

Raşit Gürdilek



Nanobilgisayarlara Doğru

Elektronik devrelerin mikrometre (metrenin milyonda biri) ölçeklerine düşürülmesi, son 25 yıl içinde gözlenen bilimsel ve ekonomik gelişmelere damgasını vurmuştu. Son birkaç yıldır araştırmacılar, nanometre (metrenin milyarda biri) ölçeğindeki mekanik ve elektronik sistemlerle gerçekleştirilebilecek aygıtların düşlerini kuruyorlar. Nanoteknoloji uygulamalarını heyecanla bekleyen potansiyel müşterilerin başında bilgisayar endüstrisi geliyor. Aslında nanometre ölçeğinde bazı devre elemanları kazıma "etching", püskürtme (depositing) ya da baskı yöntemleriyle gerçekleştirilmiş bulunuyor. Ama nanoteknolojinin bir patlama yapmak için aşması gereken sorunların başında mikrodünyanın kurallarına göre işleyen araçlarla, tanıdığımız makrodünyanın araçlarını birleştirecek arayüzlerin yokluğu geliyor. Bu darboğazlardan biri de birkaç atom ya da molekül büyüklüğündeki devre parçalarını işlevsel bir yapı içinde bir araya getirmek. Buysa söylendiği gibi kolay bir iş değil. Örneğin, nanometre ölçeğindeki devre elemanlarını birbirine ya da başka makroskobik parçalara bağlamak gerekiyor.

Ancak geçtiğimiz ay Science dergisinde yayımlanan iki makale, nanobilgisayarlar yönünde dramatik gelişmeler için umut ışığı yaktı. Geçtiğimiz yıllarda nanoteknoloji araştırmacıları, molekül ölçekli yarıiletken nanoteller ya da karbon nanotüplerden transistörler geliştirmişlerdi. Dergide yayımlanan araştırmalara, moleküler ölçekli elektronik uygulamalarını ilk kez "parça" düzeyinden çıkarıp, çalışabilen "devre" düzeyine taşıyor.

Nanodevrelerde aranan iki önemli koşul var: Bir ke-re, devrenin parçaları olan transistörlerin, çıktı/girdi oranı 1'in oldukça üstünde olan bir sinyal güçlendirme ya da "güç kazancı" sağlaması gerekiyor. İkinci koşul da devredeki her transistörün, kendi yerel kapı kontağınca kontrol edilmesi. Hollanda'nın Delft Teknoloji Üniversitesi Uygulamalı Fizik Bölümü'nden Adrian Bachtold ve ekibinin bu koşulları gerçekleştirmek için kullandıkları araç, karbon nanotüpler (Bkz: Bilim ve Teknik, Karbon Nanoyapılar, Sayı 398 [Ocak 2001] s. 46-51). Ekip, daha önce gerçekleştirdiği bir deneyde, bir silikon yüzey üzerinde iki metal kantağa tutturulan karbon nanotüplerin günümüz mikrobilgisayarlarında kullanılan Alan Etki Transistörleri (Field Effect Transistor) gibi davrandığını bulmuş. Ancak ilk deney başarısız olmuş. Nedeni, kontrol kapı kantağı olarak silikon tabanın bütününün kullanılması. Böyle bir tasarımda çip üzerine yerleştirilen transistörlerin hepsinin birden aynı anda açılıp kapanması gerekiyor. Ayrıca, kapı kantağı ile nanotüp arasındaki yalıtkan da görece kalın olduğundan ve kontak



Bachtold ve ekibinin, karbon nanotüplerle gerçekleştirdikleri mantık devresi



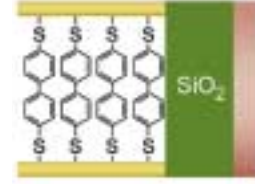
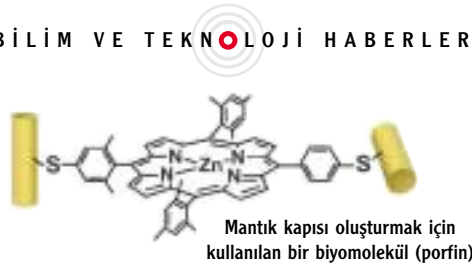
Hu Yuang ve ekibince altın nanoteller kullanılarak gerçekleştirilen mantık devresi

ile nanotüp arasında yeterli kapasitans sağlayamadığından güç kazanımı 1'in altında kalmış. Bachtold ve ekibi, yeni deneylerinde önce elektron demeti litografisi yöntemiyle çip üzerine her transistör için alüminyumdan yerel kapı kontaktları koymuşlar. Daha sonra alüminyum uçlar üzerinde çok ince bir yalıtkan tabaka oluşturmak için bunları havayla oksitlendirmişler. Kalınlığı büyük ölçüde azalan yalıtkan tabaka, yeni nanotüp transistörlerin 10'un üzerinde bir kazanç oranıyla bağımsız çalışmasına olanak sağlamış. Ekip, transistörleri de litografi tekniğiyle yapılan altından bağlantılarla birbirine bağlayarak bir dizi mantık devresi oluşturmuş.

