

# Transistörün Geleceği

“Hız, daha fazla hız” sabırsız bilgisayar kullanıcısının bitmek tükenmek bilmeyen isteğidir. İşlemcinin hükmettiği bir dünyada hız herşeydir. Güçlü bilgisayarlara olan açlığını gidermek için tasarım mühendisleri egzotik çözümlerin her çeşidinden yararlanmanın yollarını arıyorlar: Kuantum mekaniğinin tuhaflıklarını kullanmak, parlak lazer ışını demetleriyle veri yollamak ya da yongaları mutlak sifira kadar soğutup kullanmak gibi. Ancak veri işleminin önünü açacak en son numarayı şu ana kadar kimse düşünememişti: Bilgisayar yongalarının içindeki elektron akımlarından vazgeçip, onların yerine dalgaları kullanmak.

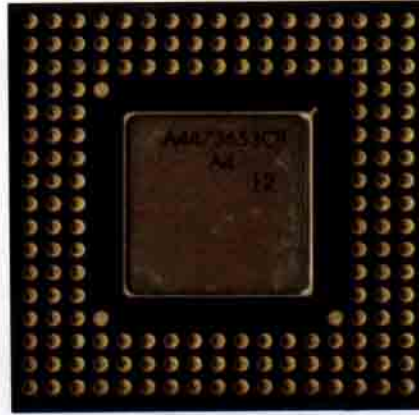
New York'da Rensselaer Polytechnic Enstitüsü'nde (RPI) fizikçi Michael Shur bu fikri araştıran bir gruba başkanlık ediyor. Amaçları terahertz ( $10^{12}$  hertz) aralığında frekansa sahip elektrik sinyallerini işleyebilecek küçük parçalar yapmak. Bu frekanslar, günümüz mikro elektronik parçalarıyla ulaşılabilecek frekanslardan çok çok daha yüksek. Aslında araştırmacıların bu yüzden kızıl altı optik alanına ait bölgeye de el atırları söylenebilir. Dahası, bu aygıtlar çok yüksek hızda veri işlemeden daha fazlasını da yapacaklar. Aygıtlar çok az miktarlardaki uyuşturucu, zehir ve patlayıcı maddeleri belirleyebilecek birer duyarlı algılayıcı gibi davranabilecekler. Ayrıca giysinini altını ve duvarların arkasını görebilen yeni bir kameranın da temelini oluşturacaklar.

Araştırmacıların baştan kendilerinin de kabul ettikleri gibi, geleneksel yarı iletkenler aygıtlar için geçerli olan kuramların ve tasarım araçlarının işe yaramamaya başladığı, tamamen bilinmeyen bir alana adım atıyorlar. “İki çok zorlu alanın arakesitinde çalışıyoruz”, diyor Shur. “Biri mikron altı aygıtlar yapmak, diğeri de birçok kişi için yeni olan terahertz frekans aralığında çalışmak.”

Aslında bilgisayar yongaları elektronik açık/kapalı anahtarları gibi davranan, transistörlerin karmaşık

bir düzenlemesinden başka bir şey değildir. Bir yonganın ulaşabileceği en yüksek hız, bu anahtarları hangi hızda açıp kapatabileceğinize bağlıdır. Bu, sonuç olarak elektronların taşıdığı sinyalin aygıtın bir tarafından diğer tarafına (sinyallerin elektronların sürüklenmesinden çok daha hızlı hareket edebildikleri sıradan bir iletkende, klasik akım yönünün tersine) geçtikleri süreye bağlıdır.

Shur ve meslektaşları bu hız sınırını aşmanın bir yolu olup olmadığını araştırıyor. Araştırmacılar transistörler sürekli küçüldükçe, içinde hareket eden elektronların akışkan benzeri bir plazma oluşturdukları sonu-



cuna varmışlar. Bir plazmanın içindeyse, ağır ağır hareket eden elektron akımlarından çok daha hızlı olan dalgalar üretilip iletilebilir. Araştırmacılar içinde plazma-dalgalarının hareket ettiği küçük transistörlerin bulunduğu bilgisayarların, işlem hızını  $100^e$  katlayabileceğine inanıyorlar.

Bugünkü bilgisayarların içindeki transistörlerin % 95'i, açık ve kapalı durumları arasındaki geçiş için elektrik alanına dayanan, alan-etki transistörleri (FET) kullanır. Her bir FET'in elektron zengini yarı iletken malzemenin alanlarını bağlayan iki temas noktası vardır: Kaynak ve akaç (drain). Bunlar elektron yönünden noksan (yani pozitif yüklü) yarı iletken yapılmış olan bir kanalla ayrılmışlardır. Kapı adı verilen üçüncü bir temas noktası aygıtın tepesinde bulunur, ancak ince yalıtkan bir kat-

