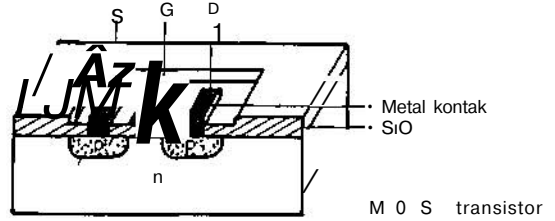
Daha sonra devrelerin teşkil edildiği kristal levha her bir devre için kesilip parçalanarak devreler ayrı ayrı plastik veya metal kapsüller içine



Şekil 4.



Şekil 5.



Şekil 6.

monte edilir. Devre elemanlarının teşkili sırasında birbirleri ile olan yalıtkanlığın sağlanması: bu teknoloji için belki de en mühim faktörlerden birisidir. Zira elemanlarda birinin üzerine tatbik edilen voltaj ye içlerinden geçen akım diğer elemanları etkilememelidir (devrenin kararlı çalışması batanından).

Teknolojinin bu basamağında yalıtmayı sağlamak için çeşitli metodlar geliştirilmiştir. Diod yalıtma tekniği olarak bilinen bir metod da, p - n eklemli diodun ters polaritede göstermiş olduğu çok yüksek rezistansından faydalanılmasıdır. Meselâ; p tipi bir kristal üzerine elemanlar teşkil ederken her bir eleman için difüzyon ile n tipi bölgeler hasıl edilir. Devre kullanılırken elemanlar arasında hasıl olan bu p - n eklemeler ters olarak polarize edilir. Aynı metod p tipi kristal üzerine tepitaksiyal* olarak büyütülmüş n tipi kristal ile de yapılır, n tipi eptaksiyal yüzeyde yalıtılmak istenen bölgeler yine p tipi bir difüzyon ile tabandaki p kristaline kadar ayrılabilir. Dolayısıyla yine her elemanı ihtiva edecek bölge bu sefer epitaksiyal olarak p - n eklemeler ile ay-

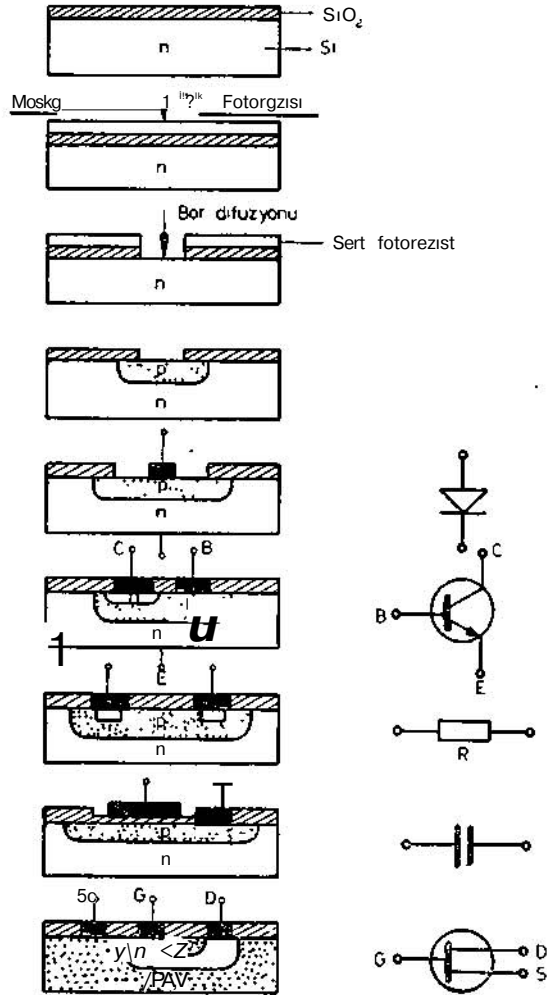
* Epitaksiyal kristal büyütme metodu; kimyevi bir reaksiyon ile silisyum tuzlarından saf silisyumun kübik kristal şeklini muhafaza ederek büyütülmesidir, örnek : $2SiCl + H_2 \rightarrow 2HCl + 2Si$

rlmıg olur. Bunda da yine ters bir voltaj tat-biki ile yalıtkanlık sağlanır.

Diğer bir metod İse, n tipi bir kristal yüzeyle üzerinde oyularak hasıl edilen kesik pramit şeklindeki bölgelere SiO kaplanır. Bunun üzerine de polikristal silisyum kaplanır, levha ters çevrildikten sonra yüzeyle yarım pramitler birbirlerinden ayrılncaya kadar zımparalamak lazımdır. Neticede herbir kesik pramit bölge, diğerinden SiO ile ayrılmıg olur. SiO zaten çok iyi bir yalıtkan olduğundan dolayı elemanlar arasında elektrik! iletkenlik mtevcut olamaz.

