

İnce Film Devre Teknolojisi

Yener GÜRLER
LONDRA

ÖZET

Uzun samandan beri sık sık sözü edilen ve birçok yabancı yayınlara konu olan ince (thin) film devreler hakkında genel bir malumat verilmiştir. İnce film devrelere temel olan evaporasyon ve sputtering metodları izah edilmiş ve devre fabrikasyonu için lüzumlu ön bilgi temin edilmiştir. İnce film teknolojisinin gerek optik ve gerekse elektronik ve endüstriyel alanda birçok tatbikatı bulunmaktadır.

SUMMARY

A general explanation is given about thin film circuits; since it has been the subject of many papers and is widely talked about in the scientific and technical journals. Thermal evaporation and sputtering techniques, which are the basic methods for thin film circuit manufacture are explained and a background knowledge for the circuit production is given.

There are numerous applications of thin film technology in the optics and electronics fields as well as in industry.

Giriş

H. dünya savaşından sonra elektronik endüstrisinde hafif, az yer kaplayacak, güvenilir ve ucuz cihazlara doğan ihtiyaç, imalçileri minyatürleşmeye doğru yönelmiştir. Bu cümleden olarak geniş çapta yapılan araştırmalar, elektronik bilimine her yıl teknolojik yenilikler getirerek, büyük adımlar atılmıştır.

1950 senelerinde yan iletken elemanların keşfi ve elektroniğe sokulması ile daha da hızlanan teknolojik gelişme, tahminlerin üstünde bir başarıya ulaşmıştır, tik zamanlarda kullanılmakta olan ve halene birçok tatbikat sahası bulunan baskı devreler (printed circuits), genellikle çeşitli plastik tabakaların üzerine ince bakır levhaların yapıştırılması ve bu bakırın kimyevi olarak işlenerek devre iletken şebekesinin meydana getirilmesinden ibarettir. Aktif ve pasif elemanlar, ayrı ayrı bu devreye lehimlenerek fonksiyon devresi halini almaktadır.

Yan iletken elemanlar boyut bakımından çok küçük yapıldığı gibi üstün karakteristikleri hızıdır, tşte yan iletken sanayiinde elde edilen bu ilerlemelere, baskı devreler ayak uyduramamakta ve yan iletkenlerle elde edilen üstünlüklerin tam olarak kullanılmasına engel olmaktadır. Bu sebepten dolayı, baskı devreler yerlerini, pasif elemanların da yapılabildiği ve yan iletkeni aktif elemanlarla rahatlıkla kullanılabilen, minyatür baskı devreler diye adlandırabileceğimiz, hacimce ve ağırlıkça daha küçük olan İnce film¹ ve kalın film devrelere terk etmeğe başlamıştır.

Minyatürleşme teknolojisindeki gelişmeler neticesi, elektronik cihazlarda elde edilen hacimce küçülme nisbi olarak Şekil 1'de gösterilmiştir.

Teorik bilgi

Metal veya yalıtkanların çok ince filmlerinin (birkaç bin Å e kadar) esas elementlerinden başka özellikler gösterdiği daha geçen asrın sonlarında birçok ilim adamları tarafından kaydedilmiş ve bu alanda geniş çalışmalar yapılmıştır.

İnce metal filmlerin birçok özellikleri yarım asırdır incelenmektedir. Metal filmlerin elektrik akımına gösterdikleri direncin, film kalınlığı ile ters orantılı olarak değiştiği görülmüş ve bu da, modern elektron teorisine dayanarak, elektronların film yüzeylerine çarparak ortalama serbest yollarının (mean free path) kısaldığı ve dolayısıyla direncin yükseldiği şeklinde izah edilmiştir. Buna göre bir metal filmin direnci

$$R = \frac{L}{wxt} \times \rho \text{ olarak verilebilir.}$$

Burada:

