



NANO DÜNYANIN NUMARALI GÖZLÜKLERİ

GÜNÜMÜZ MİKROSKOPLARI

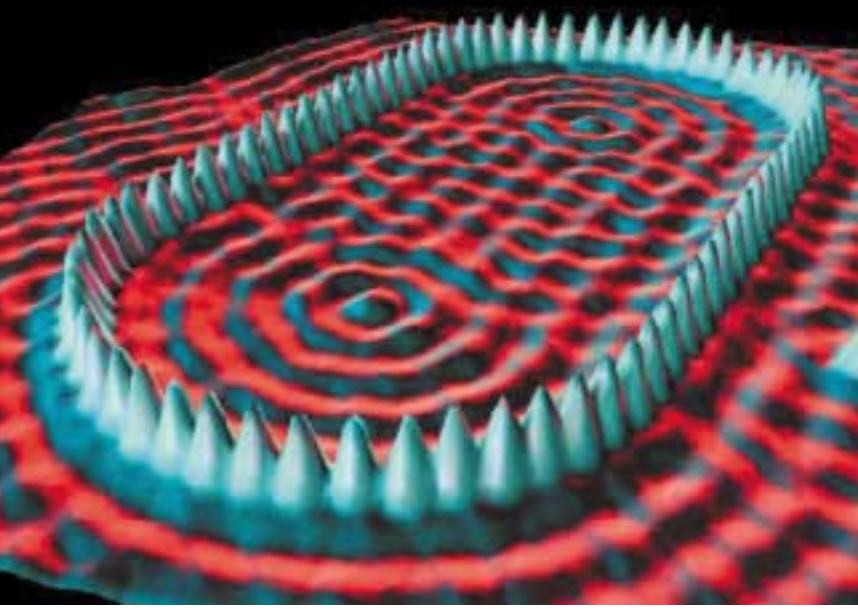
Gözümüzün göremediği çok küçük nesnelere görünmenin bir yolu mikroskoplar. Bilimsel araştırmaların neredeyse en temel araçları. Gelişen teknoloji, ışık mikroskoplarından atomik kuvvetlerle desteklenebilen mikroskoplara kadar çok farklı türde ve farklı amaçlar için kullanılan elektron ve sonda mikroskopları üreterek görme yeteneğimizi artırıyor.

Yüzeylerin incelenmesi ve tanımlanması, özellikle, metalürji, paslanma, kataliz, mikro ve opto elektronik, seramik aşınması, camı ve bileşik maddeler, polimerler, yarıiletkenler, biyolojik malzemeler, ambalaj malzemeleri gibi, yüzey özelliklerinin önemli olduğu, malzemeyle ilgili hemen her bilimsel ve endüstriyel alanın en önemli konusu. Malzeme üretiminde yüzey yapısı çok önem taşıyor; çünkü hemen her malzemenin dış ortamla etkileşmesi yüzeylerde oluyor. Yüzeylerin içinde buldukları ortama gösterecekleri uyum, aynı ortamda kullanışlı olabilmelerinin en temel koşulu. Yüzeylerin yapılarını anlamakta, hem kimyasal hem de fiziksel tanımlamalara gerek duyulmakta. Kimyasal tanımlamalar, çok gelişmiş spektroskopik tekniklerle yapılırken, fiziksel tanımlamaların yapılmasında elektron ve sonda mikroskopisi teknikleri kullanılmakta. Çözünürlükleri bir atomu görüntüleyebilir hale gelmiş günümüz

mikroskopi çalışmaları, hem elektron ışınlarının ve manyetik merceklerin kullanıldığı taramalı elektron mikroskopisi, hem de çok daha küçük boyutlardaki yapıların görünür kılınmasına olanak tanıyan, merceksiz, taramalı sonda mikroskopisi yöntemleriyle sürdürülmekte.