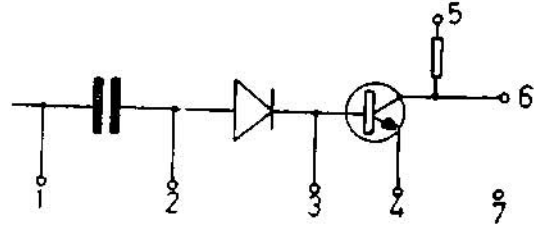
Yukarıda izah. edilen metodların İlavesiyle konvansiyonel diod - transistor imalat tekniği aynen integre devreler teknolojisi için de mevcuttur. Entegre devreler içindeki transistor şu şekilde İnşa edilmektedir:

Levhada, transistorun inşa edileceği maske ile ayrılmıg bölgede, yalıtkanlık sağlandıktan son-



Şekil 7.

ra o bölgeye bor maddesini difüze edip p tipi bir iletkenlik sağlanarak transistorun bazı (base), fosfor difüze ederek de çok yoğun bir n tipi iletkenlik (n) ile emetör teşkil edilir, kollektör ise n tipi iletkenliğe sahip bölge üzerinden metal kontak ile alınır. Ancak bu bölgede kristal direnci kollektöre seri olarak ilâve edileceği için bunu denkleştirecek (compensate) şekilde bir metod uygulamak lazımdır. Bu da mevcut n tipi bölgenin bir kısmının fazla yoğun yapılması (n+) ile direncini düşürmekle mümkün olur.



Şekil 8.

İntegre devreler transistörlerin geçirdiği gelişmeyi kendi bünyesinde de uygulamaktadır. MOS (metal oksit silikon) tipi transistörler kullanılarak yapılan integre devrelerde yalıtkanlık problemleri daha da azalmaktadır. Bu da devrenin fonksiyon bakımından daha iyi karakteristikler ile çalışmasını sağlıyor. MOS transistörde, kaynak (source) ve süzgeç (drain) kendi p-n eklemeleri ile kapı (gate) ise silisyum oksit ile yalıtılır. MOS transistörde kaynak ile süzgeç arasında tkalan direnç, kapıya tatbik edilen voltaja ve yapının transkondüktansına bağlı olarak değiştir. MOS transistörlerin diğer bioplak transistörlere kıyasla en az 4-5 kere az yer işgal etmeleri ayrıca bir avantajdır. Buna mukabil (svitching) geçiş zamanı daha uzundur.

İntegre devrelerde diodların imali de yine bilinen p-n eklemesinin teşkili ile olur. Transistor imalinde yapılan p-n eklemesinin aynen diod içinde de tekrarlanır, İntegre devrelerin içindeki direnç ve kondansatör gibi pasif devre elemanlarının inşası ise şu şekildedir :

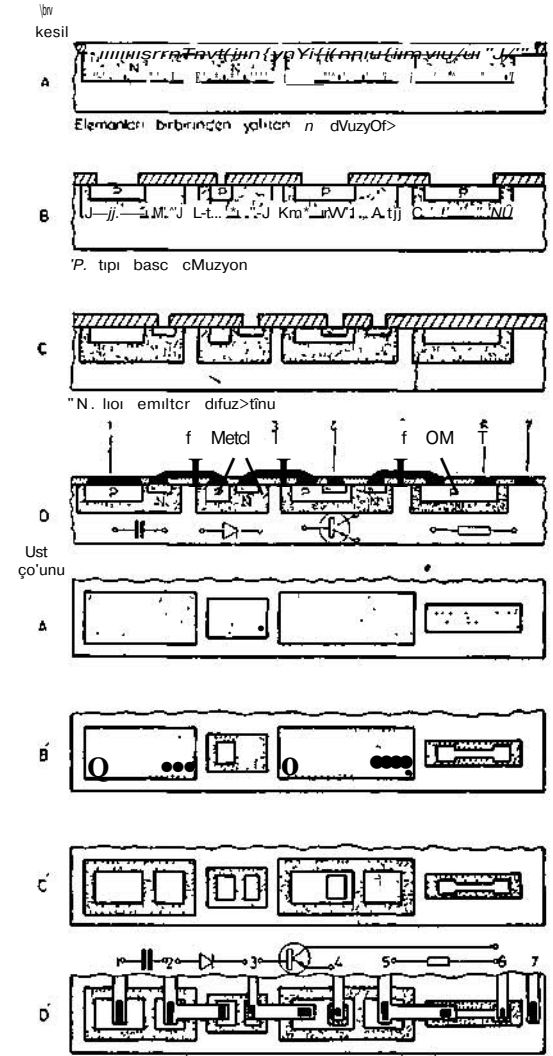
Dirençte, kullanılan taban maddesinin İçine işleyen (difüze eden) bor veya fosforun yoğunluğuna bağlı olarak iletkenlik değişmektedir. Direncin istenen değeri, serbest yükleri ihtiva eden bu maddelerin yoğunluğu ve maskelenmiş bölgenin geometrik boyutlarına bağlı olarak sağlanabilir. Difüzyon ile sağlanmış böyle bir bölgenin iki ucuna yapılan metal kontaktlar ile direnç teşkil edilmiş olur. Kondansatörün yine aynı plaka üzerinde teşkili için İki metod vardır. Birisi oksit tabakasının kalınlığı kontrol edilerek ve dielektrik özelliği bulunarak metal ile kaplanmış

