

пирамиды с одним атомом вольфрама в вершине. Делать это научились методом электрохимического травления – острие формировалось в растворе электролита при пропускании электрического тока. Этот достаточно сложный метод давал хорошие результаты в туннельной микроскопии, но вскоре обнаружилось, что столь же качественные изображения можно получить, изготавливая иглы другим, удивительно простым способом. Оказалось, что иглу можно сделать из платино-иридиевой проволоки с помощью обычных ножниц. Для этого достаточно всего лишь выполнить срез проволоки под углом примерно  $45^\circ$ . Качества образованной при этом вершины достаточно для того, чтобы увидеть отдельные атомы на поверхности различных образцов. Так, на рисунке 4 представлено изображение поверхности графита, полученное с помощью иглы, приготовленной именно таким образом. Выступы на поверхности соответствуют отдельным атомам углерода, расположенным на расстоянии 0,24 нм друг от друга.

Почему же туннельный микроскоп дает такое высокое разрешение? Чтобы понять это, обратимся к рисунку 5, на котором изображена игла с одним атомом в ее вершине вблизи проводящей поверхности. Как уже говорилось в начале статьи, туннельный ток появляется только в том случае, если оба электрода находятся близко друг от друга и при этом возникает непротяженная область изменения этого тока. Другими словами, величина туннельного тока сильно зависит от расстояния между электродами. Оказывается, что при уменьшении расстояния на величину, соответствующую размеру одного атома, ток может увеличиться в 10 и более раз. Поэтому основная часть электронов и в этом случае слетает с одного-единственного атома, расположенного на выступающей части иглы с одним атомом в вершине, в узком коридоре, диаметр которого может быть даже меньше размера самого атома.

Если с иглой с одним атомом все более или менее понятно, то пока не ясно, почему те же самые атомы можно увидеть с помощью иглы из обычной платино-иридиевой проволоки, срезанной кухонными ножницами. Секрет успеха очень прост. Срезая ножницами проволоку, мы формиру-

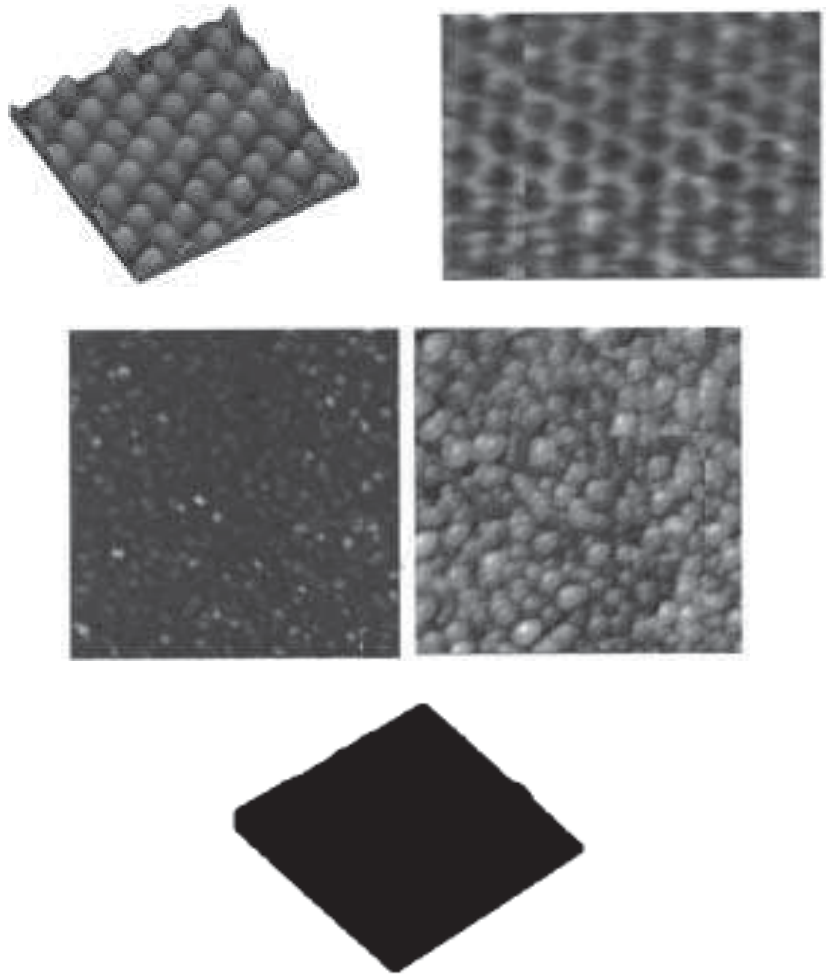


Рис.4. СТМ позволяет увидеть отдельные атомы на различных проводящих поверхностях. На рисунке сверху изображены поверхности графита (площадью  $1,7 \times 1,7$  нм) – слева, и сульфида молибдена ( $2,4 \times 2,4$  нм) – справа.

С помощью термического напыления металлов на ровную поверхность можно приготовить отражающие плоскости высокого качества. Такие идеальные зеркала имеют зернистую структуру, что и видит СТМ. В средней части рисунка изображены зеркальные пленки золота (слева) и никеля (справа). Размер участков поверхности  $500 \times 500$  нм и  $360 \times 360$  нм соответственно.

СТМ дает возможность наблюдать органические и биологические объекты. На рисунке внизу изображены липосомы – бислойные биологические мембраны в форме шариков. Диаметр одной липосомы около 300 нм. В косметике используются кремы, в состав которых входят липосомы. Липосомы служат в качестве контейнеров для направленной доставки лечебных веществ на участки кожи

ем острие скорее всего неправильной формы – вроде того, что изображено на рисунке 6. Однако и для этого острия может оказаться, что из всех атомов один будет чуть ближе к по-

верхности, чем все остальные. А это значит, что туннелирование электронов будет происходить в основном с этого атома. Если окажется, что на острие есть две вершины равной вы-

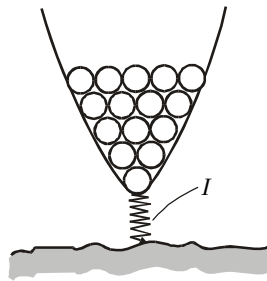


Рис.5. Когда в вершине иглы один атом, туннелирование происходит именно через этот атом

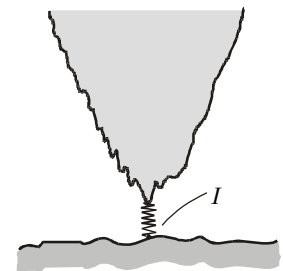


Рис.6. Игла неправильной формы – обычно один из атомов находится к поверхности чуть ближе, чем все остальные