539.196(049.3)

НЕУПРУГАЯ ТУННЕЛЬНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Inelastic Electron Tunneling Spectroscopy/Ed. T. Wolfram.— Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 1978.— (Springer Series in Solid-state Sciences. V. 4).

Рецензируемая книга является сборником докладов, представленных ведущими физиками США, Канады, Англии и Франции на Международную конференцию и симпозиум по электронному туннелированию, проходившие в мае 1977 г. в США.

Неупругое электронное туннелирование представляет собой уникальный метод исследования колебательных мод молекул, адсорбированных на поверхности металлов. Само явление туннельного перехода электрона с возбуждением колебаний молекул, адсорбированных в туннельном контакте, было открыто Джеклевиком и Лэмбом в 1866 г. Типичный туннельный контакт представляет собой пленки Al и Pb толщиной $\sim$ 1000 Å, разделенные слоем окисла Al_2O_3 с толщиной $\sim$ 25 Å с адсорбированным на нем слоем молекул. При повышении напряжения V проводимость контакта dI/dV при некотором характерном значении V_0 испытывает скачок, составляющий 0,1—1% от значения проводимости при $V=0$. Ввиду малости скачка его наблюдение производится по пику второй производной d^2I/dV^2. Для этой цели с помощью специальной модуляционной схемы исследуется отклик контакта на добавочное малое переменное напряжение. Положение пика определяется частотой колебаний молекул $\hbar\omega/e$, его ширина зависит от температуры и обусловлена дробовым шумом в контакте. Скачок проводимости контакта объясняется открыванием при достижении напряжения V_0 неупругого канала для перехода электрона через потенциальный барьер.

Рецензируемая книга разбита на семь глав. Гл. I содержит два обзора по неупругому туннелированию, написанные Джеклевиком и Хансмой. В этих обзорах кратко излагается история возникновения метода туннельной спектроскопии, его практические возможности и преимущества по сравнению с методом оптической (инфракрасной и комбинационной) спектроскопии. Оптическая спектроскопия остается по-прежнему одним из наиболее важных и распространенных методов исследования молекул, посколь-

ку не требует низких температур и связана с хорошо развитой методикой. Однако к числу ее недостатков следует отнести сравнительно низкую чувствительность и то обстоятельство, что она позволяет исследовать ограниченную спектральную область длин волн, меньших 10^{-3} см. Метод неупругой туннельной спектроскопии обладает очень высокой чувствительностью и позволяет обнаружить малые концентрации молекул, $\sim 0{,}01$ доли монослоя. Этот метод позволяет исследовать спектральную область от 30 до 500 мэВ или от 250 до 4000 $см^{-1}$ с разрешением $\sim 1{,}1$ мэВ.

Гл. II посвящена приложениям метода неупругого туннелирования. В обзоре Вайнберга показана перспективность этого метода для изучения химии поверхности и гетерогенного катализа. Для понимания механизма гетерогенного катализа необходимо исследовать протекание химических реакций на поверхности металлов. Метод неупругого туннелирования позволяет по характерным спектрам колебаний идентифицировать промежуточные группы молекул. Кроме того, ввиду высокой чувствительности метода он позволяет работать с малыми образцами, что очень важно для исследования гетерогенного катализа. В статье Вайнберга проводится сравнение метода неупругого туннелирования с методом эмиссии электронов с поверхности металла, на которой адсорбирован слой молекул, в вакуум под действием сильного электрического поля, а также с методом неупругого рассеяния медленных электронов. Последний метод с успехом используется для исследования электронных возбуждений, однако, несмотря на создание электронных спектрометров с высоким разрешением ~ 10 мэВ, при исследовании фононных спектров он на порядок уступает методу туннельной спектроскопии.

В статье Колемана с соавторами приводятся результаты исследования колебательных спектров ДНК, РНК, гемоглобина и других биологических молекул, а также возникновения в них радиационных повреждений под действием ультрафиолетового облучения, а в статьях Йелона и Волфрама с соавторами рассматриваются приложения метода туннельной спектроскопии к определению малого количества примесей и к изучению адгезии.

Самая большая, гл. III посвящена теоретическим вопросам неупругого электронного туннелирования. В докладе Киртли излагается теория Скалапино и Маркуса, в которой взаимодействие туннелирующего электрона с молекулой вводится феноменологическим образом в дипольном приближении. В статье Рэта и Волфрама показано, что этого приближения недостаточно, поскольку интенсивность неупругого пика существенно зависит от деталей взаимодействия электрона с молекулой. Последнее выбирается исходя из основных принципов в приближении жестких ионов. Для учета обменной корреляции электронов используется X_α-метод Слэтера.

В докладе Дэвиса рассмотрен вопрос о возбуждении поверхностных плазмонов в туннельном контакте. Численный расчет закона дисперсии поверхностных плазмонов и вероятности их возбуждения проведен для случая $Al - Al_2O_3 - Ag$.

Работа Миллса посвящена теории рассеяния медленных электронов поверхностными возбуждениями и вычислению сил изображения. В ней приводятся оценки минимального расстояния заряда от поверхности, на котором годится обычная электростатическая теория.

В докладе Каннингама, Вайнберга и Харди рассмотрено влияние взаимодействия между адсорбированными молекулами на зависимость туннельного тока от концентрации молекул. В статье Фейхтванга проводится подробное сравнение между строгой теорией линейного отклика и обычной нестационарной теорией возмущений.

Гл. IV посвящена дискуссии по поводу прочитанных докладов.

В гл. V рассмотрено неупругое взаимодействие электронов с молекулами, адсорбированными на неметаллических поверхностях; в частности, в работе Генриха и других исследуются спектры молекул, адсорбированных на окисленных поверхностях переходных металлов.

В гл. VI кратко рассмотрены приложения метода туннельной спектроскопии к исследованию процессов катализа, а также электронных возбуждений молекул и эмиссии света из туннельного контакта.

Гл. VII посвящена упругому туннелированию.

В целом рецензируемый сборник представляет значительный интерес, так как позволяет ознакомиться с последними теоретическими и экспериментальными достижениями в одной из новейших областей электронной спектроскопии. Огромная чувствительность, универсальность и относительная простота метода позволяют ожидать весьма быстрого и широкого расширения числа исследователей, которые будут использовать его для решения самых различных задач при изучении процессов, протекающих на поверхности твердых тел. Кроме того, метод неупругой туннельной спектроскопии позволяет изучить химические соединения, возникающие на поверхности твердых тел при адгезии, катализе, начальных стадиях роста некоторых типов эпитаксиальных структур и т. п.

По нашему мнению, ознакомление советских специалистов с этой книгой было бы весьма полезным.

Ю. А. Кухаренко, В. И. Раховский, К. Г. Самарин