Harvard Üniversitesi Kimya ve Kimyasal Biyoloji bölümünden Hu Yuang ve ekibiye, "YA DA" ile "VE" mantık kapıları için yalnızca diyotlardan yararlanmışlar, ancak öteki devreleri yapabilmek için nanotel Alan Etki Transistörleri kullanmak zorunda kalmışlar. Bachtold ekibininkiler gibi Harvard'lı araştırmacıların Alan Etki Transistörleri de ince yalıtkanlı yerel kapı kontaktlarına sahip. Böylece kolaylıkla transistör devrelerine bağlanabiliyorlar. Hu Yuang ve ekibinin geliştirdiği yöntemin iki önemli özelliği, çapraz geometride yerleştirilen nanotellerin kesişme noktalarının da gerçekten nanoölçekli olması ve böylece tüm düzeneğin gerçekten nanometre ölçeğine kadar küçültülebileceğinin işaretini vermesi (her iki deneyde kullanılan çipler hâlâ mikrometre boyutlu). İkinci önemli özellik, kontaktlar dışında nanotel devrelerin litografi gibi "yukarıdan aşağı" yöntemlerle değil, mikroakışkanlar kullanımı yoluyla, çok sayıda parçacığın paralel olarak aynı anda üretilmesine olanak veren "aşağıdan yukarı inşa" tekniğiyle yapılmış olması.

İki yöntem, hem tasarım, hem de kullanılan nanoölçekli yapılar bakımından birbirinden ayrılıyor ve böylece nanobilgisayarlar yapımı için farklı yolların varlığını gösteriyor. Ancak ikisi de devrele-

rin çeşitliliği ve karmaşıklığı açısından, daha önce farklı araç ve yöntemler kullanılarak geliştirilmiş nanodüve düzeneklerinden çok ileri. Daha önce V. Derycke ve ekibi, bir silikon taban üzerinde, kimyasal işlemlerle güçlendirilmiş nanotüpler yerleştirerek bir "HAYIR" mantık kapısı (invertör) gerçekleştirmişti. J.H. Schön ve ekibi ise, bir taban üzerine organik moleküllerden tek bir katmana, hatta tek moleküllere dayalı Alan Etki Transistörlerinden kurulu, çalışan bir invertör yapmayı başarmıştı. Kuram ve uygulamadaki hızlı ilerleme, bilimkurgunun gerçeğe dönüşmesi için umut veriyor. Ancak moleküler düzeydeki parçalardan oluşan, işleyen, ticari ucuzlukta bir bilgisayar gerçekleştirmek için daha çözümlenmesi gereken önemli sorunlar var: Her şeyden önce yalnızca moleküler ölçekte bazı



Alan Etki Transistörleri oluşturmak için kullanılan küçük organik moleküller

parçaları olan değil, tümüyle moleküler ölçekte olan devreler gerekli. Parçalar arasındaki boşluğu moleküler düzeye indirecek yöntemler (nanotel gibi) umut verici. Karbon nanotüplerin kimyası, bunların değişik (örneğin, elektriksel) özellikte olanlarını seçebilme ve oluşturma konusunda artan bilgi ve beceri de nanobilgisayar mimarlarının işini kolaylaştıracak türden. Bütün bunlar, örneğin, 1 trilyon devrenin 1 santimetrekare alanlı bir çip üzerine yerleştirilmesini kuramsal olarak olanaklı kılıyor. Bir trilyon devreyle ne yapılacağı, bunların nasıl birbirine bağlanacağı, 1 trilyon devrenin aynı anda

çalışmasının oluşturacağı sıcaklığın devrelerdeki molekülleri etkilemesinin nasıl önleneceği, üstelik bütün bunların nasıl hızlı ve ucuz bir biçimde gerçekleştirilebileceği ise ayrı mesele. Bu olsa bile bu nanobilgisayarların nerede kullanılacağı henüz kesin değil. Görünen o ki, "nanoPC"ler biz sıradan insanların alım gücünü, gereksinmelerini ve de en azından çoğumuzun bilgisayar kullanım becerisinin düzeyini aşıyor. "Yapay Zeka" araştırmacılarının ise heyecanlı ellerini ovuşturduklarından kuşku yok.

