

TÜRKİYE'DE VLSI YAPIMI

Tacettin IŞIK

ÖZET

Silisyum tümdevrelerin dünyada ve Türkiye'deki gelişiminden kısaca bahsedilecek, bir VLSI tümdevrenin ne olduğu ve hangi aşamalardan geçerek oluşturulduğu, bunun için gerekli donanımın ne olduğundan söz edilecek, Türkiye'de şu anda varolan olanakların ve özellikle YİTAL'in tanıtımı yapılarak, gelecekteki muhtemel gelişmeler anlatılacaktır.

1. Giriş

Tümdevreciliğin ustası Jack Kilby, 1958 sonbaharında dünyadaki ilk planar tümdevreyi çalıştırmıştı [1]. Planar tümdevre teknolojisi, geçen 30 yıl boyunca, bir önceki otomotiv sanayii devriminin çarpıcılığını çok geride bırakan bir hızla gelişerek, yepyeni bir devrim oluşturmuştur. Bugün sözü pek sık edilen "ileri teknoloji (high tech.)" ve "enformatik çağı" gibi oluşum ve kavramlar bu teknolojiye çok şey borçludurlar. Tümdevreler, gerek kendi yapımlarında kolaylık ve yenilik sağlayan tekniklerin gelişmesine, gerekse de enformasyon ve iletişimin başdöndürücü boyutlarda artmasına yardımcı olarak bir pozitif geribesleme yaratmışlardır.

Kilby'nin germanyum tümdevresi, yerini kısa sürede bu biçimde işlenmeye çok daha elverişli olduğundan silisyum olanlara bırakmış, üretilen işlemsel kuvvetlendiriciler ticari olarak da satışa sunulmuştur. Çalışma prensibi yüzyılın başından bu yana bilinen MOS tranzistörlerin da tümdevre üzerinde yerini alması ve hatta çok daha kolay oluşturulabilmesi teknolojiyi kamçılayan etkenlerdendir. Her yıl, daha da küçülen eleman boyutları, büyüyen kırımlık (chip) alanları ve yeni tekniklerin eklenmesiyle, gelişimini sürdüren tümdevreler, yakın geleceğin de sürükleyicileri olmaya devam edecek görünmektedirler.

Dünyada bugün her taşın altından tümdevre çıkarırken, Türkiye'de bundan bir ölçüde payını almaktadır. Başlangıçtan itibaren, gerek cihaz elemanı, gerek devre tasarımında büyük kolaylık sağlayan yapıtaşları, gerekse de amatör oyuncuğu olarak bolca kullanılan tümdevrelerin yapımı ilk olarak 1974'de İTÜ Elektrik Fakültesi Mikroelektronik laboratuvarında gerçekleştiril-

miştir [2]. Kısıtlı olanaklara, ayak uydurmak için seçilen spin-on teknolojisi, PMOS tümdevrelerin yapımına elverişli, çalışmalar araştırma düzeyinde sürdürülerek pek çok tümdevre oluşturulmuştur [3]. Bu laboratuvar da LSI düzeyinde tümdevrelerin yapımı da denenmiştir [4], [5].

Türkiye'de tümdevre yapımı ile ilgili ikinci girişim TESTAŞ (Türkiye Elektronik Sanayii Ticaret A.Ş.) bazında oluşturulmuş, bu kuruluş bir Amerika Birleşik Devletleri firması olan EXAR ile know-how anlaşması imzalayarak lineer-bipolar tümdevrelerin üretimi için gerekli yatırımı yapmıştır. 1970'li yılların sonlarına doğru ortaya çıkan bu gelişmeye paralel olarak, yine TESTAŞ ile MAE (TÜBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsü) arasında yapılan bir anlaşmayla (Yarıiletken Teknolojisi Araştırma Laboratuvarı) kurulmuştur, YİTAL'in İTÜ Mikroelektronik Laboratuvarı elemanlarının danışman ve kuruculuğundan, TESTAŞ'ın EXAR'dan satın aldığı know-how'dan ve TÜBİTAK MAE'nin genel imkanlarından yararlanarak, hem TESTAŞ ve hem de tüm ülke için konu üzerinde araştırma ve geliştirme yapan bir laboratuvar olması planlanmıştır.

YİTAL'in başlangıçta ortaya konan görevlerinin pek çoğunun kotan id işi söylenebileceken, TESTAŞ bu yazının ileri kısımlarında söz edilecek çeşitli zorluklar nedeniyle üretime geçmekte gecikmiştir. Kuruluşunu 1983 yılında tamamlayan YİTAL'den başka Türkiye'de çeşitli üniversite ve araştırma kurumu bünyesinde silisyum üzerine laboratuvarlar kurulmuş, ya da kurulma girişiminde bulunulmuş, ancak bunlar çalışmalarını genellikle tek devre elemanı ile sınırlı tutmuşlardır [5].

Son zamanlarda kapı dizisi (gate array) ve "uygulamaya özel tümdevre" (application specific IC, ASIC) tekniklerinin dünyada gelişmesi ve tasarımcı ya da kullanıcıya yalnızca bir bilgisayar yardımıyla tasarım (CAD) cihazı kullanarak tümdevre sahibi olma imkanı tanınması, yeni girişimlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu konuda TELETAS, TÜBİTAK AEAE ve Bilkent Üniversitesi başı çekmektedir. Ayrıca YİTAL'de de VLSI tümdevrelerin üretimi için gerekli yapılaşmaya gidilmiştir.