Geleneksel ışık mikroskopları, ışık dalgalarının yönlerini değiştiren bir seri mercek kullanarak, görüntüyü 2000 katı kadar büyütürler. Ayırma gücünün üst sınırı (kırınım sınırı) yaklaşık 0.5 mikrometre (metrenin milyonda biri) olan ışık mikroskoplarının, görünür bölgedeki ışığı 0.5 mikrometrelilik dalgaboyundan daha küçük boyutlu yapıları görünürleştirmesi olası değil. Ancak, temel işleyiş mantığı ışık mikroskopuyla aynı olan elektron mikroskopu, görünür ışıktan çok daha küçük dalga boyuna sahip elektron ışınlarıyla aydınlatma yapar. Işık mikroskopuna göre, çok daha yüksek çözünürlüğe sahip olan elektron mik-

roskopu, bu özelliğiyle, çok daha küçük nesnelere kolayca görünür kılar. İşleyişine kabaca değinmek gerekirse, elektron mikroskopunda kullanılan elektron demeti önce uygun potansiyeller altında hızlandırılır. Sonra, hızlandırılan elektronlar incelenecek örnek malzemenin ya içinden geçirilir ya da yüzeyinden yansıtılır. Elektron demetinin, örnek malzemenin içinden geçerek incelenmesine olanak tanıyan mikroskoplar geçirmeli elektron mikroskopu (Transmission Electron Microscope, TEM), örnek malzeme yüzeyinden yansıtma yaparak görüntü elde edilmesini sağlayanlar da taramalı elektron mikroskopu (Scanning Electron Microscope, SEM) şeklinde adlandırılırlar. Gelişen teknolojiyle birlikte görece yeni bir tür diyebileceğimiz, işleyiş mantıkları taramalı sondaj yapma temeline dayanan taramalı sonda mikroskopu da (Scanning Probe Microscope, SPM) yaygın biçimde kullanılmakta.



IBM araştırmacılarının ürettiği kuantum adacığının STM görüntüsü.

Taramalı Elektron Mikroskopi

Nano ölçeklerde, daha çok bilgi edinebilmenin bir yolu olarak, uzun yıllardır taramalı elektron mikroskopi yöntemi kullanılmakta; malzeme-elektron etkileşmesi sayesinde de yüzey yapıları incelenerek, malzemenin fiziksel tanımlamaları yapılabilmekte. Bu tür elektron mikroskopi yöntemiyle, biyolojik organizmaların biçim ve yapıları hakkında da bilgi edinilmekte. Alışıldık biçimsel incelemelerden, yüksek hızlı yapısal incelemelere ya da çevreye duyarlı malzemelerin incelenmesine kadar çok farklı amaçlar için üretilmiş, çok sayıda SEM türü var.

SEM'le incelenecek örnekler, mikroskop içinde uygulanacak vakuma dayanıklı olacak biçimde dikkatle hazırlanırlar. Söz konusu malzeme örneği biyolojik bir organizma ise, öncelikle kurutulması gerekir. Biyolojik organizmanın yapısının doğru tanımlanabilmesi için, kurutma sırasında büzüşmesi önemli. SEM'le incelenecek malzemenin iletken olması zorunlu. Örne-



STM

ğın, sinek gibi iletken olmayan bir malzemenin incelenmesi söz konusuysa, bu malzeme, özel teknikler kullanılarak iletken bir malzemeyle (örneğin altın), çok ince bir tabaka halinde kaplanarak iletkenleştirilir. Hazırlanan örnek, hava sızdırmaz açıklığın içinden, mikroskopun vakum sütunu denen bölümünün içine yerleştirilir. Sütunun içindeki hava boşaltıldıktan sonra, bir elektron tabancası yüksek enerjili elektron demetini göndermeye başlar. Bu demet, elektronları çok ince bir noktada odaklamak üzere tasarlanmış bir seri manyetik merceğin içinden geçerek aşağıya doğru yol alır. En alta



SEM

yakın bir yerde, bir seri taramalı sarmal (bobin), odaklanmış demeti, örnek üzerinde sıra sıra ileri geri hareket ettirir. Elektron demetinin malzeme örneğine çarptığı her noktadan, ikincil elektronlar denir, örnek malzemeye ait elektronlar çıkar. Bir dedektör bu elektronları sayarak, elde ettiği sinyalleri bir yükselticiye gönderir. Sonuç görüntü, örnek üzerindeki her noktadan yayılan elektronların sayısından bilgisayar yardımıyla geliştirilir.