ρ : filmin öz direnci

L : filmin uzunluğu

w : filmin genişliği

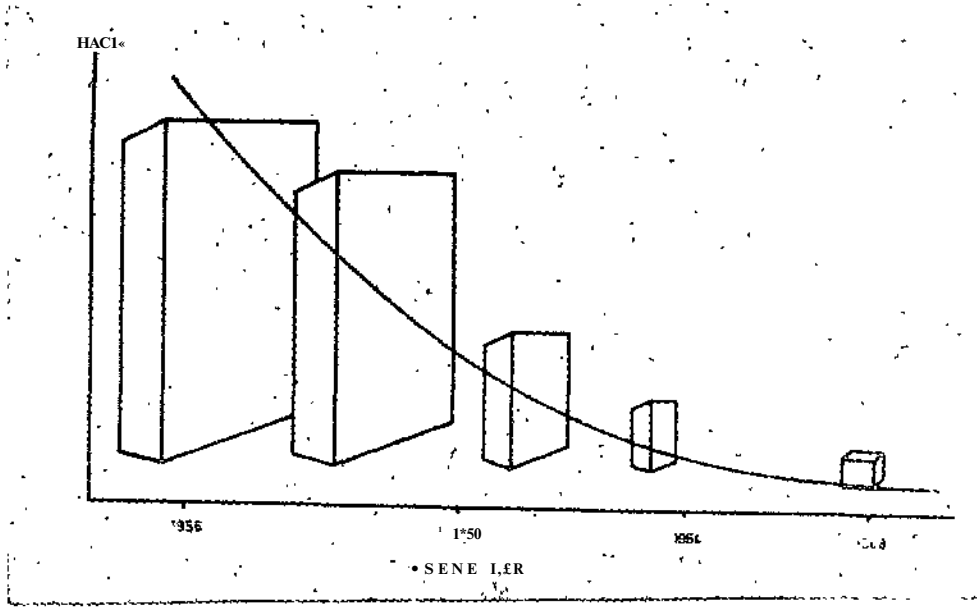
t : filmin kalınlığıdır.

İnce film çalışmalarında yukardaki formülde $L = w$ alınarak, direnç :

$$R = \frac{\rho}{t} \text{ formülüne göre Ohm/kare şek-}$$

linde ifade edilir.

İnce filmler, elementlerin düşük basınçlı bir ortam içerisinde buharlaştırılması ve bu buharın daha düşük sıcaklıktaki alıcı yüzey üzerinde yoğunlaşması ile elde edilirler.



Şekil 1 — Elektronik cihazlardaki niabi gelişmeler

Filmin alıcı yüzey üzerinde teşkil edilebilmesi için basınç, kaynak sıcaklığı, alıcı yüzeyin uygunluğu gibi birçok şartların gerçekleştirilmesi lazım gelmektedir. Buharlaşmış olan atomların alıcı yüzeyde toplanabilmesi için enerjilerinin yüksek ve sayılarının da bir kritik seviyenin üstünde olması lazımdır. Çünkü, yüzeye gelen atomların bir kısmı yüzeyden yansır. Yalnız yüksek enerjide olanlar yüzeyde tutunarak çekirdekler meydana getirirler. Sonradan gelen atomlarda bu çekirdekler etrafında toplanarak düzgün bir film tabakasının teşkilini eder.

İnce filmlerin yapısı ve karakteristikleri, yoğunlaşma şartları ile çok değişiklikler gösterdiklerinden bu değişkenlerin titizlikle kontrol edilmeleri lazımdır. Bu değişkenleri şöyle özetleyebiliriz :

- 1 — Evaporasyon odasındaki gazın cinsi ve basıncı
- 2 — Yoğunlaşan atomların sayısı
- 3 — Alıcı yüzeyin cinsi ve yüzeyel durumu
- 4 — Kaynak sıcaklığı ile etkilenen atomların hızı
- 5 — Depozite edilen materyalin filaman tarafından kirletilmesi
- 6 — Substrate (taşıyıcı veya alıcı) sıcaklığı, v.s.

İnce Film Elde Etme Usulleri

İnce bir film tabakası elde etmek için fizik ve kimyevi birçok metodlar kullanılmaktadır. Bunlardan bir kısmını şöyle sıralayabiliriz :

- 1 — Termal evaporasyon
- 2 — Sputtering
- 3 — Elektrikle kaplama
- 4 — Elektriksiz kaplama
- 5 — Buhar fazı depozisyonu
- 6 — Anodik oksidasyon
- 7 — Kimyevi depozisyon.

