

# СКАНИРУЮЩАЯ ТУННЕЛЬНАЯ МИКРОСКОПИЯ (СТМ)

## (Scanning Tunnel Microscopy)

«Мы искренне верим, что красота атомных структур послужит стимулом к применению данного метода к решению тех задач, где он сможет принести наибольшую пользу человечеству».

Г. Бинниг, Г. Рорер 1986 г.

царский ученый Г. Рорер и немецкий ученый Г. Бинниг были удостоены Нобелевской премии по физике.

В сканирующем туннельном микроскопе *пьезодвигатели* с высокой точностью (до 0,1 Å) приближают атомно-острую металлическую иглу к поверхности образца, который, естественно, не должен являться изолятором для возможности регистрации туннельного тока. Между иглой и поверхностью прикладывается напряжение от десятых долей до единиц вольт. На расстоянии порядка 10 ангстрем между атомами иглы и образца начинает протекать туннельный ток. Туннельный ток имеет квантовую природу, а его величина существенно зависит от расстояния между иглой и поверхностью образца: так, при напряжении между иглой и образцом около 1 В и сближении зонда с поверхностью с 15 до 8 ангстрем (примерно в 2 раза) ток изменяется

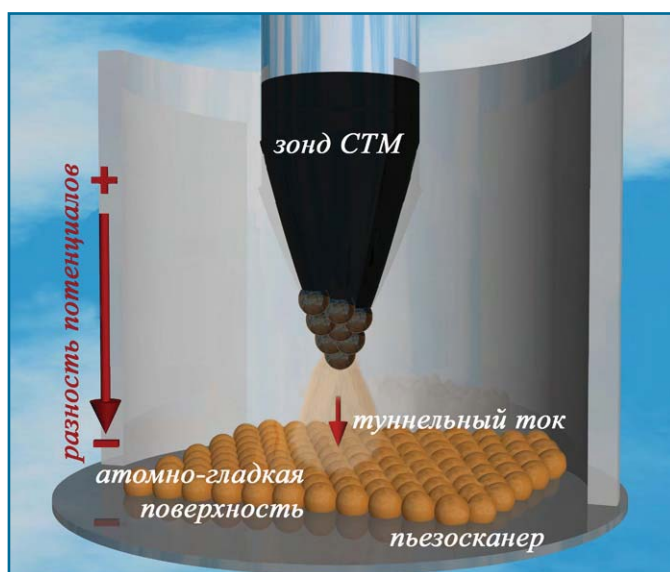


Схема метода сканирующей туннельной микроскопии

Как ни странно, несмотря на всю новизну тематики *нанотехнологий*, основы метода сканирующей туннельной микроскопии, являющейся на сегодня одним из основных методов исследования *наноструктур* и пленочных материалов, были заложены еще в тридцатых годах XX века. Именно тогда Г.А. Гамовым было решено *уравнение Шредингера*, описывающее возможность преодоления частицей энергетического барьера даже в случае, когда ее энергия много меньше высоты самого барьера. Через полвека, в 1981-м году, это явление, названное *туннельным эффектом*, позволило создать уникальный прибор для исследования проводящих поверхностей с практически недостижимым для других методов разрешением и буквально ощупать атомную структуру поверхности. В 1986 г. за разработку сканирующего туннельного микроскопа швей-