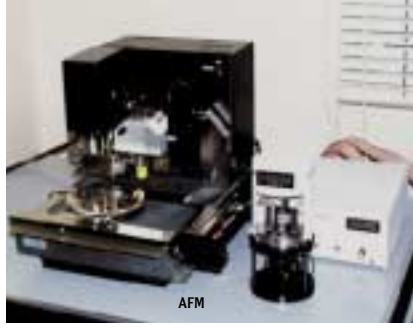
Taramalı Sonda Mikroskopi

Yüzey tanımlanmasında, elektron kullanımı yerine sonda yaparak incelemek düşüncesi, mikroskop tarihinin en yeni uygulaması. Atomik boyutlarda, çok yüksek büyültme ve çözünürlük gücü isteklerinin bir sonucu olarak, taramalı sonda mikroskopi (Scanning Probe Microscope, SPM) doğmuş.



Sivrisineđin SEM görüntüsü

Taramalı sonda mikroskopları, çok ince uçlu ve keskin bir sondanın incelecek örnek yüzeyinin çok yakınında, düzenli aralıklarla hareket ettirilerek, taranmasıyla elde edilen verilerin değerlendirilmesi ilkesine dayanır. Sonda, yüzey üzerinde hareket ederken, yüzey üzerinde bulunan çok küçük boyutlu tepe ve çukurları algılar. Sondanın x,y,z üç boyutundaki hareketinin denetimi basınçla elektrik üreten kristallerle yapılır. SPM'ler, örnek yüzeyini algılamada uygulanan yöntemlere göre farklı tasarlanırlar ve farklı adlar alırlar. Taramalı tünelleme mikroskopu (Scanning Tunneling Microscope, STM) yüzeye çok yakın bir uzaklıkta ve yüzey üzerine dokunmadan tarama yaparken, atomik kuvvet mikroskopu (Atomic Force Microscope, AFM) hem dokunarak hem de dokunmadan yüzey taraması yapar. Ek olarak STM'lerle sadece iletken ya da iletken hale getirilmiş malzeme örnekleri incelenebilirken, AFM'ler yalıtkan malzemelerin incelenebilmesine de olanak verirler.



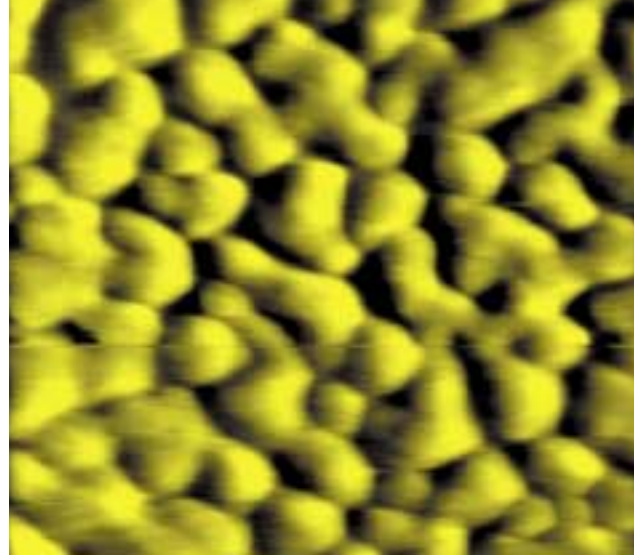
den olur. Uçun açtığı yolun koordinatları, daha sonra, yüzey topoğrafyasının haritasına dönüştürülür.