Bunlardan, ince film devrelerin imali için, proses değişkenlerinin kontrol edilebilme kolaylığı ve filmlerin uygun karakteristikleri nedeniyle, termal evaporasyon ve sputtering sistemleri en yaygın olarak kullanılan metodlardır. Anodik oksidasyon genellikle tek eleman olarak kapasitans imalinde, kimyevi depozisyon da, termal evaporasyonda olduğu gibi tek rezistans elemanlarının imalinde kullanılmaktadır.

1. Termal Evaporasyon :

Bu usul çok saf filmler elde edildiği ve değişkenleri hernekadar çok ise de kontrol edilebildiği için en yaygın olarak kullanılan bir usuldür.

$10^{-4} - 10^{-8}$ mm Hg basıncına kadar, havası bir difüzyon pompası yardımı ile boşaltılmış bir vakum odası içerisinde, evapore edilecek madde, çok kere bir metal filmandan yüksek akım geçirerek, bazan da elektron ışını ile ısıtılır. Buharlaşma noktasının üstünde bir sıcaklıkta, bu kaynaktan her yönde atom veya moleküller ya-

yılır. Buhar halindeki bu atomların, kaynaktan belli mesafeye (10-25 cm) konmuş taşıyıcılar üzerinde toplanması ile İnce film. ©İde edilir. Bir vakum odası şematik olarak Şekil 2'de gösterilmiştir.

Filaman, yüksek erime sıcaklığım haiz Mo, W, Ta, C, Pt, gibi metallere, depozite "edilecek materyale uygun bir şekilde yapılır. Bu filaman materyali, yüksek 'sıcaklıkta bazı elementlerle kimyasal reaksiyona' girebileceğinden, evaporasyonu yapılacak elemente en uygun filaman metali bulmak için araştırma yapmak gereklidir.

Yüksek akım ısıtması ile 1600° C a, elektron ışını ite 2500 - 3000°ye a kadar sıcaklıklar elde edilebilmektedir.

2. Sputtering :

Termal evaporasyondan çok daha önce kullanılmış olan bu usul, yüksek sıcaklığa İhtiyaç göstermez. Bu sebepten, yüksek sıcaklıkların istenmediği yerlerde ve buharlaşma sıcaklığı yüksek olan metallere depozisyonu için kullanılmaktadır.

Sputtering metodu, basıncı düşük bir gaz içerisinde, belli uzaklıkta iki elektrod arasında bir yüksek gerilim tatbik edilmesiyle meydana gelen deşarjdan faydalanmaktadır. Detayı Şekil 3'de gösterilen İbir sistemde, Bell Jar dediğimiz vakum odasının havası 10⁻⁴ mm Hg basıncına kadar boşaltılır. Sonradan sisteme bir asal gaz (genellikle Argon) zerk edilerek, basıncın 10⁻¹ -

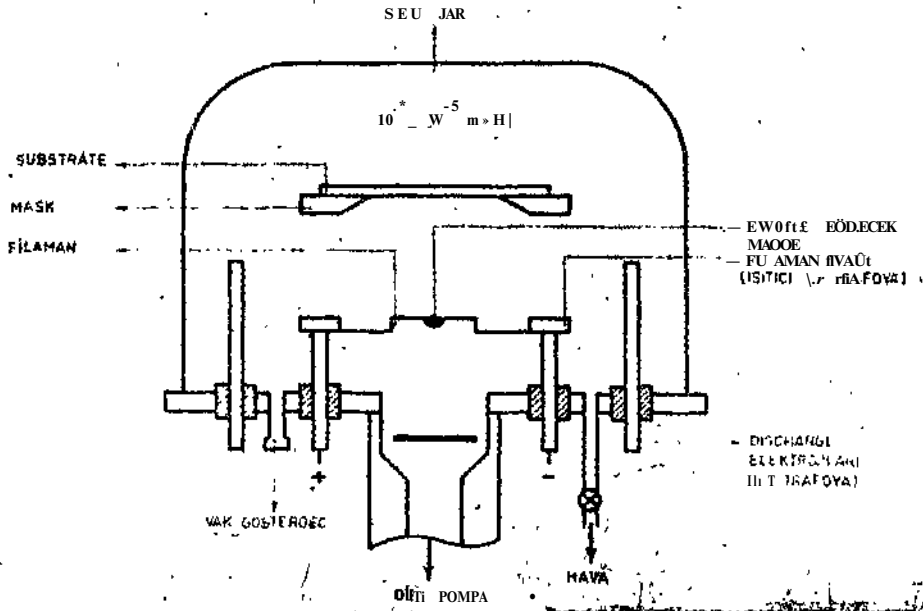
10⁻² mm Hg civarında sabit tutulması temin edilir. Depozisyonu yapılacak metal, levha halinde katoda, metal anod üzerine de yalıtkan taşıyıcılar yerleştirilmiştir. Katod-anod arasında 1-4 kV gibi yüksek bir gerilim tatbik edilince, pozitif asal gaz dyonları hızla katoda çarpmağa başlarlar. Bu hızlı iyonlar katoda çarpınca, mevzi olarak yüzeyi yüksek sıcaklıklara çıkar, buharlaşma meydana gelir. Nötrleşmiş olarak katoddan çıkan atomlarda anoda doğru hızla hareket eder ve orada bulunan taşıyıcılar üzerinde yoğunlaşarak bir film tabakasının meydana gelmesi sağlanmış olur.