2. Tümdevre ve Geniş Ölçekte Tümdevre (VLSI)

Bir tümdevre (entegre veya tümleşik devre de tabir edil-

mektedir), en çok kullanıldığı biçimiyle, üzerinde pn jonksiyonlarının, dirençlerin ve kondansatörlerin oluşturulduğu ve bunların birbiriyle uygun biçimde bağlandığı, sonra da gerekli uçların çıkarılarak koruyucu ve elle tutulabilir bir kılıf içine konulmuş ve tek başına bir işlevi olan silisyum parçası olarak tanımlanabilir. Silisyum parçanın tek başına kendisine "kırıkk (chip)" adı verilmektedir. Tümdevreler, üzerlerindeki eleman sayısına göre sınıflandırılabilirler gibi (SSI, MSI, LSI, VLSI, ULSI), elemanların yapılarına (bipolar, MOS), çalışma biçimlerine (lineer, digital) ya da hızına (VHSIC) göre de sınıflandırılmaktadırlar. Bir tümdevre hem lineer, hem bipolar hem de LSI sınıflarına girebilir. Burada, lineer, digital, bipolar ve MOS gibi kavramlara okuyucunun aşına olduğu varsayılacaktır. Ayrıntılı bilgi için çeşitli kaynaklar önerilmiştir [6], [7], [8]...

Eleman sayısına göre yapılan ölçek sınıflaması çeşitli biçimler almaktadır. Tümdevre yapımcıları bir tranzistoru, kullanıcı ise örneğin bir kapıyı eleman olarak görmeyi tercih etmektedir. Burada eleman olarak tranzistor alınacak ve Tablo 1'deki sınıflama tercih edilecektir.

Tablo 1:

Sınıf	Eleman Sayısı
SSI	$1-10^2$
MSI	10^2-10^3
LSI	10^3-10^4
VLSI	10^4-10^5
ULSI	$>10^5$

Tablo Vden kapı sayısına geçilmek istendiğinde kapı başına düşen ortalama tranzistor sayısına gerek duyulabileceğinden, iyi tasarlanmış bir tümdevrede bu sayının 2 civarında olacağını belirtmekte yarar vardır.

Açıktır ki, kırıkk üzerindeki tranzistor sayısı arttıkça, kırıkk alanı, güç yayını, maliyet, kılıf hacmi, bacak sayısı, gecikme, tasarım süresi (RAM, ROM gibi tekdüze devrelerde bile) büyüyecek, tranzistor boyutları ise küçülecektir. Kısıtlamalar ortadan kalktıkça, bir kırıkk-taki tranzistor sayısı geçen her yıl yaklaşık ikiye katlanarak artmıştır ve bu süreç halen devam etmektedir. Örnek olarak tekdüze olmayan tümdevrelerde VLSI'ya 1970'lerin ortalarında geçildiği, elemanları oluşturan mikroyapıların minimum boyutlarının 1973 sıralarında 10 Hm, 1975'de 5 jm, 1977'de 3 um ve 1982'de 1.5 nmye indiği söylenebilir. Günümüzde 1Mbit dinamik Rampler piyasadan satın alınabilmekte, 16Mbit DRAM'lar laboratuvarlarda üretilebilmektedir. Bu yüzden VLSI'nın üst sınırı olan 100 000 sayısı zihinlere küçük gelmeye ve bu sınır yukarıya kaydırılmaya başlanmıştır.

