



## Optik Bilgisayarlar

# Işık ile Hesaplama

Kimyacılar transistörü yeniden keşfettiler: Tek tek floresan moleküllerini farklı durumlarda devreye açıyorlar... Böylelikle optik bilgisayarlar 500 bin gigahertz'e kadar uzanan saat frekanslarına ulaşacak ve silisyum chip'lerini gölgede bırakacaklar.

**B**ilgisayarın geleceği kimya laboratuvarlarında çizilecekmiş gibi görünüyor. Sözkonusu olanın ne olduğunu Münihli kimyager Robert Reiser basit bir deneyle gösteriyor. Kırmızı bir sıvıyı yavaşça içinde renksiz bir maddenin bulunduğu bardak içine döküyor. Renksiz madde sarıya dönüşüyor. Kırmızı sıvılı bardak ne kadar fazla boşalırsa sarı da o kadar yoğun bir hal alıyor. Seyri gayet hoş bu tip deneyler okuldaki kimya dersinden biliniyor. Burada rhodamin temelli kırmızı boyarmaddenin metanol ile girdiği tepkime sonucu başlangıçtaki durumu değişiyor, yeni bir bağlantı oluşuyor. Reiser bir lamba ile renk dışında başka bir optik özelliğin de değişmiş olduğunu gösteriyor. Bardağa tutulan ışık sarı sıvının aydınlık saçmasına yol açıyor -yani sıvı floresanlaşıyor.

Sıvılarla yapılan bu deney Münih Ludwig-Maximilians Üniversitesi (LMU) organik ve makromoleküler kimya departmanı bünyesindeki bilimcilerin küçük çapta başar-

SERİ

### ARAŞTIRMA LABORATUARLARINDAN YENİLİKLER

Geleceğin dünyasıyla şimdiden tanışın: Bilim ve endüstri, yaşamınızı köklü şekilde değiştirecek anahtar teknolojiler üzerinde çalışıyor. CHIP bu yazı dizisinde sizi geleceğin dünyasıyla tanıştırıyor.



### Silisyum yerine boyarmadde

Boyarmadde yoğunluğuna göre plastik kütleler laboratuvarında az ya da çok oranda aydınlık saçıyor. İçlerinde bulunan ve bu etkede yol açan floresan boyarmadde molekülleri geleceğin süper hızlı işlemcileri ve belleklerini oluşturacak hammaddeyi sağlıyor.

diği bir devrimi gözler önüne seriyor. Burada bilimciler tek tek molekülleri planlı bir biçimde floresan durumuna geçirebiliyor. Bu kadarla da bitmiyor: Uzun test dizileri sonrasında tek tek molekülleri istendiğince floresan olan ve floresan olmayan durumlar arasında gidip gelecek şekilde devreye açılabilceği ve kapatılabileceği bir boyarmadde sentetize etmeyi de başarmış bulunuyorlar.

### Silisyum teknolojisinin sonu geliyor

“Bu moleküller optik düzlemdeki transistordur,” diye bu keşfin anlamını coşkuyla açıklıyor Reiser. Devreye açılabilen moleküller bugünkü elektronik bilgisayarların yerini alacak optik bilgisayarlara giden yolda önemli bir adım. Elektronik bilgisayarların performansı istenildiğince yükseltilemiyor, çünkü elektronik yapıtaşlarının minyatürleşmesinin önüne fiziksel sınırlar dikiliyor. Uzmanlar bu sınıra on ila yirmi yıl içinde ulaşılacağından yola çıkıyor. O zaman geldiğinde silisyumun rolünü floresan boyarmadde (chromophor)lar devralabilir.