Substrate (Taşıyıcı)

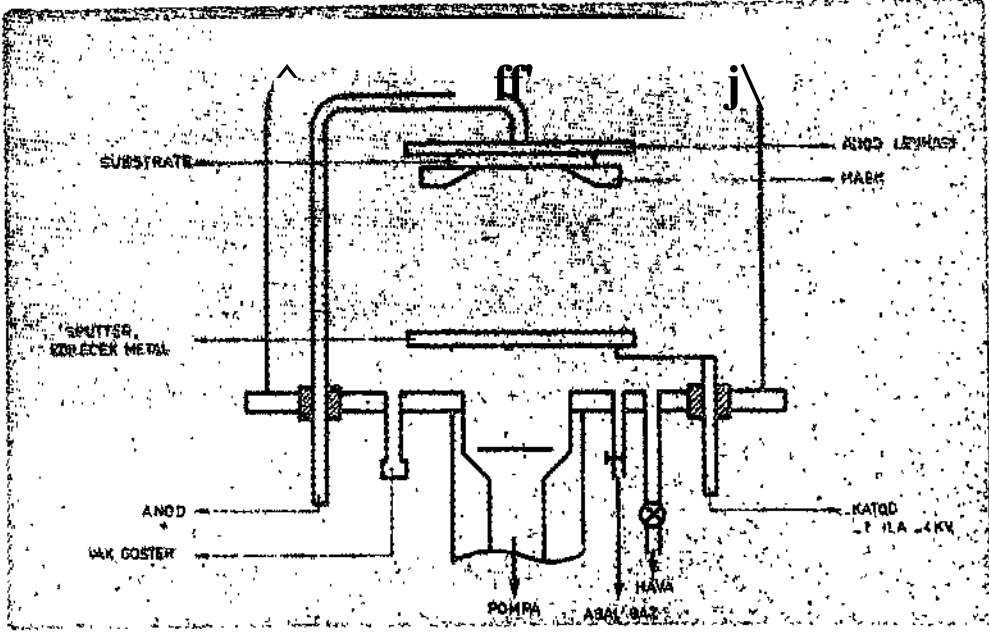
İnce film devrelerinin üzerinde yapıldığı yüzeye taşıyıcı (substrate) diyoruz. Film yapısı ve dolayısıyla karakteristiği, taşıyıcı yüzey ve kimyasal bileşimi ile etkilendiği gibi, filmin güvenilirliğinde büyük rol oynar. Çok küçük mükroskopik yüzeysel hataların ince film rezistansların stabilitesini ve hayatını etkilemiş, ve hatta rezistansların koparak bir açık devre meydana getirmiş oldukları çok kere görülmüştür.

Bu gibi hatalara meydan vermemek için, özel surette hazırlanmış, bileşimi ve yüzeysel durumu uygun cam (borosilica, silica v.s.) veya parlatılmış seramik (Al₂O₃) taşıyıcılar kullanılmaktadır.

İnce film çalışmalarında temizlik dikkat edilmesi en başta gelen bir konudur. Taşıyıcılar, önce özel kostikli temizleyicilerle ovularak yi-



Şekil 2 — Termal Evaporasyon aygıtının şematik detayı



Şekil 3 — Sputtering- aygıtının gematik detayı

kanır. Sonra, sulandırılmış kostikli temizleyici içinde ultrasonik temizleyicilerle temizlenip, damıtık su ile iyice durulanarak iso - propil alkol buharında kurutulmaları arzu edilen bir temizleme prosesidir. Bu şekilde temizlenmiş taşıyıcılar, açıkta bırakılmaz ve el dokundurulmaz. Eğer kaza il's bir taşıyıcıya el dokunmuşsa, bu taşıyıcı tekrar temizlenmelidir.