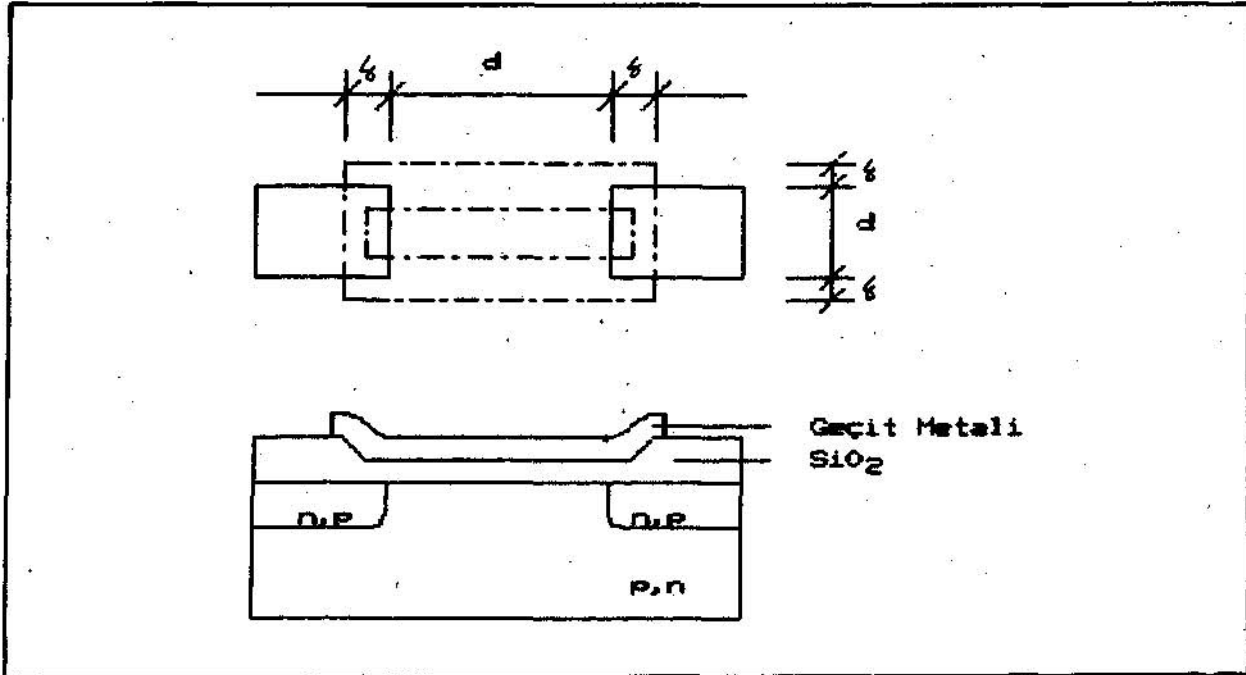
3. VLSI Yapımı

VLSI üretmek, daha küçük ölçekte tümdevre ve güneş pili, DMOS tranzistor gibi elemanları üretmeyi de mümkün kıldığından burada yalnızca VLSI üretmekten söz edilecektir. öncelikle bir kırıkk üzerinde 10 000'den fazla tranzistor oluşturmamanın anlamını veren sayılara göz atmak gerekebilir.

Gerçekleştirilecek kırıkkın alanına A_g , minimum boyuta d denilirse, Şekil 1'de çizilmiş en basit bir MOS tranzistorun alanı

$$A_T = (2d + 28)(2d + 45) \quad (3.1)$$

(3.1)



Şekil 1: Bir MOS tranzistorun yerleşim planı ve kesit diyagramı

olacaktır. Bu değer, komşu tranzistorlara her yandan olan 0.5d uzaklığını da içermektedir. 5, bir tabakadan diğerine olan bindirme toleransı olup yaklaşık

$$S - d/3 \quad (3.2)$$

alınabilir. 3.2 ve 3.1'den

$$Ar = (32/3) d^2 \quad (3.4)$$

hesaplanır. Kırmık ve tranzistor alanları arasında

$$A_k > - 10^4 A_T \quad (3.4)$$

bağıntısı olduğu VLSI tanımında verildiğinden ve 3.3'deki katsayı da çok kaba olarak 10 alınırsa 3.4 yerine

$$A_k > - 10^5 d^2 \quad (3.5)$$

yazılabilir. Kullanılabilir ve gerçekleştirilebilir kırmık boyutları 1 mm² den 100 mm²'ye değişmektedir. Böylece bir d_{maks} için

$$1/(100/10) \text{ mm} \leq d_{maks} \leq - 1/(1/10) \text{ mm} \quad (3.6a)$$

ya da yaklaşık

$$3 \mu\text{m} \leq d_{maks} \leq 30 \mu\text{m} \quad (3.6b)$$

olur. 3.6, "30. u.m'lik minimum boyut kullanıldığında 100 mm²'lik bir kırmığa 10 000 tranzistor ancak sığar, 3 nm'lik boyut kullanıldığında ise 1 mm'den büyük her kırmığa 10 000'den çok tranzistor sığar" anlamındadır, d - 3 μm ve ^ - 100 mm² için tranzistor sayısı 10⁶ olmakla birlikte, gerçek tümdevrelerde, ne Şekil 1'deki gibi en-basit tranzistor, ne de başlangıçta varsayıldığı gibi bunca tekdüze yapılar kullanılmadığından, A_k - 100 mm² için tranzistor sayısının 10⁵'i geçmeyeceği söylenebilir. O.halde d - 3 μm VLSI için uygun bir değerdir denilebilir.

Bu durumda, VLSI yapımı herşeyden önce, silisyum üzerine 3 μm genişliğinde şekiller aktarabilecek fotolitografi düzenlerine gerek göstermektedir. Bir tekkrystal (mono crystaline) silisyum pul (wafer) çok sayıda kırmık elde etmeye elverecek kadar geniş (70 mma - 200 mmo) olduğundan, sözkonusu düzenlerin, sağlam çıkacak kırmık sayısını en çokta tutacak biçimde, bu aktarma işlemini hatasız yapmaları da beklenmelidir. Günümüzde, bu özellikleri sağlayan, hatta d < 0.5 μm yapmayı mümkün kılan düzenler mevcuttur [9].

öte yandan, bu kadar küçük boyutlu bir tranzistor gerçekleştirildiğinde, birtakım elektriksel sorunların ortaya çıkacağı açıktır. Şekil 1'deki düşey kesite göz atıldığında, kaynak (source) ve savak (drain) bölgeleri arasındaki uzaklığın, en azından bu ikisi arasında uygulanacak gerilimi sınırlayacağı görülebilir. Bunun nedenleri yatay difüzyon, erişme (punch through), belverme (breakdown), sıcak elektron enjeksiyonu (hot electron injection) gibi fiziksel etkilerdir [groove], [tsividis]. Bu etkileri en aza indirmek için klasik difüzyon teknikleri yerine iyon ekme (ion implantation) tekniğini kullanma zorunluluğu doğmaktadır [9], [10].

