

TÜMLEŞİK DEVRE YAPIM YÖNTEMLERİ

UDK: 621.382

SÜLEYMAN PENBEÇİ

ÖZET

Bu bildiride maske yapımından paketlemeye kadar bütün tümleşik devre yapım yöntemleri üzerinde özet bilgi verilmektedir.

SUMMARY

in this paper, a summary of fabrication techniques of integrated circuits from art-work to packaging is given.

1. GİRİŞ

Tümleşik devrelerin elektronik endüstrisindeki payı gün geçtikçe artmaktadır. Uzun süre yalnızca doğrusal olmayan devreler için kullanılan bu-öğeler yavaş yavaş doğrusal devreler için de uygulama alanı bulmaktadır.

1950-1960 döneminde nasıl tranzistor elektronik lambaların yerini aldıysa bugün de tümleşik devreler tranzistorun yerini almaktadır. Yalnız burada bir farklılık vardır. Birinci durumda etken bir devre ögesi olan tranzistor yine etken bir devre ögesi olan lambanın yerini alıyordu. Oysa ki şimdi tümleşik devre yalnızca tranzistorun değil onunla beraber diğer edilgen öğelerle birlikte devrenin tümünün ya da büyük bir kısmının yerini almaktadır.

Bu durumda yakın bir gelecekte elektronik mühendisinin işi yalnızca tasarladığı devrenin şemasını yapmakla bitmeyecek, kendisinden tümleşik devre yapıcısının kullanacağı maske şemaları ve yapım yöntemlerine ait belirtiler de istenecektir. Bu gereksinmeyi duyan birçok üniversitede bugün bir tümleşik devre laboratuvarı bulunmakta ve öğrencilere bu alanda ayrıntılı bilgi ve beceri verilmektedir.

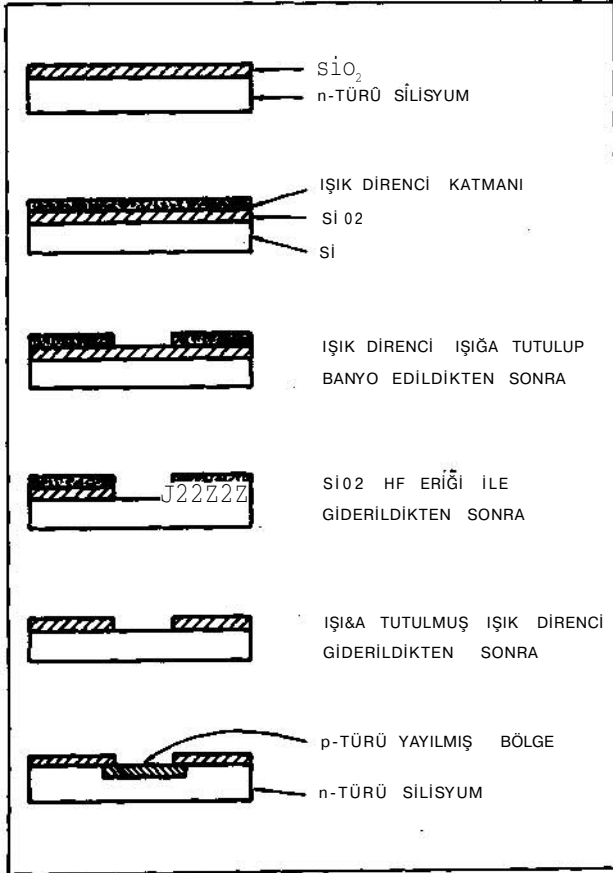
Süleyman Penbeci, Y.Prof.Dr., ODTÜ

i, -âmik kma

Tümleşik devre yapımında kullanılan temel madde yarı iletkenlik özelliği gösteren silisyumdur. Aynı özelliği gösteren öteki maddelere (örneğin germanyum'a) göre silisyumun üstünlüğü, oksitinin, yayılma (difüzyon) işlemi sırasında, ikincil maddelerin yayılmasına karşı bir engelleyici ödevini görmesidir.