“İleri derecede gelişkin bilgisayar teknolojisinin sınırlarının farkına yüksek işleme hızlarına ve entegrasyon yoğunluklarına ulaşılacak istendiğinde varılıyor” diye açıkla-

mada bulunuyor Münihli üniversitenin bünyesindeki organik ve makromoleküler kimya çalışma çevresi yöneticisi Prof. Dr. Heinz Langhals. Böylelikle de aynı zamanda ışık için moleküler devre elemanları arayışı motivasyonunun da nedenini de dile getirmiş oluyor. Onun tahminine göre PC’lerden 10 gigahertz’lik saat frekanslarını bile başarması beklenemez. Bu alanda daha büyük bellek ve süreç verilerinin daha hızlı işlenmesi şimdiye kadar silisyum chip’ler üzerindeki bileşenlerin gitgide daha küçülmesi ile sağlanıyorlardı. Bu küçülme süreci daha atomar ölçütlere ulaş-

### Işıyan Boyarmadde



**RENK OYUNLARI:** Kırmızı boyarmadde ve renksiz methanolden kimyager Reiser sarı ışıyan bir madde karışımı oluşturuyor; bu ışık saçarlığın oluşumu için basit bir deneyden ibaret.

## Antik çağdan bilgisayarlı geleceğe

## Antikçağ

**FLORİD:** Örneğin ismini veren Florid (Foto) gibi minerallerden floresan uzun zamandır biliniyor.



## 1845

**CHLOROPHYLL:** Kimyager Julius Robert Mayer bitkilerdeki fotosentezde ışık enerjisinin dönüştürülmesinin farkına varıyor.



## 1979

**BOYARMADDE ARAŞTIRMALARI:** Prof. Dr. Langhals floresan boyarmaddeleri ile ilgili incelemelerine başlıyor.



## 1990

**S-SEED:** Optik transistör Bell laboratuvarlarının ilk optik bilgisayarının çekirdeğini oluşturuyor - bileşenleriyle bir masa üzerine kurulmuş.



## 2015

**GELECEĞİN PC'si:** Boyarmadde temelli optik bilgisayar 500.000 Gigahertz ve daha fazlası saat frekanslarına ulaşacak.



mak suretiyle nihai bir sınıra ulaşmadan, kuantum mekaniği efektler yarıiletken özelliklerin ansızın ortadan kalkmasına yol açacak. Çünkü elektrik bağlantılar küçüldüğü oranda, daha az kablo gibi davranıyor. Ayrıca küçültülmüş boyutlarda ve daha yüksek işleme hızlarında elektrosmog da artarak bir sorun haline alıyor. Yapıtaşları istenmeyen bir biçimde birbirlerini karşılıklı etkiliyor.

## Silisyum yerine optik bilgisayarlar

Optik bilgisayarlar silisyum bilgisayarların yerini almak konusunda iyi bir şansa sahipler; ancak uzun bir süredir bunun için gerekli yapıtaşlarının nasıl yeterince minyatürleştirilebileceği açıklığa kavuşmuş değildi. Profesör Langhals şimdi bunun yanıtını bulmuş gibi görünüyor: "Performans floresan boyarmaddeler bugünkü elektroniğin

kalbini oluşturan yarıiletkenlerin karşısı."

Işık ile elektronik hesaplama makinelerinde olduğu gibi aynı şekilde hesaplanabileceğini ABD bilimcileri daha 1990 yılında göstermişlerdi. Transistörün de icat edildiği Bell laboratuvarlarında en önemli işlev elemanlarının mercekler, aynalar ve lazer ışınlarından ibaret olan optik bir bilgisayarın ilk prototipini inşa etmişlerdi.

Langhals o sıralar Münih'te boyarmaddelerle araştırmalarını sürdürüyordu. Yeni fotonik teknolojisi için istenilen entegrasyon yoğunluğunu elde etmek, üstelik de mümkün mertebe moleküler temelde elde etmek için, ışığı içine alabilen ve işleyebilen yapılara gerek var. Boyarmadde molekülleri tam da bu özelliğe sahip. İçe alınan ışık enerjisinin kaybolmaması gerektiği içindir ki, yalnızca enerjiyi alabilen değil, aynı zamanda depolayabilen ve komut üzerine yeniden verebilen floresan boyarmaddeler gerekiyor. Yalnızca böylelikle devre kapalıyken de bilginin yitmemesi sağlanıyor.