Ayrıca yapımı en az sayıda işlem adımıyla

gerçekleştirmek için, düşük basınçta SiH₄ gazından Si, SiO₂ ve Si₃N₄ yoğunlaştırma, plazma yardımıyla aşındırma, metal kaplama cihazları, kimyasal işlem tezgahları, proses içi ve sonrası ölçme cihazları, bütün bunların bulundurulacağı tozsuz ve sıcaklık kontrollü bir ortam ile doğal olarak yeterli ve gerekli sayıda bilgili, deneyimli, eline becerikli personel gibi unsurlara da ihtiyaç vardır. Kullanılacak cihaz ve malzemenin hemen tamamı ise özel ve dünyada sayılı birkaç firmanın tekelinden satın alınmak zorundadır. Tablo 2, yukarıda kısaca gerekliliğinden bahsedilmiş modern cihazlardan bazılarının fiyatlarını ortaya koymaktadır.

Tablo 2:

Hizalayıcı - ışıklandırma	1M\$
İyon ekici	1M\$
LPCVD (poliSi ve nitrür için)	0.4M\$
Sputter (Metal kaplama için)	0.6 M\$
Plazma aşındırıcı (4 adet)	1.2 M\$
Difüzyon fırını (5 adet)	0.5 M\$

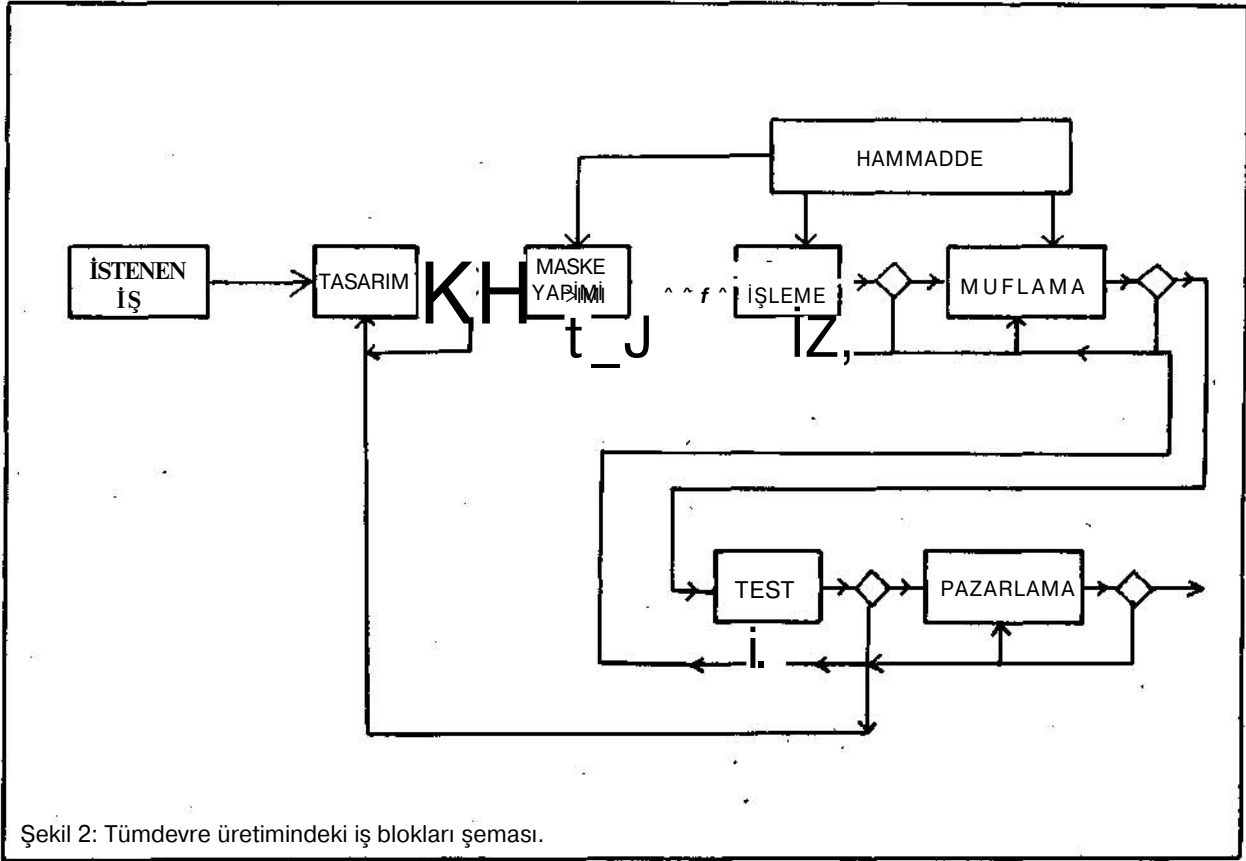
Gerekli teçhizat, malzeme ve fabrika gibi sabit yatırımın yanı sıra, sarf malzemesi ve personel ücretleri gibi sürekli giderlerin de yüksek olması, bu teknolojinin, özel bazı tümdevrelerin dışında, Türkiye gibi pazarı küçük ülkelerde üretim yapmayı kârlılıktan uzak tutmaktadır. Bu konuda bir fikir vermek üzere MSI yapabilecek ve nispeten eski teknoloji kullanacak bir fabrika için 20 M\$'in, özel birtakım VLSI'lar yapabilecek bir fabrika için 40 M\$'in üzerinde, dünyadaki tümdevre üreticisi firmalarla dünya pazarında rekabet edebilecek bir fabrika için ise 200 M\$ civarında yatırım gerektiği söylenebilir.