Yapımında ilk evre uygun büyüklükte silisyum billurunun elde edildiği *billur büyütme* evresidir. Bu evre sonunda genellikle 2,5-5 cm çapında 40-50 cm boyunda bir silindir çubuk biçiminde elde edilen silisyum billuru 0,25 mm kalınlıkta dilimlenir ve bu dilimlerin yüzleri zımparalanır ve parlatılır. Ayrıca oksitleme, yayılma gibi işlemlerden önce kimyasal yolla temizlenir. Büyütme işlemi sırasında p-türü (bor, galyum vb.) ya da n-türü (fosfor, arsenik vb.) ikincil maddeler de eklenerek sırasıyla p-türü ya da n-türü billur elde edilebilir.

Yapımında ikinci işlem *yayılmadır*. Burada bir p-n (n-p) eklemi oluşturmak için p-türü (n-türü) temel madde billuru içinde belli bir derinliğe kadar n-türü (p-türü) ikincil maddenin yayılması sağlanır.



Yalnız p-n eklemiminin billur dilimi yüzünde ancak belirli alanlarda gerçekleştirilmesi gerektiğinden, diğer alanlarda ikincil maddelerin yayılmasına engel olunmalıdır. Bu nedenle billur dilimin yüzü belirli kalınlıkta oksitle (SiO₂) kaplanır. Buna *oksitlenme evresi* diyeceğiz. Daha sonra Şekil 1'de gösterilen ışık basım (fotolitografi) yöntemi ile p-n ekleniminin yapılmasının istenmediği alanlar asit geçirmeyen bir madde ile kaplanır ve dilim sulandırılmış hidrofluorik asite batırılarak p-n eklemiminin yapılacağı alanlarda oksit katmanı giderilir. Yayılma evresinde ikincil madde oksit katmanında açılan bu deliklerden billurun içine yayılır, p-n eklemi elde etmenin ikinci bir yolu da Bölüm 2'de açıklanan epitaksiyel büyüme yöntemidir.

Devre öğelerinin türlerine göre p-n eklemi yapımı işlemi bir kaç kez yinelenir. Örneğin içinde p-n-p ve n-p-n türü tranzistor bulunan bir tümleşik devre için üç kez bu işlemin yapılması gereklidir. Şekil 2'de n-p-n iki kutuplu eklem tranzistoru ve p türü metal oksit silisyum tranzistoru için bu işlemler sırasıyla gösterilmiştir. Bunlardan sonra *maden kaplama* evresinde, değme noktalarının bulunduğu alanlardan oksit katmanı ışık basım yöntemi ile yukarıda anlatıldığı gibi kaldırılır ve silisyum diliminin tüm yüzü madenle (genellikle alüminyum) kaplanır. *Bağlantı örüntüsü* içinde kalan alanlar yine ışık basım yöntemi asit geçirmeyen bir madde ile kaplanır. Diğer yerlerden metal asitle eritilerek bağlantı örüntüsü elde edilir. Daha sonra *paketleme* evresinde silisyum dilimi elmas uçlu çizicilerle kesilerek her biri bir tümleşik devreyi veren parçalara bölünür ve her bir parça bir tümleşik devre kaplığına yerleştirilir. Bağlama örüntü uçları kapçık uçlarına ince altın tellerle bağlanır ve kapçık kapağı yapıştırılır. Aşağıdaki bölümlerde bütün bu yapım evreleri sırasıyla ve ayrıntılı olarak verilecektir.