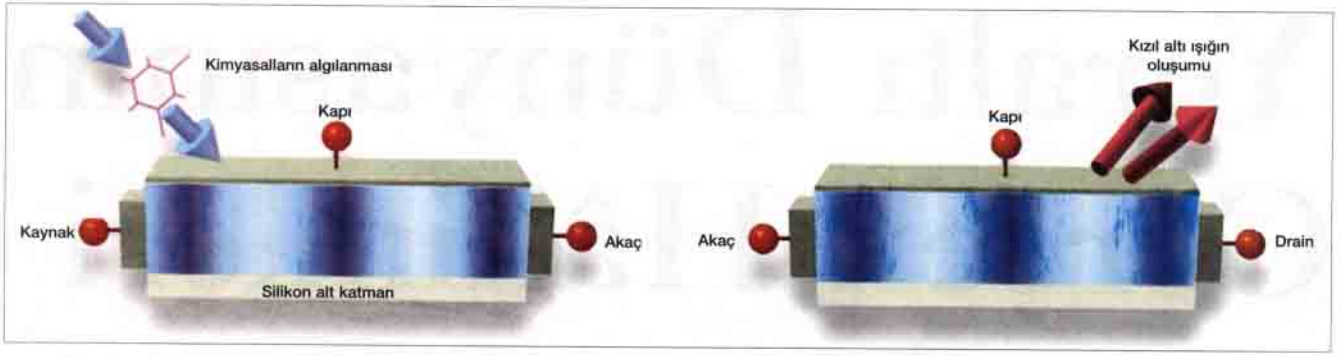
manla kanaldan soyutlanmıştır. Kapı üzerine konan, (Bias olarak bilinen) küçük bir yük transistörün içinden geçen akımın açan bir elektrik alan üretir. “Kapıya pozitif bir potansiyel farkı uyguladığımızda elektronlar kanala koşar ve kaynakla akacı birbirine bağlarlar. Bu da transistörün açık halidir,” diye açıklıyor Shur. “Kapının potansiyel farkı negatif ya da sıfır olduğunda kanalda hiçbir elektron bulunmaz. Bu da kapalı durumudur.”

Bu iki hal dijital hesaplamaların temelini oluşturan birleri ve sıfırları meydana getirir.

Transistörün bir halden diğerine geçiş hızı, her bir saniyede işlemcinin ele alabileceği toplam hesaplama sayısını sınırlar.

Bugüne kadar transistörleri hızlandırmaya çabalayan elektronik mühendisleri en temel çözümü seçmişlerdi: Aygıtı küçültüyor, böylece de tembel elektronlar çok uzağa gitmek zorunda kalmıyorlardı. Bugünün transistörleri genellikle 0,25 mikrometre boyuttadır. Yaklaşık 1000 tanesi bir insanın saç telinin çevresini sarabilir. Gelecekte aygıtlar 0,1 mikrometre ya da daha küçük boyuta bile düşebilir. Ancak Shur ve ekibi bu küçülmenin sadece kısıtlı bir performans artışı getireceğine inanıyor. Shur'la birlikte RPI'de çalışan James Lu, kuantum gürültü gibi temel problemlerin bu yaklaşımı kısıtlayacağını söylüyor. Tabii başka zorluklar da var: Bu kadar küçük transistörleri birleştirecek olan bağlantıları yapmak da çok büyük bir sorun.

Yarı iletken fizikçileri bugünkü transistörlerin içindeki elektronları ideal gaza benzer olarak tanımlıyorlar: Elektronlar, aygıt içinde sürüklenen, rastgele birbirleriyle çarpışan soyutlanmış parçacıklar gibi davranıyorlar. Ancak Shur, transistörler bir araya getirilip küçültüldükçe, belli bir miktar hacim kaplayan malzemedeki elektronların sayısının, tamamen farklı bir şekilde davranacakları bir noktaya yükseleceğini hesaplamış. Shur bu noktadan sonra elektronların gaz gibi davranmayacakları-



nı söylüyor. Bunun yerine bir akışkanın andıracaklarını ve bu akışkanın davranışının plazma-dalga oluşumunun anahtarı olacağına inanıyor.

Shur ve meslektaşı Michel Dyakonov bu elektron akışkanın tıpkı sıg bir kanalda hapsolan su gibi davrandığını bulmuşlar. Suyu bir uçtan itin; sonuçta dalgalar kanalda uzunlamasına tek tek su moleküllerinin hareketinden daha hızlı hareket eder. Plazma dalgalarının sinyal iletimi için kullanmanın da benzer bir avantajı var: Plazma dalgaları bir tek elektronun hareket edebileceğinden çok daha hızlı hareket eder. "Elektronlar bir transistörün içinde saniyede  $10^5$  metre hızla sürüklenirler, ancak bir plazma dalgası için  $10^6$  metre ya da daha fazlasını bekleyebiliriz," diyor Shur. Sürüklenen elektronlara dayanan aygıtlar 400 gigahertze kadar işleyebilirler diye de tahmin ediyor Ancak ona göre plazma-dalgalı aygıtlar 20 kez daha hızlı (10 terahertze yaklaşan frekanslarda) çalışabilirler.