Şekil 2, tümdevre üretimindeki iş bloklarını basitçe göstermektedir. Diyagramdaki eşenar dörtgenler bilgi ya da ürünün geri dönüş noktalarını belirtmektedir. İş bloklarının ayrıntısına inildiğinde, tümdevre yapımının nasıl çok disiplinli bir işlem olduğu görülebilir. Teknoloji başta Elektronik Mühendisliği olmak üzere Kimya, Fizik, Matematik ve Üretim Ekonomisi gibi uzmanlıkların ince-liklerinden çokça yararlanmaktadır.

Aşağıda kısaca her blokta yapılan işlemler ile gerekli personel ve teçhizattan söz edilecektir.

3.1. Tasarım

Pul işleme teknolojisinin imkanlarının belirlendiği tasarım kuralları esas alınarak, öncelikle kırmığa yerleştirilecek elektronik devrenin devre tasarımı, simülasyonu, mümkün olabiliyorsa parça parça kurularak çalıştırılması ve kırmığın geometrik yerleşim planı (layout) bu aşamada yapılmaktadır. Büyük ölçüde bilgisayar çalışması gerekmektedir. Günümüzde, devre çizimi, simülasyonu, yerleşim planı çizme gibi işlemlerin tümünde yardım sağlayan iş birimleri (vorkstation) satın alınabilmektedir.



Bu amaçla kişisel bilgisayarlar kullanılabileceği gibi, büyük bilgisayarlara bağlı terminallerden yararlanmak da mümkündür. Dolayısıyla, işin kapsamına bağlı olarak, birkaç bin ile birkaç yüzbin arasında ABD doları yatırım sözkonusu olabilmektedir.

Doğal olarak buradaki en önemli unsur kalifiye mühendis kadrosudur. Personelin lojik tasarım bilgisine sahip olmasının yanı sıra, tümdevre yapımına özgü devre tekniklerini, gerektiğinde tek bir devre elemanından yararlanabilme hilelerini, teknolojiyi ne denli zorlayabileceğini de bilmesi gerekmektedir. Ayrıca, ihtiyacı tam olarak anlayıp, çıkmaz durumlara çözüm bulma yaratıcılığı da bu kadronun başlıca özelliklerinden olmalıdır:

Tümdevre üretim yerleri, genellikle "boru hattı (pipeline)" prensibiyle çalıştılarından bir kırmağın üretim zamanının büyük bölümü tasarım sırasında harcanmaktadır. Bu yüzden ve her ihtiyaca çözüm getirebilen tasarım kadrosunun oluşturulmasında zorluk nedeniyle üreticiler, "yarı-özel (semicustom)" ve "uygulamaya özel (ASIC) tümdevre" kavramlarını müşterilerine tanıtip, tasarım bölümlerinin hiç olmazsa bir kısmını dışarıya, müşteriye, taşıma yoluna gitmektedirler. Tümdevre tasarım merkezleri (design center) bu biçimde doğmaya başlamıştır. Bunun için üreticinin verdiği destek, bir tasarım kuralları kitabı ve hazır yapılmış devre blokları katalogudur. Müşteri kurallara uyararak katalogtan seçtiği blokları, kendi amaçları doğrultusunda ve tabii bilgisayar kullanarak birleştirir. Gerisi, hemen hemen tamamen bilgi-

sayarın işidir. Sonuçta ortaya çıkan yerleşim planı, üretici tarafından kullanılacak ve kırmağın üretilcektir.

Tümdevre üreticileri, yerleşim planı hazır olduğu takdirde, kırmağın üretimi için 2 hafta gibi kısa süreler verebilmektedir. Ancak tam özel tümdevreler için tasarım süresi yıllarla ölçülebilmekte, üretim süresi ise 6-7 hafta olabilmektedir.

3.2. Maske Yapımı

Tasarımda ortaya çıkarılan yerleşim planı, bir bilgisayar verisinden başka birşey değildir. Planın silisyum üzerine aktarılabilmesi, bir maske camı üzerinde sonuçtaki boyutlarında oluşturulabilmesine bağlıdır. Her ne kadar "elektron demet litografisi" ve "lazer pantograf is" gibi tekniklerle bu veriyi pul üzerine doğrudan aktarma çalışmaları sürüyorsa da, VLSI için maske kullanımı gerekli ve yeterli olmaktadır.

Maskelerin hatasız olma zorunluluğu ek bir yük getirdiğinden ve bir maske binlerce kırmağın üretiminde kullanılabildiğinden, tümdevre üreticileri bu işlemi de dışarıda "maske evreleri (mask house)" inde yaptırmayı genellikle tercih etmektedirler.

İş için gerekli minimum teçhizat, son derece tozsuz bir ortam, bir "şekil üretici (pattern generator)" veya daha iyisi elektron demetiyle maske yapım düzeni ve maske developman teçhizatıdır. Parasal karşılık olarak 0.3 ile 10 milyon ABD doları gerektiği söylenebilir. Kadro birkaç

kalifiye teknisyen, bir mühendis ve cihaz bakım personelinin olmasıdır.