bir yüzey üzerine oksit teşkil edilir ve üzeri tekrar metal kaplanır. Metal levhaların alanları, dielektrik değeri ve kalınlığı istenen değerde bir kondansatör teşkil eder. Diğer ise, elektrolitik kondansatörlere tekabül eden bir metoddur. Bu metod da, evvelce izah edilmiş olan diod teşkilidir ve bu ters yöndeki kapasitesi belirli bir kutuplanma (polarite) ile istenen değere ayarlanabilir. Tabii ki bu durumda kapasite ters yönde tatbik edilen voltaja bağlı olarak değişmektedir. Bu da muhtemel ayarlı kondansatör fonksiyonu görmesi bakımından ayrı bir avantaj sayılabilir.

Pasif ve aktif devre elemanlarını bu metodlarla bir arada ve aynı anda inşa etmek suretiyle istenen eleman yoğunluğunda kaşık devreleri imal etmek mümkün oluyor. Yoğunluğun artması ile eleman boyutlarının minimuma indirilmesi gerektiğine göre acaba ne gibi teknik imkanlar ile mikroskobik denebilecek bu tip çalışmalar yapmak kabildir? Bu soruyu da kısaca tekrar şöyle özetleyebiliriz. Maskeleye tekniği için büyük bir kağıt üzerine çizilmiş çeşitli desenlerin fotografik olarak ufaltılmalarını sağlayacak bir arandisman makinası, kristal yüzeyine çıkarılan desenlere yabancı madde (fosfor, bor) kaplayacak 800 -1200° C arasında homojen ve sabit ist veren bir fırın, kristal üzerinde teşkil edilen devre elemanlarının birbirleri ile irtibatını metal buharlaştırması ile sağlayacak bir vakumda buharlaştırma cihazına ihtiyaç olmaktadır. Aynı eleman yapısını ihtiva eden birçok devre, kristal üzerinde bu şekilde hazırlandıktan sonra monte edilmek üzere kristal parçalanır ve devreler ayrı ayrı kapsüller içine konular. Devrenin girişini, çıkışını, voltaj beslemelerini veya hariçen bağlantı icabeden uçlarını kapsülden dışarıya çıkarmak ve devrenin dış tesirlere karşı bozulmasını önlemek için sağlam ve pratik kullanılabilecek bir yapıya sokulması özel teknolojik gelişmelere sebep olan diğer bir faktördür. Transistörlerin monte edildiği standart kap olarak bildiğimiz çok ayaklı (T 0-5) veya plastik 14 uçlu (dual - in - line) kapsüller içine devrenin tamamını ihtiva eden kristalin yapıştırılması, ve saç kalınlığında ince altın teller ile dışarıya çıkan uçları hem dış kapsül ayaklarına hem de devrenin kristal üzerindeki yerlerine kaynak etmek özel bir teknolojiyi gerektirmektedir. Bu tip kaynak işlemleri için ultrasonik kaynak makinaları veya «Termo - Compression - Bonding» denen çeşitli makinalar geliştirilmiştir.

İntegre devrelerin imalat teknolojisinde diğer büyük bir aşama da seri imal edilmiş devrelerin otomatik olarak test edilmeleridir. Bu tip testler sadece yukarıda bahsettiğimiz imalat randımanı için değil, aynı zamanda askeri tip diye bilinen, fonksiyonlarının özel şartlar altında tanım-

lanması gereken devreleri tesbit ve ayırmak için de kullanılmaktadır. Meselâ, imal edilen standart bir devre 0°C ile 60°C arasında herhangi bir arıza göstermeden fonksiyon görebilir. Fakat 45°C ve 120°C arasında özelliği bozulmayan devrelerin (ki buna ekseri askeri tip denir) ayrılması da istenen bir faktördür.



Şeldi 9.

Şimdiye kadar seri imalatın gerektirdiği birçok cihazlar ve otomatik test sistemleri geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanpsı meselâ, Teksas Inc. tarafından yapılan sistemde 14 ayaklı standart entegre devreler üzerinde 36 çeşit testi 30 msaniyede yapılmaktadır.