Peki bu dalgalar nasıl yaratılacak? Şanslıyız ki, çok zor değil. Hemen her devrede rastgele elektriksel osilasyonlar kendiliğinden başlayabilir; büyüyeceği mi yoksa sönüp gideceği mi ise bağlantıların uzunluğu ve devreyi oluşturan parçaların doğası gibi değişkenlerce belirlenir. Böylece, dikkatlice tasarlanmış bir transistör, özel olarak hazırlanmış kaynak ve akacı ve de hassas şekillendirilmiş kapı teması ile terahertz frekanslarında plazma dalgaları ile rezonansa girecektir. Bu frekans transistör kanalının uzunluğu ve kapı temas noktasındaki bias voltajına bağlıdır. Bu bias çok önemlidir. Bias, transistör kanalının içindeki elektron akışkanının şeklini denetleyerek, aygıtın destekleyeceği rezonansları değiştirebilir. Kapı biasını değiştirecek olursa-

nız, rezonans frekansı kayar. Bu da plazma-dalga aygıtlarının detektör olarak kullanımının anahtarıdır. Farklı moleküller kızıl altı ışığı farklı frekanslarda ve farklı derecelerde soğururlar. Bir gazın içinden geçen terahertz frekansında geniş bir spektrum bandında parlayan bir kızıl altı ışık, moleküllerin bazı frekansları soğurarak, kayıp bantlar oluşturduğu bir "parmak izini" taşır. Bu soğurma spektrumu gazın içinde ne gizli bulunduğunu tam olarak belirleyecektir.

Shur'un öngördüğü aygıt, moleküller parmak izlerini, plazma dalgalarını etkileme şekline göre algılayacak. Yarı iletken materyale ulaşan her ışık transistör kanalında soğurulur ve elektrik alanı bias potansiyel farkının üstüne eklenir. Bu, aygıtın çıkışından ölçülen, belli frekanstaki plazma-dalgalarını uyarır. "Bir radyo alıcısı gibi," diyor Shur. Transistör kapısının üzerindeki bias değiştirilerek detektörün belirli kızıl altı bantlara bakması sağlanabilir. Dahası, transistörün çıkışı ölçülürken, bias potansiyel farkını taramak, algılayıcıyı bir minyatür spektrometreye dönüştürür.

Shur'un ilk önceliği bu algılayıcılardan birini yapmak; plazma-dalga detektörü mevcut yüksek frekanslı detektörlerden 10 000 kez daha duyarlı olması gerektiğini söylüyor. "Aygıtlar farklı organik moleküllerin çok çok küçük konsantrasyonlarını ölçecek ve bu moleküllerin ne olduklarını hassas bir şekilde tanımlayabilecek." Bu yüksek duyarlılığın nedeni aygıtın içinde rezonans halindeki plazma dalgalarında yatıyor. "Gelen bir sinyalle âhenk içinde olan bir sistem gibi," diyor. "İyi tasarlanmış bir konser salonunda ses nasıl yankılanırsa, bu dalgaların da bir rezonans oyuğu var; bu durumda

ise transistörün kendisi. Bu rezonanstaki en küçük değişiklikler kolaylıkla fark edilebilir.

Tüm bunlar aygıtı sadece birkaç molekül patlayıcıyı ya da başka başka kimyasal maddelerden oluşan bir çorba içindeki zehirli maddeyi algılayabilecek kadar hassas yapacak. Shur'a göre bu derecedeki bir hassasiyet, algılayıcıyı çevreyi incelemek için de kullanılmaya uygun hale getiriyor. Aygıt çok küçük konsantrasyondaki, klor monoksit gibi çevre açısından zararlı gazları da tanıyabilir. Plazma-dalga detektörü, var olan yüksek frekans detektörlerinin kullandığı enerjinin yüzde birini kullanacağı için enerji yönünden de fazlasıyla verimli olacak.

Detektörü başka plazma-dalga aygıtları izleyecek. Bunların ilki ayarlanabilir kızıl altı ışımaya yayan bir osilatör olacak muhtemelen. Kapıdaki potansiyel farkını değiştirmek frekansı da değiştirecek. Shur bu aygıtın bir flüte benzediğini söylüyor. Bir tek girişi var, ancak valfler kapatılarak pek çok farklı frekansta çıktı elde edilebiliyor. Transistörler bu sinyalleri küçük antenler sayesinde çevreye yayacaklar.

Bu aygıtların hiçbiri henüz gerçekleştirilmemiş olsa da, Shur ve ekibi başarılı olacaklarından eminler. Ekip daha şimdiden 0,15 mikrometre galyum nitrit FET'den daha karmaşık bir şey kullanmadan, gigahertz aralığında plazma dalgaları üretmiş.

Shur önündeki zorlu engellerden hiç korkmuyor. "Yeni fikirler çok önemlidir," diyor. Hiçbir inceleme aracının bulunmadığı hızlarda çalışan devreleri nasıl inceleyeceği sorulduğunda: "Bu bir meydan okumadır. Ama teknoloji her zaman bir meydan okuyuştur" diye yanıt veriyor.

Paul Marks, New Scientist, 7 Mart 1998  
Kısaltarak Çeviren: Murat Maga