

Физика наносистем и наноустройства (студенты, аспиранты, молодые ученые).

Задача 8 «Что измеряет туннельный микроскоп?» (базовая).

Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ) – один из самых интересных методов изучения строения вещества на нанометровых и атомных масштабах. С помощью СТМ получают замечательные изображения «отдельных атомов».

Изображения атомов действительно очень красивы. Вместе с тем, на атомных масштабах встает вопрос – что именно видит СТМ. То, какое изображение получается в СТМ, зависит от нескольких параметров. Основными из них являются работа выхода электронов из материалов образца и зонда, разность потенциалов между зондом и образцом и энергетические спектры электронов зонда и образца вблизи той области, через которую протекает туннельный ток. Такие энергетические спектры можно изучать, если использовать методику сканирующей зондовой спектроскопии – измерения зависимости туннельного тока от разности потенциалов между зондом и образцом. Эта зависимость часто называется вольт-амперной характеристикой (ВАХ) туннельного контакта. Для интерпретации ВАХ используются энергетические диаграммы, пример которой приведен на рис.1.

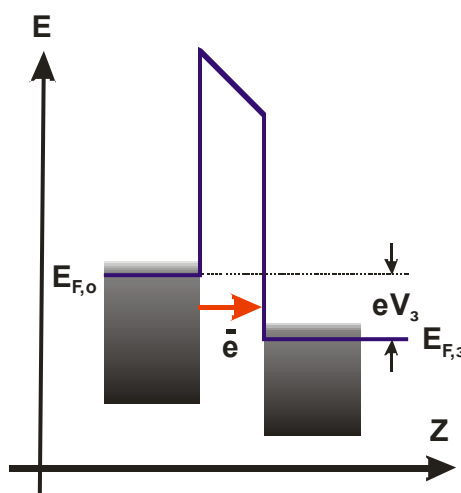


Рис.1. Пример энергетической диаграммы туннельного контакта металлического зонда с поверхностью металлического образца. E – энергия, Z – пространственная координата, $E_{F,o}$ и $E_{F,z}$ – уровни Ферми электронов в образце и зонде, V_3 – разность потенциалов между зондом и образцом.

Вопрос 1. Положителен или отрицателен потенциал зонда относительно образца V_3 на рис.1 (1 балл)?

Вопрос 2. Нарисуйте в координатах I_T (туннельный ток) / V_3 (потенциал зонда относительно образца) как будет выглядеть ВАХ туннельного контакта, энергетическая диаграмма которого изображена на рис.1 (1 балл)?

На рис.2 приведены примеры ВАХ туннельных контактов металлического зонда с поверхностями различных образцов.

Вопрос 3. Какие именно ВАХ на рис.2 соответствуют случаям, когда образец является:

- металлом,
- полупроводником с n-типом проводимости и высокой степенью легирования,
- полупроводником с p-типом проводимости и низкой степенью легирования,
- сверхпроводником в сверхпроводящем состоянии (1 балл)?

Вопрос 4. Нарисуйте схематично энергетические диаграммы туннельных контактов, ВАХ которых изображены на рис.2. Для каждой ВАХ нарисуйте две диаграммы, соответствующие различным знакам V_z относительно образца (2 балла).