## 500.000 GHz'lik çalışma frekansı

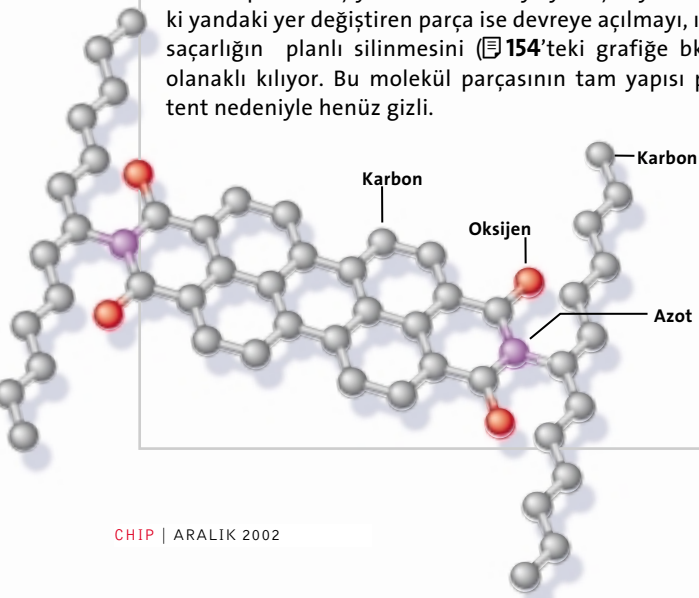
Bu tip boyarmaddeler için bir kalite ölçütü depolanmış enerjinin ne kadarının yeniden geri verileceğini bildiren floresan kuantum randımanı. LMU'daki kimyagerlerin geliştirdikleri türden yüksek değere sahip floresan boyarmaddelerde şimdiden yüzde 100'lük bir değere ulaşıyor. Başka önemli bir kıstas ise floresan boyarmaddelerin ışık gerçekliği (fotostabilite). Bu elektroniğin dünyasında örneğin Relais'lerde olduğu gibi, elektrik şalterlerinde ulaşılabilir devre çevrimlerine tekabül ediyor. Yüksek değere sahip floresan boyarmaddeler en az 100 milyon kez ışık alabilecek ve işleyebilecek. Deneme aşamasında şimdiden hiçbir Photo indirgememenin saptanamadığı boyarmaddeler bulunuyor. Aşınmaz yapıtaşları vizyonu böylelikle yakınlaşmış oluyor.

Optik bilgisayarlardan onu bugünkü bilgisayarlardan çok çok üstün kılacak bir dizi özellik bekleniyor. Elektrik sinyalinden ışık kuantumlarına geçiş elektrik ileten kabloların yerini optik yolların alması anlamına geliyor. Elektrik bağlantılarının tersine ışık yolları sinyaller birbirini karşılıklı etkilemeyecek şekilde kesişebiliyor. Kablolardan her bir an yalnızca hep bir sinyal gönderilebilirken, ışık ile paralel sinyal transferi mümkün: Böylece farklı dalgaboy-

## GİZEMLİ: S-13

## » Transistör Moleküllü

Transistor moleküllerinin inşasında kullanılan föresans boyarmaddelerin adları perylen 3,4:9,10'dan dikarbonsimite kadardır. Münihli kimyagerler boyarmadde molekülü S-13'den yola çıkıyor (aşağıda şematik bir biçimde görülüyor). Azot moleküllerinde oturan karbon zincirleri bir tepkimede birbirinden ayrılıyor ve başka molekül parçalarıyla yer değiştiriyor. Bunlar bir yanda Chromophor'u taşıyıcı bir malzemeye yerleştiriyor. Öteki yandaki yer değiştiren parça ise devreye açılmayı, ışık saçarlığın planlı silinmesini (154'teki grafiğe bkz.) olanaklı kılıyor. Bu molekül parçasının tam yapısı patent nedeniyle henüz gizli.