3.3. Pul işlem*

Maskelerdeki şekillere ve kullanılan teknolojinin kurallarına uygun olarak, devre elemanlarının pul üzerinde oluşturulması işlemidir. VLSI üretiminin en kritik aşaması olan pul işleme aynı zamanda gerek teçhizat, gerek personel ve gerekse bilgi (know-how) açısından en çok yatırımı gerektiren aşamadır. Gerekli teçhizat ve personel, teknolojiye ve üretim kapasitesine bağlıdır.

3.4. Kılıflama

Yukarıda da söz edildiği gibi, pul işlemenin sonunda ortaya çıkan, 75-200 mm çaplı bir silisyum pulun üzerinde tekdüze sıralanmış yüzlerce tümdevredir. Kullanıcının bunları kendi sistemine bağlayabilmesi için yapılan pul inceltme, keserek kırıklara ayırma, bozukları ayıklama, kılıfa yapıştırma, tel bağlama ve kılıf kapatma işlemlerinin tümüne kılıflama (encapsulation) denmektedir. Metal, seramik ve plastik tipte kılıflar kullanmak mümkündür. Bir kırığın maliyeti, kırığın kendi maliyetinden yüksek olabilmektedir.

Gerekli yatırım, kullanılacak kılıf tipine ve üretim kapasitesine bağlıdır. YİTAL, 200 kırık/gün kılıflama kapasitesinde çalışabilecek cihazlara sahipken (metal veya seramik) TESTAŞ'ın tam otomatik cihazlarla plastik tipte kılıflama olanağı vardır.

Personel sayısı da kılıflama teknolojisine ve üretim miktarına bağlıdır, örneğin, otomatik olmayan cihazlara sahip YİTAL'in, sözkonusu kapasite için günde 8 saat çalışacak 3 operatöre gereksinimi vardır.

3.5. Test

Üretim aşamalarının aralarında kalite kontrolü, kılıflama öncesi kırıkların elektriksel ayıklanma ve kılıflama sonrası elektriksel, mekanik ve güvenilirlik denemeleri, tümdevre üretiminde test işlemlerini oluşturur. Proses içi ölçmeler, girdilerin gözden geçirilmesi ile başlayıp, eleman testlerine kadar sıralanabilir. Ayrıca, kılıflama işlemleri sırasında yapılan özel testlerde vardır.

Testlerden geçmeyen Si pullar ve kırıklar, mümkün olduğunca erken seçilip atılmalıdır. Aksi takdirde, işe yaramayacak malzemeyi işleme tabi tutmak para kaybı olacaktır.

Testlerden en çok önem taşıyan en büyük yatırımı gerektirmesi nedeniyle fonksiyonel testlerdir, özellikle VLSI devrelerin gerçekten sağlam olduğunu söylemek zordur. Ayrıca, kimi durumlarda bir kırığın bozuk olmayan kısımlarını müşteriye daha ucuza satmak da mümkün olabilmektedir, örneğin 512 Kbit'lik bir bellek kimliğinde bir tranzistor çalışmasa, o tranzistorun bulunduğu kırık yarısı ve o yarısı adresleyen tümdevre bacağı yoksayılarak, kırık 256 Kbit'lik gibi satılabilir.

Dolayısıyla test işlemi yalnızca "çalışır-çalışmaz" biçiminde değil, çeşitlenmeye elverişli biçimde olmalıdır.

Gerekli yatırım ve personel kırmık çeşitliliğine, üretime, pul işleme teknolojisine ve ne denli sıkı eleme yapılabildiğine bağlıdır.

4. YİTAL'da VLSI Yapımı

Başlangıçta 10 mm en küçük geometrili, lineer bipolar tümdevrelerin ilk örneklerini (prototip) ve gerektiğinde pilot üretimini gerçekleştirmek, ayrıca bilgi toplama, bilgiyi özümleme, ilgili teknolojileri ülke koşullarına uyarılabilir hale getirmek üzere kurulmuş olan YİTAL, öngörülen işlerin büyük bir bölümünü yapmaya elverecek teçhizat ile donatılmıştır. Ancak, VLSI teknolojisinin gerektirdiği 3 mm'lik en küçük geometriye inebilmek, en yaygın kullanım gören digital CMOS teknolojisini uygulayabilmek ve benzer teknolojileri daha yakından takip edebilmek için laboratuara ek teçhizatın konulması gerekmektedir. Bunun için bugüne kadar izlenen yol aşağıda açıklanmıştır.

İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi ve TELETAŞ'ı da katılımları ile konu üzerinde bir proje başlatılmış, projenin parasal kaynağı NATO İstikrar için Bilim (Science for Stability, SFS) programı olmuştur. Danışman olarak Belçika IMEC (Interuniversity Microelectronic Center) Laboratuvarından yardım istenmiştir. SFS desteğinin başlangıçta kabaca 0.6 milyon ABD doları olması, buna karşılık YİTAL'de bulunmayan iyon ekici, LPCVD, "doğrudan pul üzerinde adımlayıcı (direct step on wafer)", metal tozuyucu (sputter) ve reaktif iyon aşındırma cihazlarıyla bazı gerekli aksamın tutarının çok yüksek olması, bazı cihazların ikinci elden alınması zorunlu kılmıştır.