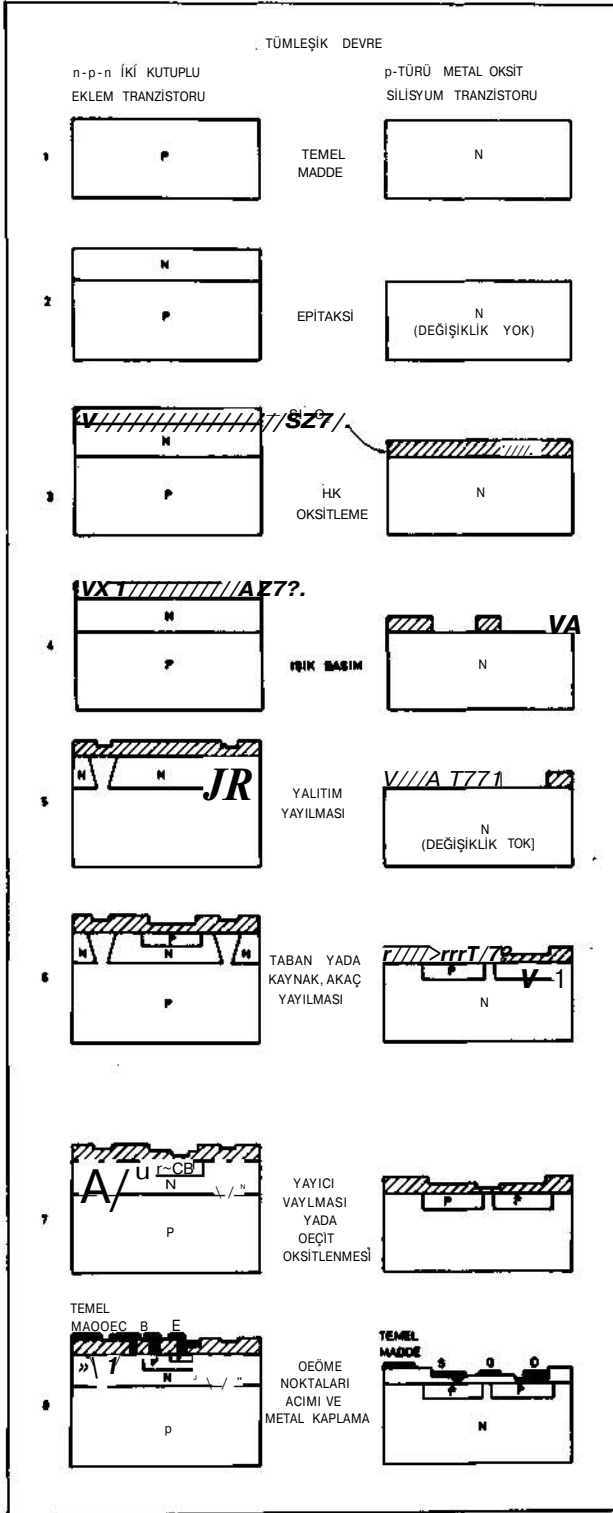
2. BILLUR BÜYÜTME

Temel madde billurunu elde etmek için çoğunlukla kullanılan iki yöntem Czochralski ve bölgesel billurlaştırma yöntemleridir. Bundan başka epitaksiyel büyüme olarak adlandırdığımız ve bir billur dilimi üzerinde billur büyütme işlemi de vardır. Yalnız bu son yöntemde erek temel madde yapımı değil, p-türü (n-türü) bir billur dilimi üzerinde çok ince n-türü (p-türü) bir katman oluşturarak keskin kesimli bir p-n (n-p) eklemi elde etmektir.

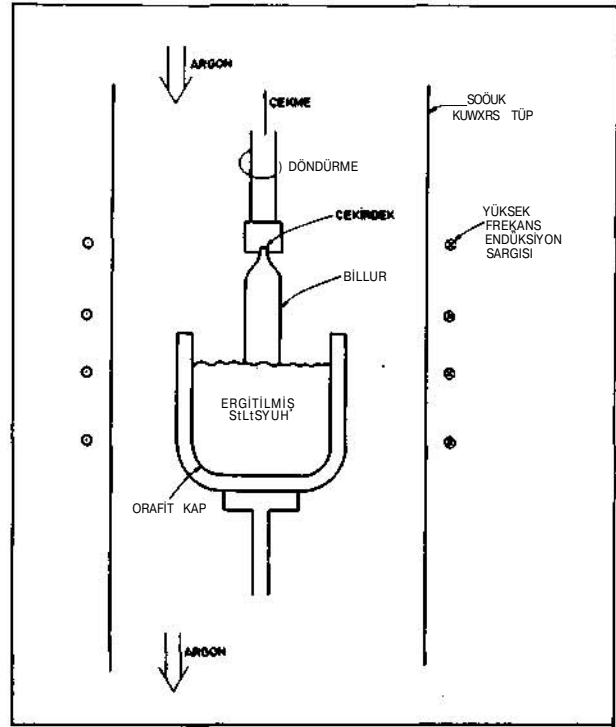
2.1. Czochralski Yöntemi

Bu yöntem için kullanılan düzen Şekil 3'de gösterilmiştir. Burada etkin bir gaz olmayan argon ortamı içinde yüksek frekans endüksiyon ısıtması yöntemi ile yalnız grafit kap içindeki silisyum ısıtılarak eriyik durumunda tutulmaktadır. İşlemin başında eksenî etrafında çok yavaş dönen düşey bir çubuğun ucunda tutturulmuş çekirdek silisyum billurunun ucu eriyiğe sokulur. Sonra yavaş yavaş yukarıya doğru çekilir. Donan eriyik çekirdek billurunu devam ettirir. Çekirdeğin dön-