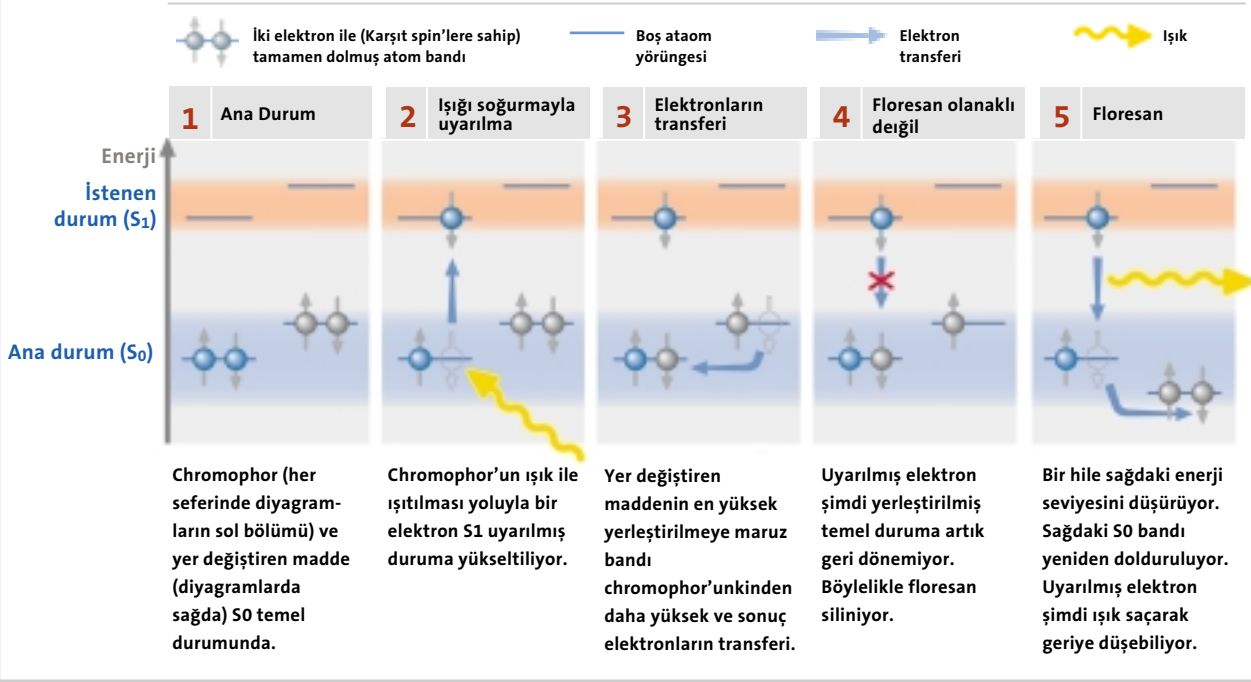
## MOLEKÜLDE FLORESANLIK NASIL DEVREYE AÇILYOR VE KAPATILYOR

Boyarmadde molekülü S-13'ü farklı durumlarda devreye açabilmek için, floresan özellikleriyle ilgisi olmayan molekülün bir parçası başka bir molekül parçası ile yer değiştiriyor. Belirleyici olan yer değiştiren parçanın otur-

duğu azot atomlarındaki elektronların durumu.

Eğer en yüksek yerleştirilmeye maruz molekül bandı yer değiştiren parçada enerji itibarıyla boyarmadde (chromophor) olduğundan daha yük-

sekse, floresan ışık ile planlı bir biçimde ısıtılarak silinebiliyor. Eğer bu değer düşürülürse, molekül yeniden floresan hale geliyor. Bu olayın akışını beş adımdan ibaret diyagramlar gösteriyor.



larında yüzlerce sinyal aynı anda bir optik kanal üzerinden transfer edilebiliyor. Üstelik ışık yolları bir chipin üçboytulu inşasına da sorunsuzca olanak tanıyor.

Işık üzerinden hızlı sinyal transferi ve molekül ölçeğinde tek tek yapıtaşları arasındaki küçük mesafeler aşırı derecede hızlı chiplerin inşasını olanaklı kılacak. "Bu tip optik yapıtaşlarının çalışma frekansı yaklaşık 500.000 Gigahertz civarında" diyor profesör Langhals. Moleküller devreler bugünkü en küçük bilgisayar yapılarından 1000 kez daha küçük. Üstelik yeni teknolojiyi üç mekan yönünde genişletme olanağı bire bir milyarlık bir büyüklük oranı sonucunu veriyor.

