

DNA Kablolar

**Moleküller Elektronik Devrelerin
Bir Bileşeni Olabilir mi?**

Mikroelektronik sistemlerin üretimine yönelik çalışmalar Moore Yasası, üretim yöntemleri ve maliyetleri tarafından belirlen sınıra hızla yaklaşıyor. Elektronik devrelerin temel bileşeni olan transistörler her geçen gün küçülürken, tek bir mikroişlemcinin içerdiği transistörlerin sayısı katlanarak artıyor. Transistörlerin boyutlarında ulaşılan değerler (2011 yılında Intel 14 nanometre büyüklüğünde transistör ürettiğini açıkladı) sonraki adımda elektronik devrelerde molekül ölçeğinde bileşenlere ihtiyaç duyulacağını gösteriyor. Bilim insanları 1970'li yılların başından beri nanometre ölçeğindeki moleküllerin elektronik sistemlerin temel yapı taşı olarak kullanılabileceğini düşünüyor.

Moleküler elektronik kavramı tek bir molekülün elektronik bir devrenin bileşeni olarak kullanılabilmesi ni ifade ediyor. Ancak moleküllerin silisyum temelli elektronik sistemlerin yerini alacağını düşünmek yanlış olur. Bilim insanları, moleküler elektronik sistemlere yönelik araştırmalarda moleküllerin elektronik devrelerin aktif ve pasif bileşenleri olarak kullanılmasına yönelik araştırmalar yapıyor. Örneğin elektronik devrelerinin en basit bileşenlerinden biri olan anahtarları düşünelim. Anahtar açık konumda iken belli bir işlevin gerçekleşmesine izin veren, kapalı konumda ise bu işlevin gerçekleşmesini engelleyen bir devre elemanıdır.

Dışarıdan uygulanan bir etkiyle (örneğin ışık, ısı) yapısında meydana gelen değişimler moleküllerin anahtar olarak görev yapmalarına imkân sağlıyor.

Moleküllerin elektronik cihazların bir bileşeni olarak kullanılabilmesi için elektronların molekülün bir ucundan diğer ucuna doğru nasıl hareket ettiğinin ve molekülün elektronik devrenin diğer mekanik bileşenlerine nasıl bağlanabileceğinin anlaşılması gerekiyor.

1971 yılında Hans Kuhn ve arkadaşları iki elektrot arasındaki yağ asitlerinin, kadmiyum tuzlarından oluşan katmanlardaki elektron transferinin hızını ölçtü ve katmanların kalınlığındaki artışla iletkenliğin azaldığını belirledi. Ancak bu sırada elektronların tek molekül kalınlığındaki yapıdaki hareketiyle ilgili de bilgi edindiler.

Moleküllerin elektrik iletkenliğini ölçmek için yapılan çalışmalarda iki metal elektrot (elektrot malzemesi olarak genellikle altın kullanılır) arasına bir molekül ya da tek tabakalı bir molekül katmanı yerleştirilir. Moleküllerin metal elektrota bağlanabilmesi için elektrotların da molekül büyüklüğünde olması gerekir. Bu amaçla genellikle aralarında nano ölçekte bir boşluk bulunan, molekül büyüklüğünde teller kullanılır. Daha sonra elektrotlar arasına yerleştirilen molekülün, elektrot olarak görev yapacak tellere kimyasal olarak bağlanması sağlanır.