6. teknik kongre



Şekil 2. Tümlleşik devre yapım sırası

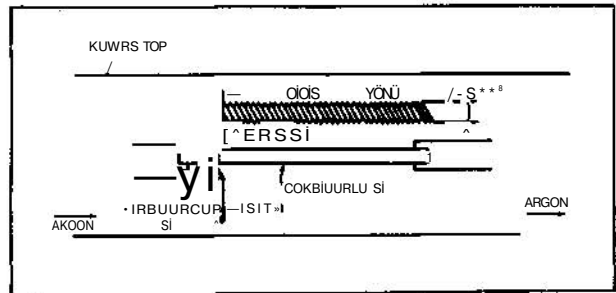


Şekil 3. Czochralski billur büyütme aygıtı

me ve yukarıya doğru çekilme hızına, eriyiğın sıcaklığına bağılı olarak belirli çapta bir silindir biçiminde billur çubuk elde edilir.

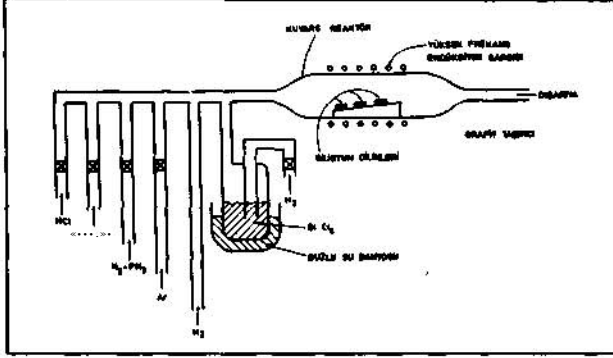
2.2. Bölgesel Billurlaştırma

Bu yöntemde Şekil 4'de gösterildiğı üzere silindirik biçimindeki çok billurlu silisyum bir çubuk her iki ucundan tutturulur. Bir yüksek frekans ısıtıcısı çubuğun bir ucunda dar bir bölgeyi ısıtarak ertirir. Daha sonra ısıtma kaynağı öbür uca doğru yavaş yavaş kaydırılarak ertimş bölgenin de hareketi sağlanır. Geride kalan silisyum bir billurlu olarak donar. Isı kaynağı çubuğun diğer ucuna vardığında tüm çubuk bir billurlu duruma gelir.



Şekil 4. Bölgesel billurlaştırma

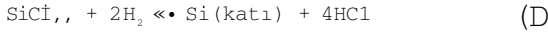
6. teknik kınama



Şekil 5. Epitaksiyel reaktör

2.3. Epitaksiyel Büyütme

Bu yöntemde bir billurlu silisyum dilimi Şekil 5'de gösterilen epitaksiyel reaktörün içinde grafit bir taşıyıcının üzerine konur. Yüksek frekans ısıtıcısı ile genellikle 1200-1300 °C'a kadar ısıtılır. Bu sırada üzerinden hidrojenle birlikte silisyum tetraklorür buharları geçirilir. Bu buharlar silisyum dilimleri üzerinden geçerken yüksek sıcaklıkta birbirleriyle aşağıdaki kimyasal olaya girerler.