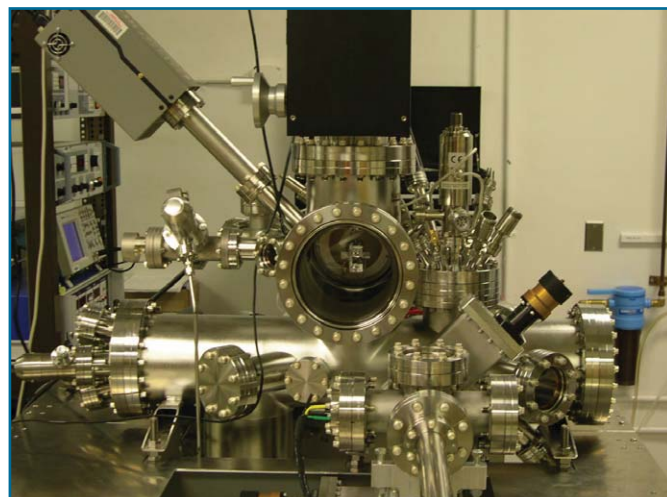
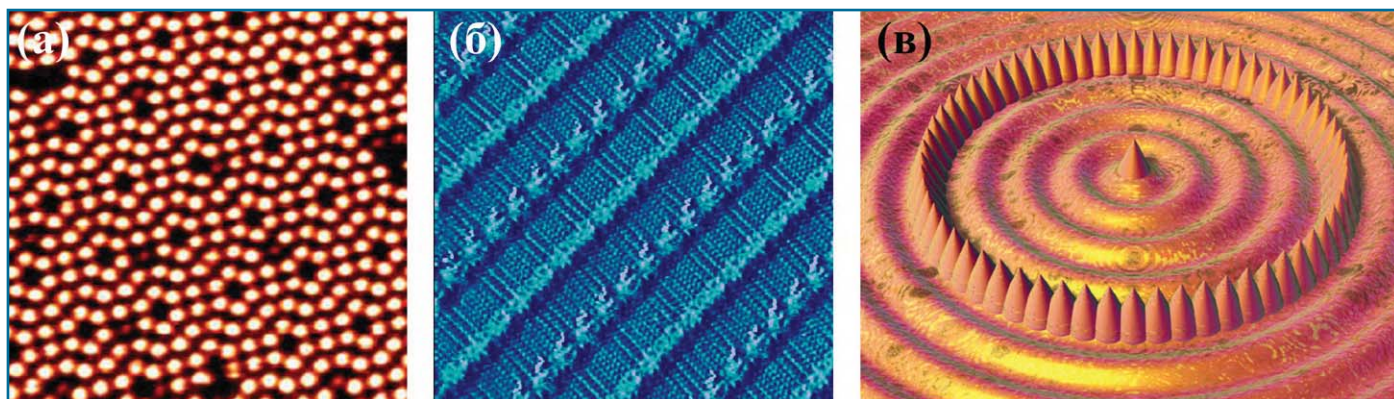


Рис. 1. Сверхвысоковакуумный сканирующий туннельный микроскоп



**Рис. 2.** СТМ-изображение поверхности Si (111)  $7 \times 7$  (а, Omicron); монослоя 1,3-динонадекан-бензена (б, K. Kim, A. Matzger, Veeco); квантового коралла из 48 атомов Fe на поверхности Cu (111) (в, IBM Almaden Research Center)

от единиц пикоампер до десятков наноампер (в  $10^4$  раз).

Для устранения возможного контакта иглы с поверхностью образца или ее ухода из области протекания туннельного тока используют систему обратной связи. Эта система постоянно регистрирует туннельный ток, корректируя высоту зависания зонда над образцом в соответствии с заданной величиной туннельного тока в каждой точке сканирования. При этом зонд остается на одном и том же расстоянии от поверхности, что позволяет определить распределение электронной плотности над образцом, а траектория зонда отражает рельеф поверхности образца. Таким образом, сканируя поверхность образца, можно получить распределение атомного потенциала, а также информацию о расположении атомов в структуре с атомным разрешением.

Прецизионность метода, возможность наблюдать атомную структуру и даже распределение потенциала в пределах единичного атома предъявляют массу требований к технике самого метода сканирующей туннельной микроскопии и к чистоте поверхности образца. Сегодня СТМ микроскопы обычно помещены в сверхвысоко-

вакуумные камеры, чтобы избежать адсорбции молекул воды,  $\text{CO}_2$ , кислорода или азота из воздуха (рис. 1).

Развитие метода вакуумного СТМ позволило приоткрыть завесу неизвестности над атомной структурой поверхности монокристаллов, мономолекулярных *пленок Ленгмюра–Блоджетт, самособирающихся монослоев* (рис. 2), а спин-поляризованная туннельная микроскопия позволила отследить направления магнитных моментов отдельных атомов. Сегодня метод СТМ широко используется для изучения *тонких пленок, квантовых точек, квантовых нитей и углеродных нанотрубок*. С помощью туннельного микроскопа удастся перемещать отдельные атомы и даже выстраивать сложные квантовые структуры. На основе туннельных микроскопов создаются сложные комплексы для формирования первых элементов «молекулярной электроники». Как и предсказывали первооткрыватели метода СТМ, красота атомных структур уже приносит пользу человечеству.

См. также: *Сканирующая зондовая микроскопия, Атомно-силовая микроскопия*

#### Литература:

1. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию. М.: Бином, 2005.
2. Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy: Theory, Techniques, and Applications Ed. Dawn Bonnell Wiley-VCH; 2 edition, 2000.
3. [www.ntmdt.ru](http://www.ntmdt.ru)