Taşıyıcı yüzeyine konacak çok küçük toz zercikleri, elde edilecek ince filmlerde delikcikler meydana getirerek zararlı olacaklarından, bütün çalışmaların temiz bir atmosfer içersinde olması tavsiye edilir.

İmalât

ince film devrelerin en mühim özelliği, küçük alan ve hacimlerde birçok rezistans, kapasitans gibi pasif elemanlarla, bu ve sonradan ilave edilecek aktif elemanları irtibatlayacak iletkenler şebekesinin aynı prosesle yapılabilmesidir.

Devre fabrikasyonuna geçmeden önce, devre dizayn edilerek, rezistans, kapasitans vö iletkenlerin boyutları ve yerleri tesbit edilir. Her bir eleman çeşidi (rezistans, kapaaitans, iletkenler), ayrı ayrı fakat sonradan üst üste konunca hatasız olarak çıkışacak şekilde, esas devrenin 20 -100 misli büyüklükte, küçük toleranslarla çizilirler. Çizimi müteakip, devre elemanları, koordinograf denilen çok hassas ve küçük toleranslı aletle, renkli jelatinle kaplı, saydam film üzerinde jelatinin kazınması ile yine ayrı ayrı meydana getirilirler. Bu şekiller, fo-

toğrafik olarak esas boya küçültülerek devre elemanlarının negatifleri elde edilir, ve böylece hatalarda küçültülmüş olur.

Devre imalâtı esas olarak iki şekilde yapılabilir :

- 1 — Maske ile
- 2 — Kimyasal yedirme (etoh) ile.

1. Maske Usulü :

Maskeler, 60 - 120 mikron kalınlığında paslanmaz çelik veya molibden levhalardan foto - resist ve kimyasal yedirme ile, istenen elemanın negatifi kullanılarak eleman şekline uygun yerlerde açılmış, taşıyıcı boyundan biraz daha büyük plakalardır. Bir evaporasyon için kullanılacak taşıyıcı sayısı kadar ve her eleman çeşidi için birer tane maske olmasının gerektiği hatırlanmalıdır.

Evaporasyon aygıtında bu maskeler taşıyıcıların önüne konarak, İlgili elemanın evaporasyonu yapılır. Maskeler değiştirilerek ve yine ilgili eleman evaporasyonu yapılarak taşıyıcı üzerinde devre tam olarak elde edilir.

Bu usulde, çok hassas maskelere ihtiyaç olduğu ve sık sık maskelerin değiştirilmesi için vakum sisteminin açılması gerektiğine dikkat edilmelidir.

2. Kimyasal Yedirme Usulü :

Bu usûlde, devre elemanları için evaporasyon ayrı ayrı kaynaklardan sıra ile yapılarak taşıyıcı yüzeyinin tamamı tabakalar halinde kaplanır. Böylece, vakum sistemi sık sık açılmaz ve bir çırpıda lüzumlu maddeler evapore edilmiş olur. Sonradan evaporasyonun aksi sıra ile uygun negatifler kullanılarak foto - resist ve kimyasal yedirme ile istenmeyen film atılarak devre imal edilir. Bu usûlde de her bir eleman çeşidi için yeni foto - resistin kullanılması lazım geldiğine dikkat edilmelidir..

Şekil 4, her iki usûlün proses basamaklarını göstermektedir.

İnce Film Elemanlar

1. İletkenler :

Al, Ag, Cu, Pt, Au gibi iyi iletken metallerin depoasyonu ile elde edilirler. Ne var ki, bu metaller taşıyıcılarla kimyasal bir bağ yapmadıkları için yüzeye yapışmaları zayıftır. Bunun önüne geçmek için istenen metal, önceden depozito edilmiş, 400 Å kadar bir kalınlıktaki Cr veya NiCr filmi üzerine depozito edilir. Cr, taşıyıcıda bol miktarda bulunan O_2 ile birleşerek yüzeye iyice yapışır ve sonradan depozite edilen metal ise Cr veya NiCr filme kuvvetli bir şekilde yapışır.