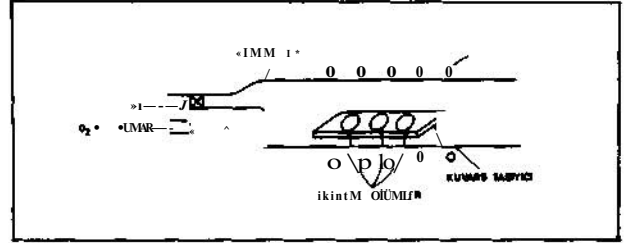
Kimyasal olayda açığa çıkan silisyum dilimlerin üzerinde yoğunlaşır ve bir billur biçimde büyümeyi sağlar. Reaktörün diğer yerleri soğuk olduğu için buralarda silisyum yoğunlaşması görülmez. Bu arada reaktöre giren gazlara B_2H_6 ya da PH_3 gibi ikincil maddeleri içeren gazlar da ilave edilerek yeni oluşan katmanın istenen türde olması sağlanır. Yalnız burada dikkat edilecek bir nokta vardır. Yukarıdaki kimyasal olay iki yönlüdür. Hidroklorik asit bu sıcaklıkta silisyuma ters ederek onu SiCl_4 'e dönüştürebilir. Ayrıca



olayı da olabilir. Bu nedenle uygun koşullar sağlanmadığında bir büyüme yerine bir azalma görülebilir. Ayrıca bir billur şeklinin devamı da ortamdaki SiCl_4 yoğunluğu ve sıcaklık gibi koşullara bağlıdır. Gerçekte büyüme ve azalma aynı anda devam eder ve uygun koşullarda saniyede bir mikronluk bir büyüme sağlanabilir. SiCl_4 yerine SiH_4 ün kullanılmasıyla daha hızlı bir büyüme sağlanabilir.

3. OKSİTLEME

Silisyum dioksidin bor ve fosforun yayılmasına karşı engellemesi silisyuma göre 10⁴ aşamasında daha fazladır. Bu yüzden iyi bir engelleyici olarak tümleşik devre yapımında kullanılmaktadır. Şekil 6'da bir oksitleme fırını gösterilmektedir. SiO_2 iki yolla elde edilir. Birincisi kuru oksit-

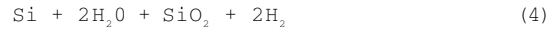


Şekil 6. Oksitleme

leme dediğimiz



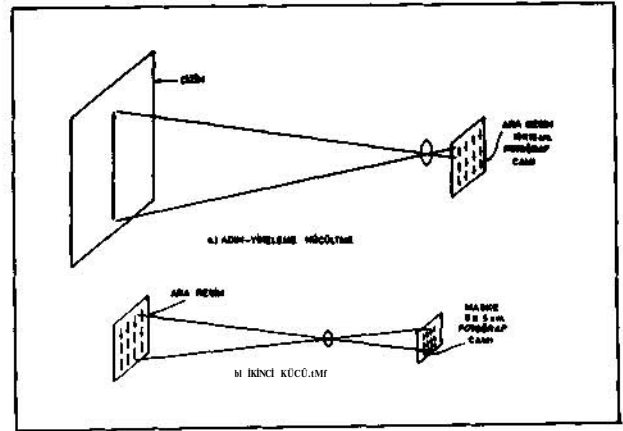
kimyasal olaydır. Bu yolla örneğin 1200 °C sıcaklıkta 1 saatlik bir süre sonunda 0,2 µm kalınlığında bir oksit katmanı oluşur. İkinci yöntem nemli oksitleme dediğimiz



olayıdır. Bu yolla yukarıdaki koşullarda (1200 °C sıcaklıkta 1 saat süre) 0,8 µm, kuru oksitlemenin dört katı bir kalınlıkta bir oksit tabakası elde edilir. Yalnız nemli oksitleme sırasında burada ayrıntılarına girmeyeceğimiz silisyum hidroksit grupları da oluşur ve oksit katmanının yoğunluğunu azaltır. Bu nedenle oksit yapımında kısa bir süre kuru oksitleme, sonra nemli oksitleme ve daha sonra yine bir kuru oksitleme programı uygulanır.

