

Туннельный ток

Одним из методов изучения поверхности веществ с нанометровым разрешением является сканирующая туннельная микроскопия, в основе которой лежит явление «туннелирования» электронов проводимости через потенциальный барьер, величина которого приближенно равна средней работе выхода электронов из материалов зонда и исследуемого образца. Расчеты показывают, что для плотности туннельного тока справедлива следующая приближенная формула:

$$j = j_0 e^{-kx}, \text{ где } k = \frac{4\pi}{h} \sqrt{2mA}$$

здесь: j_0 – некая функция, зависящая от приложенного напряжения, x – расстояние между зондом и поверхностью, $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка, $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг – масса электрона, A – средняя работа выхода.

Начинающий экспериментатор Петр, изучая поверхность своего образца, заметил, что при непосредственном контакте зонда и поверхности (т.н. контактный режим работы) туннельный ток составлял 1 нА. Этот ток показался ему недостаточным, поэтому он заменил зонд на аналогичный, но с радиусом закругления в 5 раз большим. После этого Петр перевел микроскоп в бесконтактный режим и произвел исследование своего образца, причем среднее значение туннельного тока равнялось при этом 0,25 пА. На каком среднем расстоянии от поверхности находился зонд во время этого исследования, если известно, что средняя работа выхода электронов равна 5 эВ? (4 балла). На каком максимальном расстоянии от поверхности образца туннельный ток все еще можно было зафиксировать, если точность используемого амперметра составляет 0,01 пА? (4 балла) Прикладываемое напряжение считать во всех экспериментах одинаковым.

Решение

Контактный режим работы означает, что туннельный ток определяется только произведением плотности тока j_0 и площади острия. Последняя, в свою очередь, квадратично зависит от радиуса закругления зонда. Т.о. после замены зонда туннельный ток в контактном режиме составлял 25 нА. Найдем коэффициент затухания $k = \frac{4\pi}{h} \sqrt{2mA} \approx 23 \text{ нм}^{-1}$. Это значение соответствует уменьшению тока примерно в 10 раз при увеличении расстояния зонд-образец на 1 Å. Следовательно, при туннельном токе 0,25 пА соответствующее расстояние между поверхностью и зондом равняется 5 Å. Предельное расстояние x_{max} определяется из соотношения: $I = I_0 e^{-kx_{max}} = 0,01 \text{ пА}$, где $I_0 = 1 \text{ нА}$ для зонда №1 и $I_0 = 25 \text{ нА}$ для зонда №2. Следовательно, для зонда №1 $x_{max} \approx 5 \text{ Å}$, а для зонда №2 $x_{max} \approx 6,4 \text{ Å}$.