Son yıllarda STM'in yeni uygulamaları da ortaya çıktı. Örneğin, IBM firmasının araştırmacıları, nanometre ölçekte, yapay yapıların bağlı elektronları için, yeni bir yöntem buldular. Bakır üzerindeki yüzeyel konum elektronları, bakır yüzeyine yapıştırılan demir atomlarınca oluşturulan engeller tarafından, kuantum adacığı (quantum corral) denilen kapalı yapılara hapsedildi. Soğutulmuş STM'nin sonda ucu kullanılarak yapıştırılan demir atomlarının yerleri belirlenerek, engeller birleştirildi. Bu yolla 48 yapışık demir atomundan çapı 71.3 angstrom olan dairesel bir adacık üretildi. Bu yeni sayılabilecek yöntem sayesinde, çok daha küçük yapıların yüzey topoğrafyaları görünür kılındı.

Atomik Kuvvet Mikroskopu

Atomik kuvvet mikroskopu, yüzey incelemelerinde, yüzey tanımlanmalarının söz konusu olduğu herhangi bir malzeme için, özel bir örnek hazırlama tekniğine gerek duyulmaksızın, doğrudan ve yerinde (in situ) kullanılabilen, angstrom-altı çözünürlüğü sayesinde de yüzeylerin atomik örgülerini görünür kılan bir araç.

AFM'yle inceleme sırasında, sonda ucu ve örnek yüzeyi arasında nano-Newton mertebesinde bir kuvvet uygulanır. Uçun, örnek yüzeyine yaklaştırılmasıyla, önce moleküller arasındaki etkileşim kuvvetleri olan van der Waals, sonra uçun yüzeye daha da yaklaştırılmasıyla, uç ve örnek yüzey-



Stronsiyum yüzeyinin AFM görüntüsü.

deki atomların orbitallerindeki elektronların neden olduğu atomik kuvvetler devreye girer. AFM'de, sonda ucu doğrudan örnek yüzeyine dokundurularak da tarama yapılabilir. AFM'lerin sonda ucu çok hassas bir esnekliğe sahip tutucu bir kola takılıdır. Sabit bir kuvvetle örnek yüzeyine basan bu kol, sonda ucunun, örnek yüzeyinde dolaşırken karşılaştığı topoğrafya özelliklerine göre, aşağı-yukarı hareket eder. Bu hareket sırasında, kolun ucuna bir lazer ışığı düşürülerek elde edilen yansımalar, bir ayna yardımıyla detektöre iletilir. Kolun en küçük hareketi, detektöre yansıtılan lazer ışınındaki yerdeğiştirme olarak algılanır ve üçüncü boyut olarak tanımlanır. Tarama süresince edinilen x,y,z verileri bilgisayara aktarılır ve uygun yazılımlarla görüntü işleme ve incelemeleri yapılır. AFM'lerle hava ya da sıvı ortamda, sıvı, vakum, yüksek ve alçak sıcaklık koşullarında inceleme yapmak olası.

Nano dünyanın numaralı gözlemleri gibi olan bu mikroskopların, gelişen teknolojiye koşut olarak, henüz görünemez varsayılan çok daha küçük yapıları görünür kılması çok da uzak olmasa gerek.

Serpil Yıldız

Kaynaklar
<http://www.almaden.ibm.com/vis/stm/stm.html>
http://omicon-instruments.com/products/afm_stm/
<http://www.mos.org/sln/sem/intro.html>
<http://www.mos.org/sln/SEM/>
<http://www.che.utoledo.edu/nadarajah/webpages/whatsafm.html>
<http://www.aip.org/physnews/graphics/html/corral.htm>
<http://www.owl.net.rice.edu/~chem121/class/corrals/>
O. Güven, E. Tan, A. Alaçakır, "Atomik Kuvvet Mikroskopisi", Bilim ve Teknik Dergisi, Sayı 339, 1996
Durlu, T. "Yüksek Voltajlı Elektron Mikroskop", Bilim ve Teknik Dergisi, Sayı 284, 1991