4. MASKE YAPIMI

Tümleşik devre öğelerinin elektriksel özellikleri bu öğelerin boyutlarıyla yakından ilgilidir. Örneğin çıkış katında kullanılacak bir güç tranzistorunun boyutlarına göre yüksek frekansta çalışacak hızlı bir tranzistorun boyutları çok küçük olacaktır. Bu boyutların en alt kısıtını maske yapımındaki inilebilecek en küçük toleranslar



Şekil 7. Maske yapımı

6. teknik kongre

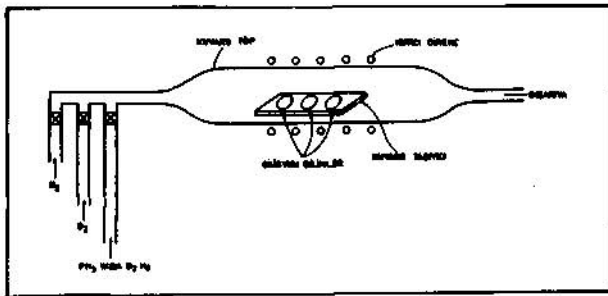
saptar. Genellikle maske çizimleri maskenin 400 katı büyüklükte yapılır. Bu durumda çizim ek aygıtlar kullanılmadan elle yapılabilir. Çizim için biri kırmızı-turuncu renkli diğeri saydam olmak üzere iki katmanlı genellikle 50 cmx50 cm boyutunda plastik yaprak kullanılır. Yayılmanın yapılacağı alanlar dışında renkli yumuşak katman kesilerek çıkarılır. Elde edilen çizim Şekil 7'de görüldüğü üzere 20 kat küçültülerek 10 cmx15 cm boyutundaki fotoğraf camı üzerine çekilir. Yalnız resim çekme işlemi 12 defa tekrarlanarak her sırada 4 resimden oluşan 3 sıra resim elde edilir. "Adım-Yineleme" yöntemi diyeceğimiz bu yöntemde resimlerin yerlerinin ve konumlarının büyük bir duyarlılıkla saptanması gerekir. Daha sonra ikinci bir 20 kat küçültme ile 5 cmx5 cm lik son maske elde edilir.

5. IŞIKBASIM

Oksitlemeden sonra silisyum diliminin yüzü, ışığa karşı gelince polimerize olup asit geçirirmiyen sağlam bir doku oluşturan ışık direnci (fotorezist) maddesi kullanılır. Koyu bir sıvı olan bu madde bir eğirmen (spinner) üzerine konulmuş ve bir hava emici ile yerinde tutulan silisyum dilimi üzerine damlatılır ve eğirmen 5000 d/d hızla döndürülür. Böylece gayet ince düzgün bir ışık direnci katmanını dilimin üzerine yayılır. Bu katmanın kalınlığı eğirmenin hızına bağlıdır. Silisyum dilimi sonradan 35-75°C'lik bir fırına konarak 10-15 dakika kurutulur. Önceden hazırlanmış ilgili maske kuru ışık direnci katmanının üzerine konur ve civa buharlı lamba ışığına on saniye tutulur. Banyo eriyiğinde banyo edilir. 35-75°C'da 15-20 dakika kurutulur. Mikroskopla görüntü incelenir ve 5/1 oranında damıtılmış su/hidrofluorik asit eriyiğine batırılır. 15-20 saniye bekletilerek oksit tabakası, ışık direnci maddesi olmiyan yerlerde giderilir. Daha sonra ışık direnci sülfürik asit içinde kaynatılarak giderilir.

6. YAYILMA

Yayılma işlemi Şekil 8'de gösterilen kuvars tüp fırında yapılır. Bu amaçla silisyum dilimler ya şekilde görüldüğü gibi yatay olarak, ya da taşı-