L.S.I: Geniş ölçüde (yapılan integre devreler: İntegre devrelerin imalat teknolojisi hakkında biraz fikrimiz olduktan sonra akla gelen bir soru şu oluyor:

, Mikro elektronik, böyle bir teknoloji ile daha ne kadar küçültülebilecektir? Aynı kristal levha üzerinde entegre devre miktarını sınırlayan sebepler neler olabilir? İntegre devre teknolojisinde kaydedilen bir gelişme de bu tip devre adedini, kullanılan kristal büyüklüğüne göre yerleştirme üzerinde olmuştur. Geniş ölçüde yapılan entegre devreler (L.S.I.) denen bu aşamada gördüğümüz neticeler daha da ilginçtir.

Meselâ, tek bir kristal üzerine sayıcı (counter) veya shift register olarak kullanılabilen bir alt sistemin inşası için bu teknoloji kullanılarak 2,5X5,0 mm'lik bir yüzeye 3500 adet aktif ve pasif eleman yerleştirmek mümkün olmuştur. Böyle bir devre için icabeden dirençler, toplam yüzeyin % 65'ini kaplamaktadır. Yani pasif eleman ihtiva etmeyen bir devre olsa, aynı yüzeye santimetre kareye 25 000 eleman yoğunluğunda bir alt sistemi sığdırmak mümkün olmaktadır. Bu tip alt sistemlerde halen bol miktarda (sayısal kelime tercümesinde) (digital word translator) bellek olarak kullanılmaktadır. Bu tip geniş entegre devrelerin imalini zorlaştıran ve hatta sınırlayan faktörler olarak şunları sıralayabiliriz :

1. Alt sistemdeki eleman parametrelerinin toleransları,
2. Alt sistem ihtiva eden kristalin fonksiyonun görüleceği şekilde monte edilmesi,
3. Maskeleme tekniği için maharetli bir çalışma,
4. Devre tamamen bittikten sonra test etme imkanlarının zorluğu.

Bütün bu güçlükler rağmen son zamanda $0,130 \text{ cm}^2 - 0,260 \text{ cm}^2$ büyüklükteki yüzeylere inşa edilen geniş entegre devrelerin imalat teknolojisindeki randımanı % 50 civarındadır.

Tanınmış elektronik mecmualarında yayınlanan devre elemanı imal eden firmaların reklam-

ları bize mikrolaşma devrinde ne kadar yol alındığını gayet güzel göstermektedir. Mesela, General Instruments Microelectronics Div. firmasının imal ettiği L.S.I.'de $6,5 \text{ cm}^2$ de 250 000 adet transistörün yerleştirildiğini ve yine aynı firmanın gelişme raporlarından özel bir siparişi üzerine 1 milyon transistörü yerleştirebildikleri bir sistemi imal ettikleri belirtilmektedir.

Güçlü yarıiletken elemanlar :

Entegre devrelerin, elektronik sistem boyutlarını mikrolaştırmada oynadığı rolü ve yarıiletken teknolojisinde 'boyutların ufaltılması' esas alan bu aşama ile elemanlar için icabeden güç ihtiyacının düşünüldüğünü de belirtmiştik. Acaba yüksek voltaj veya büyük güce ihtiyaç olduğunda bu elemanları kullanmak mümkün değil mi? Tabii ki ihtiyaca göre güç ve verim sınırları çizildiğine göre, bu sınırları genişletmek için de yarıiletkenler teknolojisi önemli aşamalar yapmıştır.

Meselâ, yine elektronik mecmualarındaki reklamlardan gördüğümüz ve piyasada bol miktarda uygulama bulmuş 1000 V tatbik edilerek kullanılan birçok çeşit transistör mevcuttur. Birçok televizyon ve katod ışını tüplerindeki devrelerde kullanılan Delco firmasının DTSO714 tipi transistörü 1200 V kollektör voltajına dayanıklıdır. Aynı firmanın DTS 804 tipi 1400 V, 5A karakteristiğe sahip bir transistörü renkli TV lerin yatay tarama devrelerindeki 3800 VA'lık yüke anahtar olarak fonksiyon görmektedir. R. C.A.'nın 2N5575 transistörünün kollektör akımı 100 A ve güç kaybı 300 Watt olup, akım amplifikasyonu 40'dır.

National Electronics Inc. firmasının piyasada kullanılan kontrollü silikon doğrultkanı (SCR) 750 A akımı doğru yönde geçirebilecek ve 1500 V ters gerilime dayanacak bir yapıya sahiptir. Yine de bunların büyüklükleri kibrit kutusu kadar bile değildir.