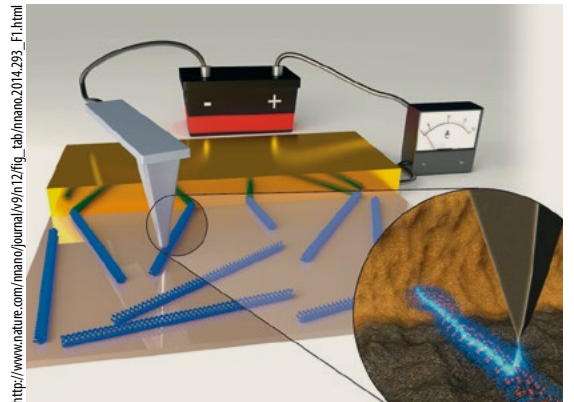


Elektronların bir molekülün içinde hareket edebilmesi için o molekülün yapısında elektron eksikliği ve elektron fazlalığı olan kısımlar bulunmalıdır. Ancak elektronlar bu iki kısım arasında kendiliğinden hareket etmez. Elektronların molekülün bir ucundan diğerine ve molekülden elektrotlara doğru hareketi, molekülü oluşturan atomların elektronlarının ve metal elektrotlardaki elektronların enerji seviyeleriyle yakından ilişkilidir. Uygun değerlerde bir elektrik potansiyeli uygulandığında bu seviyeler arasındaki enerji farkı azalır ve bu durumda elektronlar elektrotlar arasında aktarılabilir.

Elektronları iletme özelliği olan farklı organik moleküller var. Ancak bilim insanları özellikle herhangi bir dış etkiye ihtiyaç duymadan kendiliğinden düzenli bir yapı oluşturabilen, yönlenebilen ve kendini onarabilen biyolojik moleküllerdeki elektronların hareket mekanizmasını anlamaya yönelik çalışmalar yapıyor. DNA da bu moleküllerden biri.

Son yıllarda DNA zincirinin elektriği iletme amacıyla moleküler bir kablo olarak kullanılabileceğini gösteren çalışmalar yapıldı. Bu kuramsal çalışmalarda, DNA molekülündeki atomların bağ oluşumunda yer alan değerlik elektronlarının, belli atomların çevresinde yoğunlaşmak yerine, DNA zinciri boyunca yayılması nedeniyle, DNA'nın elektronların iletilmesi için uygun bir molekül olduğu ön görülüyordu. Ancak bu görüş net bir şekilde deneysel olarak sınamamıştı. *Nature Nanotechnology* dergisinde Aralık ayında yayımlanan bir araştırmaya göre, ilk defa tek bir DNA molekülünde elektronların iletilmesi başarıldı ve deneyler tekrar edildiğinde kesinliği yüksek sonuçlar elde edildi.

DNA molekülündeki elektronların orbitallerinin çakışması elektronların molekül içinde taşınmasını mümkün kılar. DNA molekülündeki adenin-timin ve guanin-sitozin baz çiftleri, iki DNA zincirinin sarmal bir yapı oluşturacak şekilde bir araya gelmesini sağlar. Molekül orbitallerinin çakışması özellikle bu bazların DNA'da nasıl konumlandığıyla yakından ilişkilidir. Bu nedenle geometrik yapısında meydana gelen bir değişim, DNA'nın elektronik özelliklerini belirgin şekilde değiştirebilir. *Nature Nanotechnology* dergisinde yayımlanan araştırmada bilim insanları, doğal DNA'nın geometrik yapısında ortaya çıkan değişimlerin yol açtığı sorunların üstesinden gelmek için, guanin bazlarından oluşan DNA molekülü sentezledi. Dört guanin bazının oluşturduğu düzlemsel yapıların üst üste gelmesiyle ortaya çıkan bu yapının esnekliği, doğal DNA'nın yapısına göre daha düşük. Dolayısıyla geometrik yapısı daha kararlı olan DNA molekülünün bu şekli, elektronların daha uzağa taşınmasına imkân veriyor.



http://www.nature.com/nanotechnology/figure/12/fig_12/fig_12_293_F1.html



Bu çalışmada yalıtkan bir katı yüzey üzerine tutturulan sentetik DNA molekülünün elektrik iletkenliği altın elektrotlar arasında ölçüldü. Molekülün, değeri 100 pikoampere (amperin trilyonda biri) ulaşan akımı 100 nanometre boyunca taşıyabildiği anlaşıldı. Son yıllarda ancak küçük moleküllerin kullanıldığı çalışmalarda, moleküllerin elektrik iletkenliğiyle ilgili başarılı sonuçlara ulaşılmıştı.