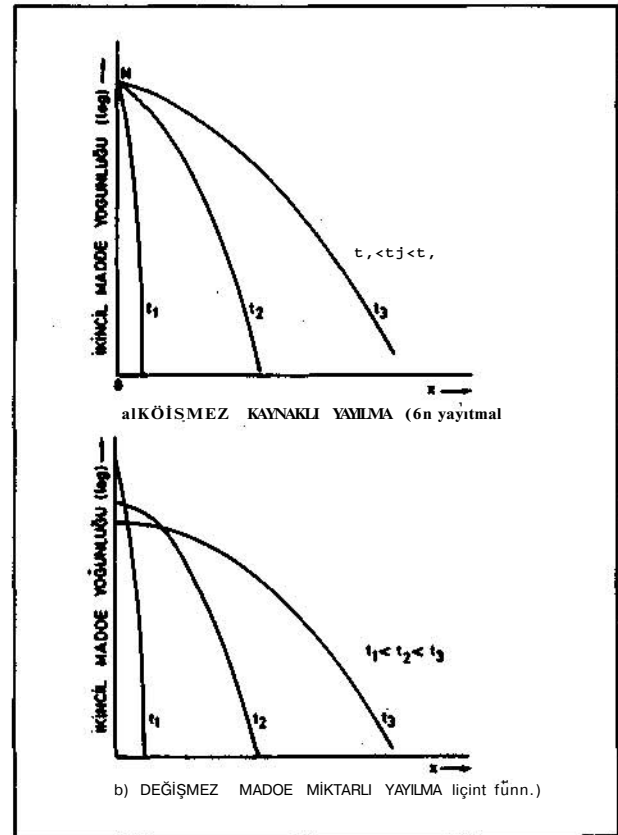


Şekil 8. Yayılma fırını

yıcı üzerindeki girintilere sokularak düşey bir durumda fırına sokulur. Azot gazı ile birlikte yayılmanın türüne göre PH_3 , B_2H_6 ya da başka ikincil madde gazları (ya da buharları) yüksek sıcaklıkta dilimlerin üzerinden geçirilir. Silisyum yüzeyinden içeri girebilen ikincil madde yoğunluğu, ikincil maddenin silisyum içindeki katı eriyebilirlik katsayısına ve sıcaklığa bağlıdır. Bu nedenle genellikle dilimlerin üzerinden geçen gazda bu katı eriyebilirlik katsayısının gerektirdiği yoğunluğun üstünde bir yoğunlukta ikincil madde bulundurulur. Bu durumda silisyum içindeki yayılma, değişmez kaynaklı yayılma koşullarını sağlamış olur ve bir boyutlu yayılma denklemi

$$N(x,t) = N_0 \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (5)$$

dir. Burada N_0 yüzeydeki ikincil madde yoğunluğu, D sıcaklığa bağlı yayılma katsayısı, x yüzeyden başlayarak derinlik ve erfc tümler yanılığ işlevidir. Şekil 9.a'da değişmez bir D için değişik zamanlarda derinliğe göre ikincil madde yoğunluğu eğrisi verilmiştir. Bu eğride yoğunluğun derinliğe göre değişimi çoktur. Bunu düzeltmek için, fırına giren ikincil madde kesilir ve si-



Şekil 9. Yayılmada derinliğe göre yoğunluk eğrileri

6. teknik kongre

lisyum dilimleri yüksek sıcaklıkta bir süre daha bırakılır. Bu durumda ikincil madde silisyum içinde yayılmaya devam eder ve aynı zamanda yüzdeki yoğunluk da Şekil 9.b'de gösterildiği gibi azalır. Böylece daha bir biçime yakın bir yoğunluk dağılımı elde edilir. Yayılma işleminin değişmez kaynaklı ilk evresine "ön yayılma", kaynak olmadan ısıtılarak elde edilen ikinci evreye de "içine sürme" denir. İçine sürme evresinde silisyum içindeki tüm ikincil maddenin yüzeyde toplandığını kabullenirsek

$$N(x,t) = \frac{Q}{\sqrt{Dt}} e^{-(x/2\sqrt{Dt})^2} \quad (6)$$

eşitliğini yazabiliriz. Burada Q önyayılma evresinde dilime giren ikincil madde miktarıdır ve 5. eşitlikten

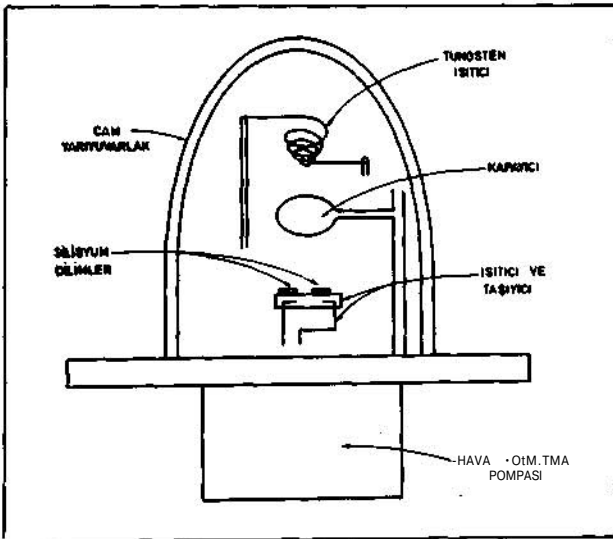
$$Q = 2N_0(Dt_1/TT) \quad (7)$$

bulunur. Burada D_i ve t_i ön yayılma katsayısı ve zamanıdır. En son yüzey direnci, yayılmadan önceki ikincil madde yoğunluğu ve p-n eklem derinliği bilindiğinde 5,6 ve 7. denklemlerden bir yayılma evresi tasarlanabilir.