Yeni bir bilgisayar çağının kapısını açacak bu fantastik madde nasıl bir şey? Laboratuvarda uzunca kimyasal tepkimeler zinciri sonunda bir tüpten damlayan ve bir bardakta biriken şey önce bir urin numunesine benziyor. Bu durumda sarı



lapanın anlamını layıkıyla gözler önüne sermek için büyük laflara ihtiyaç var kuşkusuz. "Bir litrelik sıvı bulunan bu bardakta hepsi boyarmadde molekülü olan 1020 transistor yüzüyor" şeklinde sonucu yorumluyor kimyager Fritz Wetzel. Onun yol göstericiliğiyle öğrenciler arzulan boyarmaddeyi sentetize ediyor. Bunun için birçok çalışma adımı gerekiyor, ama bu adımların hepsine de kolaylıkla hakim olmak mümkün. "Bunların hepsi de bir kimyagerin el zanaatı" Wetzel'e göre. Tüm ihtiyaç duyulan maddeler ileri derecede gelişkin bir teknikle üretiliyor ve görece ucuz.

## Optik çipler ucuz olacak

Floresan boyarmadde temeline optik chip'ler bir kez seri olarak üretilebilirse, Wetzel'e göre fiyatlar oldukça düşük olacak. Silisyumun potansiyel takipçisinin henüz doğru dürüst bir adı yok. Çalışma çevrelerinde boyarmadde S-13 ni-

**CHIP FABRİKASI YERİNE KİMYA LABORATUVARI:** Chromatograph sütunu (arka plan) üretilmiş boyarmaddeyi temizliyor. Fraksiyon toplayıcının bardaklarında kimyager aranan bağlantıyı buluyor ve yan ürünleri ayırıyor.

**IŞIK YAKALAYICI:** Münihli kimyagerler güneş spektrumunun olabildiğince büyük bölümlerinden yararlanmak ve çok enerji iletmek için renkli levhaları güneş kolektörlerinde kullanmak suretiyle pratik bir yarar sağlamışlar bile.



telemesini taşıyor. Gelecekteki kullanımı için bu boyarmadde daha da fazla modifikasyona uğrayacak. Kimyacılar belirli özelliklere sahip moleküller dizayn etmeyi şimdiden başarmış bulunuyor.

### Enerji transferi ve chromophor'lar

Kısa süre içinde sentetize edilen transistör molekülleri gerçi etkileyici, ancak bunlar sıvı biçimde hemen hemen hiç de kullanılabilir değil. Oysa bilimciler bir yandan molekülleri bir polimermatrix içine yerleştirmeyi çoktan başarmış ve böylelikle katı bir biçime geçirmeyi başarmış bulunuyor. Öte yandan sinyalleri bir molekülden diğerine transfer etmeyi de başarmış durumdadır. Konvansiyonel optik yapıtaşlarıyla tabii ki yeni teknik de yarım mikrometrenin altındaki yapılarla ışık kırılması meydana geldiği için yakında sınırlarına ulaşabilirdi. Bu sınırın altında kalmayı Langhals çevresindeki çalışma gurubu bilgilerin transferi için elektromanyetik ışığa kullanılmadan kalıyor. "Yayılan ve sonra yeniden soğurulmak zorunda olan ışığın yerine biz yalnızca enerji taşıyoruz" açıklamasında bulunuyor Langhals. Bunun kuramsal temellerini kuvantum mekaniği sunuyor. Enerji transferi elektronların aynı molekül içerisindeki başka atom bantlarına ya da komşu moleküllere geçişi suretiyle cereyan ediyor (☞ 154'teki kutuya bkz.). Bu molekül mesafesinin 2 ila 3 nanometre olan Förster yarıçapı sınırları içerisinde bulunduğu zaman olanaklı oluyor. Münihli kimyagerler doğrudan komşu yapıtaşlarını mekanda sabitleyerek Chromophor'ları birbirine daha da yakınlaştırmış bulunuyor.