İlk olarak 80 000 \$'a bir iyon ekici satın alınmış, laboratuara yerleştirilmiş, yenilenmesi gereken parçalar ısmarlanmıştır. Bu parçalar tamamlandığında cihaz tam anlamıyla çalışabilecek durumdadır. Cihazın sonuçtaki değerinin 130 000 \$ civarında olacağı tahmin edilmektedir.

Böylesi pahalı cihazların iyi durumda olmakla birlikte ikinci ele düşmesi ve fiyatının 1/10 oranında inmesinin en büyük nedeni, büyük firmaların teknolojiyi çok daha yakından izleme gereği duymaları ve örneğin, daha büyük çaplı silisyum pulları işleyebilecek cihazlara sahip olma istekleridir. Bu tür cihazlar dünya piyasasında aranırken, 100 mm çaplı pul işleyebilenlerinin bulunma şansının büyük olduğu görülerek, YİTAL'in 3 inç çaplı pul işleyebilme yeteneğinin bu seviyeye artırılmasına karar verilmiştir.

Uygulanacak teknolojinin seçiminde, mümkün olduğunca yeni fakat basit, açık literatürde üzerinde en çok durulan teknikleri içeren, geniş kullanım alanlı ve tasarımcıların seveceği bir teknoloji olması gözönünde bulundurulmuştur. Böylelikle, poli-silisyum geçitli, n-kuyulu, yerel oksitleme CMOS (complementary MOS) teknolojisi ana hedef olarak seçilmiştir. Teknoloji, temel olarak Ohzone'nin makalesine [11] dayanmakta olup gerekli iyileştirmeler üzerinde çalışılmaktadır. Teknolojinin n-kuyulu olmasının pek çok teknik avantajının yanında, hiçbir ek proses adımı gerektirmeden aynı

kırmık üzerinde NMOS uygulanmasına izin vermesi gibi önemli bir yararı da vardır.

Laboratuarda ve tüm cihazlar üzerinde yapılacak değiştirme, geliştirme ve kurma çabalarıyla, seçilen teknolojiye ilişkin proses bilgisinin oluşturulması işi, gerektiğinde MAE çalışanlarının ve imkanlarının yardımı da alınarak laboratuvar ekibince gerçekleştirilmektedir. Bir başka deyişle, bu tür teknolojilerin uygulanmasında gerekli yatırımın büyük kısmını teşkil eden "know-how" için bir ücret ödenmesi söz konusu olmayacaktır.

Proje tamamlandığında, YİTAL'de zaten yapılabilen lineer bipolar standart, yarı özel ve özel tümdevrelerle, bipolar tranzistor, diyot, güneş pili gibi elemanların yanı sıra CMOS-VLSI tümdevre çeşitleri, NMOS tümdevreler ve yakın gelecekte BICMOS (bipolar + CMOS) tümdevreler, DMOS tranzistorlar, çukur (trench) ve tam oksit yalıtımlı tümdevreler de yapılabilecektir. Daha da önemlisi, göreceli olarak çok küçük bir yatırımla (daha öncekilerle birlikte 3M\$'dan az) tüm bu elektronik devre elemanları üzerinde araştırma-geliştirme ile prototipler ve pilot üretim (20 000 kırmık/yıl kılıflanmış, 1 Mıkırmık/yıl kılıflanmamış tümdevre) yapma imkanı sağlanmış olacaktır.

5. Zorluklar

YİTAL'deki çalışmaların güçleşmesine, daha da ötesi başarısının kritikleşmesine neden olabilecek, bazıları TESTAŞ'ın başına gelmiş ve gelecekte kurulması muhtemel bir tümdevre fabrikasının başına gelebilecek güçlükler aşağıda sıralanmıştır.

5.1. Personel

Teknolojinin son derece karmaşık ve çok disiplinli olması nedeniyle, konu üzerinde uzman mühendislerin yetişmesi zordur. İşin gerçek anlamda eğitimini yalnızca İTÜ yermektedir. Eğitim görmüş elemanların yurtiçinde konuyla ilgili iş bulma imkanları da hemen hemen olmadığından yetişmiş uzman bulmak zorlaşmaktadır. Öte yandan, yurtdışında bu tür uzmanlara verilen ücret 25 000 - 100 000 \$/yıl iken, örneğin YİTAL ve TESTAŞ'ta çalışan bir mühendisin aldığı ücret yazının kaleme alındığı tarihte 200 \$/ay'ın altındadır.

En büyük farka, başka nedenler de eklenince doğal olarak, bir beyin göçü olmakta, en azından uzmanlar uzmanlık alanlarını kolayca değiştirerek özel sektöre geçebilmektedirler. Nitekim TESTAŞ, temel teknik kadrosunu tamamen kaybetmiş durumdadır. YİTAL'de sağlam bir ekibin duruyor olması ise, yalnızca işin verdiği haz, şimdiiye kadar verilmiş emek ve geleceğe dönük umutlardandır. Durumun kritikliği her objektif göz için aşikardır.

5.2. Malzeme

Teknolojide kullanılan malzemenin hemen hemen tamamı yurtdışından gelmek zorundadır. Gerek karşılık olan paranın bulunması, gerekse gümrükleme sorunları büyük gecikmelere neden olmaktadır. Bu yüzden, YİTAL'deki araştırma-geliştirme çabalarının bir bölümü, mümkün

olduğunca yerli malzeme kullanmanın yollarını aramakta odaklanmıştır.