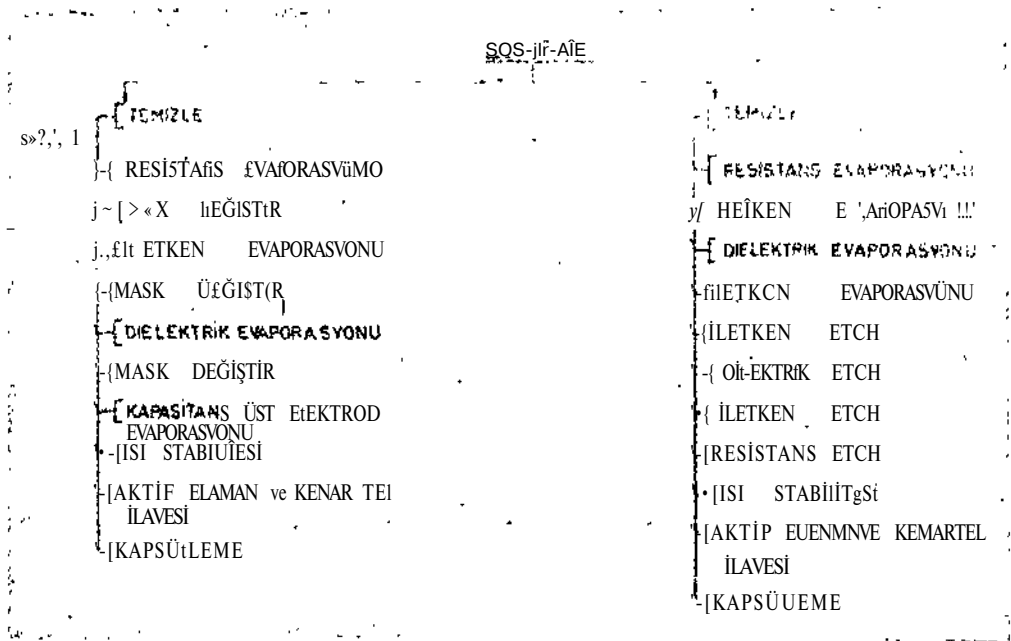
2. Dirençler :

Dirençler için NiCr, NiPt, Ni, Cr, Mo, Ta, W, Pt, Co, Cr-SiO gibi öz direnci yüksek metal,

alaşım veya karışımlar uygun sistemlerdir. Bunlardan NiCr en yaygın olanıdır. Cr-SiO sistemi de yüksek rezistans değerleri elde etmek için kullanılan son zamanlarda geliştirilmiş bir sistemdir. Her ikisi de termal evaporasyon için uygundur. Ta ise hem rezistans ve hem de anodik oksidasyon yaparak kapasitans imalinde kullanılabilir için sputtering metodunu benimsemiş müesseseler tarafından kullanılmaktadır.

100 Å dan daha ince filmler umumiyetle adacıklar halinde olduklarından devamlı değildirler ve genellikle kullanılmazlar. O halde elde edilebilecek en yüksek direnç bu kalınlıkta sınırlanmıştır. Diğer taraftan direnç jsi kat sayısı da bu kalınlıkta negatif ve büyük değerdedir. Buna göre 100 Å dan daha kalın filmlerin kullanılması uygun olur. 200 - 300 Å kalınlığındaki bir NiCr filmi, taşıyıcı cinsine göre 200-500 Ohm/karelik dirence ve ± 100 ppm/ $^{\circ}$ C lik rezistans ısı katsayısına sahiptir. Metal/dielektrik karışıma olan Cr-SiO filmler için, 500-3000 Å kalınlığında $R = 500 - 5000$ Ohm/kare ve $TCR = \pm 100$ ppm/ $^{\circ}$ C gibi değerler elde edilmektedir.

İnce film devrelerde, kullanılacak materyale göre belli bir Ohm/kare değeri elde etmek hedef alınarak evaporasyon yapılır. Devredeki direnç değeri bu Ohm/kare için kaç tane kare alaçağı hesap edilerek, dirençlerin en ve boylarını tesbit etmek üzere dizayn yapılır. Elde edilecek dirençler $\pm \% 10$ toleransa sahiptirler bu iyi bir sonuç olarak kabul edilmelidir.