Science, 9 Kasım 2001

1 Damla Su İçinde 1 Trilyon Bilgisayar

İsraili bilimadamları biyolojik moleküllerle bir test tüpü içinde bir bilgisayar -iki durumlu, iki sembol kullanan bir sonlu otomaton- oluşturmayı başardılar. Nature dergisinin 22 Kasım tarihli sayısında yayımlanan makaleye göre bu, bir mililitrenin onda biri hacmindeki su damlacığı içinde 1 trilyon bilgisayarın birarada bulunarak paralel işlem yapmaları anlamına geliyor. Bunun da anlamı, 1 trilyon bilgisayarın saniyede 1 milyar işlemi %99.8 doğrulukla yapmaları, ve bunu yaparken de yalnızca 1 Watt'ın on milyarda birinden daha az enerji kullanmaları. Araştırmanın, ileride insan bedeni içinde çalışacak ve bedendeki biyokimyasal ortamla etkileşerek önemli biyolojik ve farmakolojik uygulamalara olanak sağlayacak bilgisayarlar geliştirilmesine yol açabileceği belirtiliyor. Weizmann Bilim Enstitüsü'nden Prof. Ehud Shapiro ve doktora öğrencisi Yakov Benenson'un geliştirdikleri bilgisayarın girdi, çıktı ve "yazılım" DNA moleküllerinden oluşuyor. Zaten Prof. Shapiro, başarılı çalışma için DNA ve RNA moleküllerinin bilgi depolama yeteneklerinden esinlenmiş. "Donanım" olarak da bilgisa-



yar, DNA'yı yönlendiren iki doğal enzim kullanıyor. Çözelti içinde karıştırıldıklarında "yazılım" ve "donanım" molekülleri birbirleriyle uyumlu biçimde "girdi" molekülü üzerinde çalışarak "çıkıtı" molekülüne dönüştürüyorlar ve böylece de "sonlu otomaton" diye bilinen basit bir matematik hesap makinesi oluşturuyorlar. Deneylerde biyolojik bilgisayarın, örneğin "0" ve "1" sayılarını içeren bir listede "1"lerin çift sayıda olup olmadıklarını ya da kaç tane "0"ın "1"nin önünde geldiği gibi basit matematiksel işlemlere benzeyen 735 ayrı programı uygulayabilecekleri görülmüş. Biyolojik nanobilgisayarlar, "girdi" molekülünü "çıkıtı"ya çevirebilmek için, DNA zincirlerini kesen FOK-I enzimiyle, parçaları yeniden bir araya getiren ligaz enzimini "donanım" olarak kullanıyorlar. Shapiro ve ekibinin nanobilgisayarı, hem girdi verilerini, hem de bilgisayar yazılımına temel oluşturan kuralları kodlamak için DNA molekülündeki A, C, G ve T olarak bilinen 4 bazdan yararlanıyor. Hem girdi, hem de yazılım molekülleri, fazladan bir DNA ipliği içerecek şekilde tasarlanıyor ve böylece hepsinin bir "yapışkan yanı" bulunması sağlanıyor. İplikleri birbirini tamamlayan moleküller, melezlenme denen bir süreçle geçici olarak birbirlerine yapışabiliyor ve ligaz enziminin kendilerini tek bir molekül olarak bağlamasına izin veriyor-

lar. Girdi molekülünün yapışkan tarafı, mevcut sembol ile mevcut hesap durumunu kodluyor. "Yazılım" molekülü ise, belirli bir durum-simbol bileşimini tanımlamak için kodlanmış. İki durumlu, iki sembollü bir otomatonda böylesine dört olası bileşim bulunuyor. Her bileşim için nanobilgisayarın iki olası davranış biçimi var: Aynı durumda kalmak ya da öbür duruma geçmek. Böylece sekiz yazılım molekülüyle her türlü olasılık saptanabiliyor. Hesap işlemi şöyle gerçekleşiyor. Sürecin her adımında girdi molekülü, yapışkan tarafına uyan bir "yazılım" molekülüyle "melezleşip" ligazca bağlanıyor. Bundan sonra Fok-I molekülü gelip yazılım molekülündeki tanımlanmış alanı deneye özel bir bölgeden yararlanarak hedef aldığı melez molekülü buluyor. Daha sonra girdi molekülünü, "yazılım molekülü" nün belirlediği bir yerden kesiyor. Böylece, bir sonraki sembol ile hesabın bir sonraki durumunu kodlayan bir yapışkan uç açığa çıkmış oluyor. Son girdi sembolü de işlendikten sonra hesabın son durumunu kodlayan bir yapışkan uç açığa çıkıyor ve gene melezlenme ve ligasyon yoluyla iki "çıkıtı gösterme" molekülünce tanımlanıyor. Süreç sonunda oluşan ve hesap sonucunu bildiren molekül de "jel elektroforezi" denen bir süreçle insan gözü için görünür hale geliyor.

Nature, 22 Kasım 2001