5.3. Altyapı

Tümdevre yapımı son derece karışık işlemleri gerektirmektedir. Bu işlemler için gerekli elektrik, su, deiyoze su, vakum, gazlar, hava şartlandırması (air conditioning), cihaz ve sistemlerin bakım-onarımı, yedek parça yapımı gibi altyapı hizmetleri her zaman sorun olmaktadır, örneğin sadece elektrik kesilmesi bile, işlenmekte olan bir pulun atılıp işlemlere yeniden başlanmasını gerektirebilmektedir.

YİTAL için MAE'nin verdiği en büyük destek bu konudur. Ancak, tümdevre yapmak için kurulmuş bir fabrika öncelikle bu sorunları çözmüş olmalıdır.

5.4. Kârlılık

Dünya pazarında çok ucuza satılan tümdevreleri, Türkiye'de aynı fiyata üretmek mümkün değildir. Kârlılık ancak, yapılacak tümdevrelere Türk mühendisinin bilgi ve yaratıcılık katkısı eklenirse mümkün olabilir. Bu yüzden, özel ve yarı özel tümdevrelerin yapımı ağırlık kazanmalıdır. Böylece, tümdevreye aktarılmış devriye ilişkin bilgi, tasarlayanın öz malı olarak kalabilir.

5.5. Üretim

Büyük miktarda tümdevre üretmek, laboratuarda tümdevre üretmekten daha çok sorun doğuracaktır. Her ne kadar YİTAL'de bu konu üzerinde de duruluyorsa da, Ürün verimi, cihazların çalışmama oranı (downtime), 3 vardiya çalışma; yen! pazarlar bulma gibi sorunlar bir fabrikanın kurulup kurulmamasını düşündürecek büyüklüktedir.

6. Sonuç

Tümdevre üretimi, bugün için özel durumlar dışında, Türkiye için kârlı görünmemekle birlikte stratejik öneme sahip bir yüksek teknolojidir. Konu üzerinde uzmanlaşmış bir çekirdek kadro mevcuttur. Devlet çalışmalarını desteklemeli, yetişmiş elemanları kaçırmamalı hatta yurtdışından eleman çekmelidir. Üniversitelerin ilgili birimleri bir an önce tümdevre üretimine yönelik öğretim programları açmalı, çok disiplinli bu teknoloji üzerinde yetişmiş elemanların başka pek çok alanda da hizmet verebileceği gözönünde tutularak çekingen davranılmamalıdır.

Türkiye, içinde bulunduğu çağın gerisinden bir nebze de olsa ileriye gidebilmek için VLSI da yapabilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Tekla S. Perry, "Kitoy and the IC", IEEE Spectrum, Dec. 1988VOİ.23.
- [2] Leblebici Duran, Çilingiroğlu Uğur "Spin-on «atkılama Tekniği ile Gerçekleştirilen MOS Tranzistor Dizisi", İTÜ Elek. Fak., Rapor-78.08.

- [3] Leblebici Duran, İTÜ Elek. Fak. Yarıiletken Teknolojisi ve Mikroelektronik Laboratuvarı", Rapor-77.02.
- [4] Işık Tacettin, "MOS ROM", MMLS tezi, İTÜ Elektrik Fak. 1980.
- [5] Būğēt Uğur, "Yarıiletken Teknolojisi Transferinde A+G Enstitülerinin Rolü, ANAEM örneği", Yarıiletken Teknolojisi ve Mikroelektronik Kongresi, TÜBİTAK ÖY-86/03.
- [6] Grebene Alan B., "Bipolar and MOS Analog Integrated Circuit Oesing", John Wiley, 1984.
- f7] Colclaser Roy A., "Microelectronics: Processing and Device Design", John Wiley, 1980.
- [8] Hodges David A., Jackson Horace G., "Analysis and Design of Digital Intergrated Circuits", McGraw Mili. 1983.
- [9] Wolf Stanley, Tauber Richard N., "Silicon Processing for VLSI Era" Lattice Press, 1986.
- [10] Nicollian E.H., Brews kJ.R., "MOS Physics and Tecnobgy", John Wiley, 1982.
- [11] Ohzone T., Shimura H., Hiaro T., Tsuji K., "Silicon-Gate n-well CMOS Process by Full Ion Implantation Technology IEEE Trans. Electron Devices, ED-27,1980.

Trafo yağı

T.E.K. Laboratuvarlarında sürekli olarak tavsiyeye şayan kalitesini ispat eden, Avusturya menşeli

TECHNOL

trafo ve şalter yağları gerek Standard orijinal varillerde ve gerekse dökme (bulk) olarak İzmit'deki depomuzdan sevkedilmektedir.

Dökme (bulk) isteyenlere, modern orijinal konteynerler ile müşteri deposuna kadar sevkiyat sağlanmaktadır.

Geniş bilgi için şirketimize başvurunuz.

EIMPAY

EndMriytf Pazarlama v« Yatarım A.Ş.

Bağdat Cad. 468/1 Bostancı/fatanbul ·
(Bostancı Polis Karakolu Karşm)
Tif. (1) 36202 42 · 43 Tatex: 29030 sayu tr
Tetafax: (i) 373 13 11