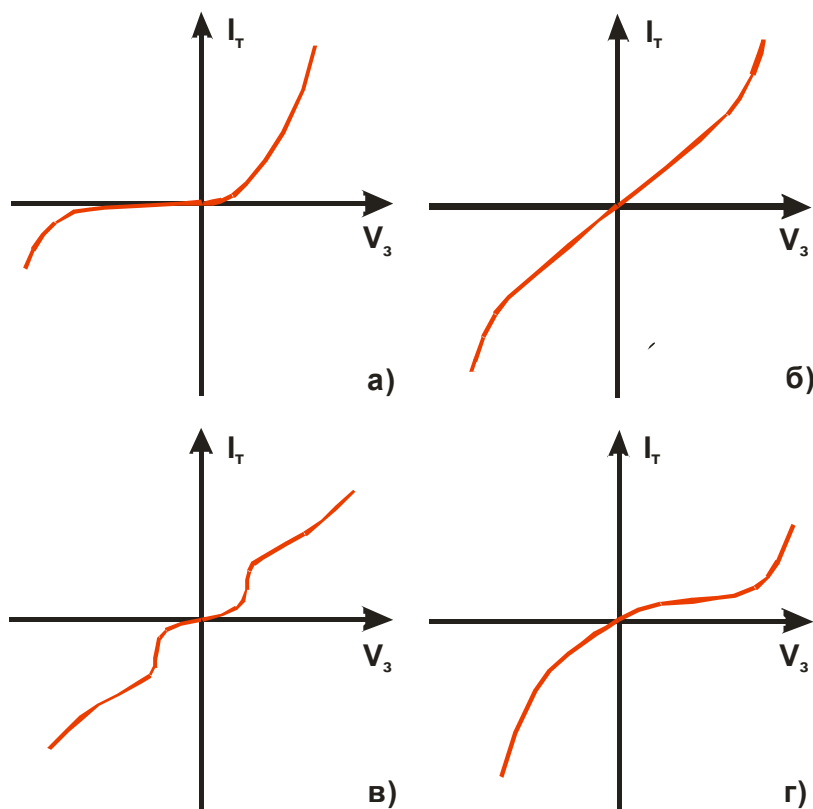


Рис.2. ВАХ туннельных контактов металлического зонда с поверхностями различных образцов

То, что СТМ чувствителен к энергетическому спектру электронов вблизи того участка поверхности образца, через который течет туннельный ток, приводит к тому, что один и тот же атом может выглядеть по-разному в зависимости от разности потенциалов между зондом и образцом. На рис.3 представлены изображения одиночного атома кислорода, адсорбированного на поверхности (110) монокристалла высоколегированного арсенида галлия (GaAs) с проводимостью n-типа. Оба изображения получены в режиме «топографии», когда система обратной связи СТМ поддерживает туннельный ток постоянным в процессе сканирования.

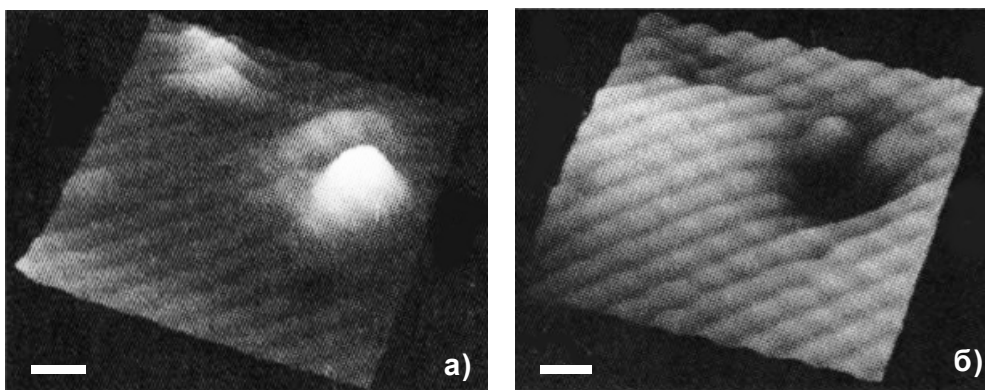


Рис.3. СТМ изображения одного и того же участка поверхности (110) GaAs с адсорбированным атомом кислорода, полученные при $V_z = +2.6\text{В}$ (а) и $V_z = -1.5\text{В}$ (б). Длина масштабного отрезка 1нм . Источник, из которого взяты изображения будет приведен в ответе.

Вопрос 5. На обоих изображения видны не только атом кислорода, но и другие атомы. Атомы каких именно элементов видны на рис.3а и на рис.3б? Ответ обоснуйте (2 балла).

Вопрос 6. Почему адсорбированный атом кислорода, в зависимости от потенциала зонда относительно образца виден по-разному – то как выступ, то как впадина? Обоснуйте свой ответ (2 балла).

Вопрос 7. Почему размер изображения адсорбированного атома кислорода в плоскости поверхности значительно больше, чем размеры атомов мышьяка и галлия (3 балла)?

Методические замечания:

1. Задача решается в рамках базовых знаний и здравого смысла
2. Вопросы можно задать в специальном разделе форума <http://www.nanometer.ru/forum/viewforum.php?f=19> или найти ответ самостоятельно (в том числе изучив доступные Вам Лекции на сайте Олимпиады <http://www.nanometer.ru/lectures.html?UP=156195>)
3. Решение оформляется и отсылается только в электронном виде, как описано в инструкциях к работе с задачами и решениями заочного теоретического тура, приведенных в разделе «Олимпиада» http://www.nanometer.ru/olymp2_o4.html

4. Подписывать решения не надо, Ваша фамилия, имя и отчество будут зашифрованы при проверке, идентификация для системы проверки производится по логину и паролю, который Вы вводите при входе на сайт Олимпиады www.nanometer.ru в качестве участника (этот пароль Вы задавали при регистрации и заполнении анкеты участника).