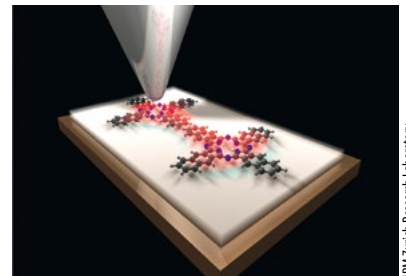
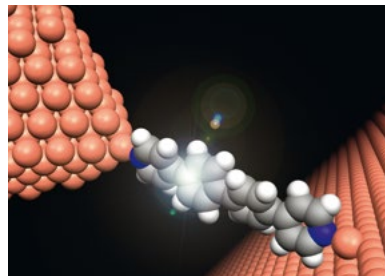
Elektrik yüklerinin aktarılmasına dayanan biyolojik süreçlere (örneğin fotosentez, sinir sistemi boyunca sinyallerin iletilmesi) doğada rastlamak mümkün ve bütün bu süreçler moleküller aracılığıyla gerçekleştiriliyor. Ayrıca hayli düzenli yapıdaki bu karmaşık biyolojik moleküller dışarıdan bir etki olmaksızın kendi kendiliğine düzenleniyor. Moleküllerin bu özelliği nano ölçekte elektronik cihazların üretilmesi için alternatif yöntemlerin geliştirilmesi sağlanabilir.

Üç boyutlu yapıları, moleküllerin özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Kimyasal formülü yani içerdiği atomların türü ve sayısı aynı olsa da bir molekül farklı geometrik yapıya sahip olabilir. Yapısındaki bir atomun yönelmesindeki değişim, o molekülün kimyasal, fiziksel, elektronik özelliklerinde değişime neden olabilir.

Moleküllerin elektronik sistemlerin bir bileşeni olarak kullanılabileceği kırk yılı aşkın süredir bilinmesine rağmen, ancak son yıllarda kuramsal ve deneysel sorunların aşılmasına yönünde ilerleme sağlanabildi. Ancak molekül temelli elektronik uygulamaların hayata geçmesi yakın zamanda mümkün görünmüyor. Moleküllerin bir elektronik devrenin bileşeni olarak kullanılmasında karşılaşılan önemli sorunlar-

dan biri moleküllerin aralarına yerleştirildiği, nano ölçekli elektrotların üretilmesi. Üstesinden gelinmesi gereken diğer bir zorluk ise molekülün elektrot yüzeyine uygun şekilde bağlanabilmesi. Ayrıca moleküllerin elektronik devrelerin aktif bir bileşeni olarak kullanılabilmesi için, tek moleküllü farklı elektronik sistemlerin birlikte kullanılabilmesi gerekiyor.

Intel'in kurucularından Gordon E. Moore 1965 yılında bir mikroçipteki transistör sayısının yaklaşık her iki yılda bir ikiye katlanacağını öngörmüştü. Ancak bu gelişimin sonsuza kadar devam edemeyeceğini, transistörlerin büyüklüğünün atom ölçeğine yaklaşmasıyla son noktaya ulaşılacağını da belirtmişti. Bu nedenle nano ölçekli moleküller elektronik teknolojilerinde yeni gelişmelerin sağlanmasına öncülük edebilir.



IBM Zurich Research Laboratory

Kaynaklar

- Mann, B., Kuhn, H., "Tunneling through Fatty Acid Salt Monolayers", *Journal of Applied Physics*, Cilt 42, Sayı 11, s. 4398-4405, 1971.
- Heath, J. R., Ratner, M. A., "Molecular electronics", *Physics Today*, Cilt 56, Sayı 5, s. 43-49, 2003.
- Carroll, R. L., Gorman, C. B., "The Genesis of Molecular Electronics", *Angewandte Chemie International Edition*, Cilt 41, Sayı 23, s. 4378-4400, 2002.
- Petrova, E. G., Mayb, V., Hanggi, P., "Controlling electron transfer processes through short molecular wires", *Chemical Physics*, Cilt 281, Sayı 2-3, s. 211-224, 2002.
- Livshits, G. I. ve ark., "Long-range charge transport in single G-quadruplex DNA molecules", *Nature Nanotechnology*, Cilt 9, s. 1040-1046, 2014.
- "Molecular electronics", Focus issue, *Nature Nanotechnology*, Cilt 8, Sayı 6, s. 377-467, 2013.
- <https://www.nae.edu/Publications/Bridge/ExpansionofFrontiersofEngineering/MolecularElectronics.aspx>