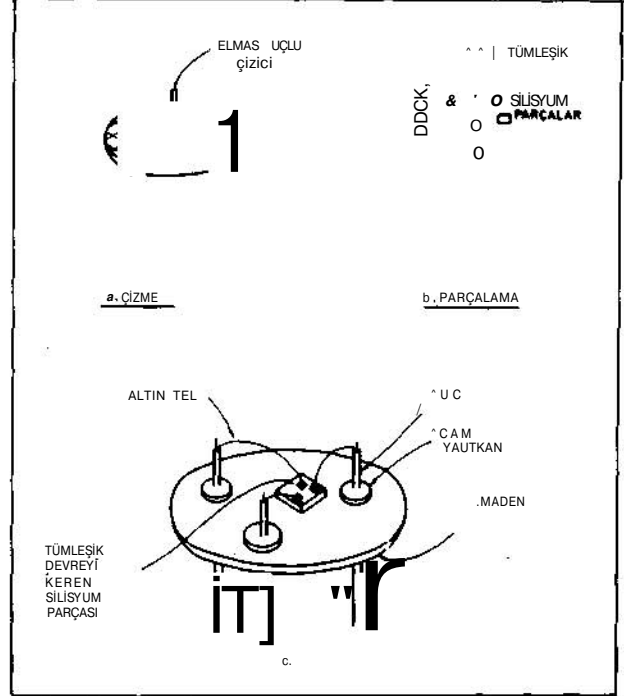
3.-6. bölümde anlatılanlar her p-n eklemi için yinelenerek gerekli tümleşik devre öğeleri yapılır. Her yayılma evresindeki içine sürme sırasında dilim üzerinden oksijen ya da buhar geçirilerek bir sonraki yayılma için oksit katmanı hazırlanır.

7. BAĞLAMA ÖRÜNTÜSÜ

Yayılmada olduğu gibi tümleşik devreye değme noktaları için bir maske hazırlanarak dilim üzerinde buralardaki oksit giderilir. Şekil 10'da gös-



Şekil 10. Metal kaplama



Şekil 11. Kesme ve paketleme

terilen metal kaplama aygıtına konur. Tungsten ısıtıcı içine kaplanacak maden (genellikle alüminyum) konur. Cam yarı yuvarlak içindeki hava emilerek basınç 10~" At aşamasına indirilir. Tungsten ısıtıcıya akım verilerek alüminyumun buharlaştırılarak soğuk silisyumun üzerini son derece düzgün bir şekilde örtmesi sağlanır. Bundan sonra bağlantı örüntüsü maskesi kullanılarak, bağlantıların bulunduğu yerlerde ışık direnci maddesi ışığa tutulur. Banyodan sonra istenmeyen yerlerdeki metal, silisyum diliminin alüminyum eritici bir asite batırılmasıyla giderilir.

8. KESME ve PAKETLEME

Birden fazla tümleşik devreyi veren silisyum dilim Şekil 11.a'da görüldüğü gibi elmas uçla çizilir. Şekil 10.b'de görüldüğü üzere parçalanır. Şekil 10.c'de görüldüğü üzere iletken bir yapıştırıcı ile tümleşik devre kapçığının metal dibine yapıştırılır. Bağlantı örüntüsünün uçları, kapçık uçlarına ince altın tellerle bağlanır. Kapçığın kapağı yapıştırılarak tümleşik devre dış ortamın etkilerinden korunur.

KAYNAKLAR

Grove A.S., Physics and Technology of Semiconductor Devices, John Wiley, 1967

Ghandhi S.K., The Theory and Practice of Microelectronics, John Wiley, 1968