Şekil 4 — İnce film devreler için proses basamakları

3. Kapasiteler :

Kapasitans elektrodlarj diğer iletkenler gibi elde edilirler. Dielektrik ise SiO₂, SiO₂ ve magnezyum florkin evaporasyonu, Al, Ti, Zr, Nb ve Ta'un anodlk oksidasyonu veya floidler ve sülfatların kimyasal depozisyonu ile elde edilmektedirler. Son yıllarda polimer filmler de büyük alaka görmüşlerdir.

Dielektrik sabiteleri $K = 2 - 5$ arasında değişen bu filmlerin kalınlıkları bir kaç bin Å kadar olduğundan pratikte $0,1 \text{ } \mu\text{F}/\text{cm}^2$ gibi bir kapasitans değeri elde edilebilmektedir.

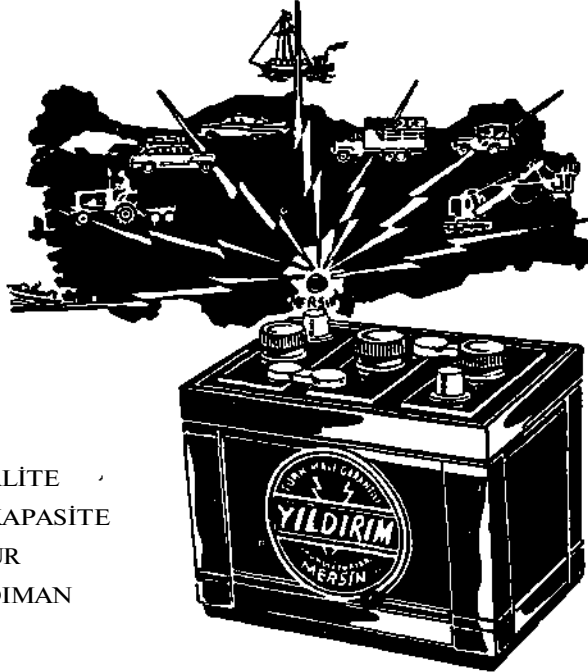
İnce filmlerde sık sık rastlanan ve birçok sebebi olan «pin hole» denilen mikroskopik delikler sebebiyle sağlam kapasitansların sayısı azalmakta ve dolayısıyla kapasitans imali pahalıya gelmektedir. Bu sebepten dolayı, ayrıca imal edilmekte olan çok küçük tip kapasitansların sonradan devreye aktif elemanlar gibi ilave edilmesi daha ekonomik olduğundan tercih edilmektedir.

Sonuç

İnce film teknolojisi gelişmiş memleketlerde gerek üniversite ve gerekse endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Tatbikat alanlarından; yüksek kaliteli ve stabilitede tek eleman olarak rezistanslar, enfraruj filitreler, optik ve adi aynalar, yalıtkan yüzeylere lehim veya kaynak yapılmasında ve bazı yüzeylerin korunmasında yardımcı eleman, yan iletken entegre devrelerin iletkenleri ve bazen rezistansları, İnce film transducerler, ince film termometreleri zikrediliriz.

İnce film devreleri zincirleme üretimin mümkün olmaması, otomatikleştirilememesi, çalışan işçi ve teknisyenlerin iyi yetişmiş kimsteler olması ve işyerlerinin tamamen temiz olması için büyük yatırımlar istemesi gibi sebeplerden dolayı pahalı bir proses olmaktadır. Bu gibi ekonomik sebeplerden dolayı ince film devreler beklenen neticeyi vermemişlerdir, fakat halen yüksek kaliteli devre imali için birçok firmalar tarafından kullanılmaktadır.

YILDIRIM AKÜ VE PLÂKALARI



ÜSTÜN KALİTE
YÜKSEK KAPASİTE
UZUN ÖMÜR
TAM RANDIMAN

Servis :

Sayhan Caddesi No. 117

TPL. 3567T - A. NA

Fabrika :

Nusratiye Mahallesi 41

SOĞAK NO. 9 MERSİN

SAĞLAM - UCUZ ve BİR SENE GARANTİLİDİR.

YILDIRIM KOLEKTİF ŞİRKETİ
CUMALİ ÖZBELLİ VE ORTAKLARI