Sarı sıvıdan daha çok bir polimermatrix içine yerleştirilmiş boyarmadde bu malzemenin geleceğin tekniği oluşacakmış izlenimini uyandırıyor. Plastik kütleler bardaklarında altın külçeler gibi ışıyor. Bunlardan daha işlemciler

inşa etmek mümkün olmadan, teknoloji yüksek yoğunluklu hızla yeniden yazılabilir bellek ortamları geliştirmede kullanılabilir. Devreye açılabilir moleküller bu iş için yalnızca bir polymer kafesin düzenli biçimine getirilmek zorunda, bundan da bir CD'yi andıran bir ortam oluşabilir. Boyarmadde belleklerle yapılan ilk deneylerde molekülleri planlı bir biçimde ısıtmak suretiyle sarı ve protokal rengi arasında ileri geri devreye açmak başarmış bile. Bir lazer ışını ile yoklamada bir CD'de olduğu gibi farklı renkler farklı mantıksal değerler olarak yorumlanıyor. Gerçi moleküller 500 dereceye kadar ısıtılmaya dayanıklı, ama araştırmacılar chromophor'ları yalnızca ışık yayarak devreye açıp kapamak ve böylelikle veri depolamak hedefine ulaşmak istiyor.

### Teknik çözümler mühendislerin işi

Gelecekteki işlemciler de ufak lazer diyodlarının ışığıyla devreye açılacak. Bunun için planlı bir biçimde tek tek moleküllerin flörensanslığını devreye açıp kapayabilecek iki farklı dalgaboylu lazerler gerekecek. Bunu tek tek moleküllerle yapmak şimdiden laboratuvarlarda olanaklı. Oysa Münih'teki kimyagerler işlemciler geliştirmek istemiyor. "Biz chromophor'lar ve gerekli know-how sunuyoruz" diyerek sınırları çiziyor Reiser, "Teknik çözümler ve ürünler geliştirmek ise mühendislerin işi." Bunun ne kadar hızla gerçekleşeceği ise endüstrinin tümüyle yeni bir teknolojiye geçmek konusunda hazır ve istekli olup olmadığına bağlı. Ondan sonra da ürün geliştirmeye kadar geçecek sürenin ne kadar olacağını kimse kestiremiyor - belki on, belki de yirmi yıl.

### Işıyan maddenin cazibesi ve geleceği

Know-how'larıyla Langhals ve ekibi kendilerini dünya çapında önde gidiyor görüyor: Onların dışında daha kimse enerjiyi devreye açılabilir moleküller üzerinden transfer edebilmeyi başarmış değil. ABD'deki ve Japonya'daki bilimciler de tabii ki ışıyan maddeye aynı şekilde hakim olmak istiyor. Araştırma sonuçları çoğunlukla kapalı kapılar ardında tutuluyor, ve Münihliler de geliştirdiklerinin patentini sağlama alıncaya dek ayrıntılar konusunda hassas davranıyor.

Ama boyarmadde ile bilimciler bugünden ticaret yapıyor. Spin-Off firması Lambda Chem üzerinden Reiser ve Wetzel yüzde 100'lük floresan randımanını dolayısıyla ci-

haz kalibrasyonu için ayar maddesi olarak değer kazanan S-13'lü ampuller dağıtıyor.

Gelecek optik bir işlemcinin çebvrebirimleri konusunda kimyagerler için yapacak daha çok iş olacak. Süper hızlı chipin yavaş elektronik ile frenlenmesinin önüne geçmek gerekiyor. Bu yüzden olanaklı olan her yerde metallerin ve yarıiletkenlerin yerini iletken polymer'ler alacak. ■

MF / Garo Antikacıoğlu, agaro@chip.com.tr

**Daha fazla bilgi için:** [www.cup.uni-muenchen.de/oc/](http://www.cup.uni-muenchen.de/oc/)

## «Başarılı floresan boyarmaddeler yarı iletkenlerin karşısı.»

Prof. Dr. Heinz Langhals, LMU Münih