

в области запрещенных зон полупроводников и появлению в этой области несобств. П. с.

П. с. обнаружены у мн. металлов, полупроводников и диэлектриков. П. с., находящиеся в запрещенных зонах полупроводников, влияют на их электрич. свойства: они определяют изгиб зон у поверхности, т. е. работу выхода полупроводника и приповерхностную концентрацию электронов; в тонких образцах изменяется и ср. концентрация электронов, П. с. ответственны за поверхностную рекомбинацию и рассеяние, приводящее к уменьшению подвижности электронов в приграничных слоях.

Методы исследования. Для определения периода поверхностной структуры используется метод дифракции медленных электронов. Положения атомов на перестроенной поверхности измеряются с помощью сканирующего туннельного микроскопа, а также по рассеянию ионов. Тип и концентрация адсорбиров. атомов определяются методами *же-спектроскопии*. Сочетание туннельной микроскопии с одновременно снятием вольт-амперных характеристик туннельного зонда дала возможность определить по отдельности распределение пространственной плотности электронов на П. с., соответствующих заполненным и пустым зонам.

Наиб. прямые методы определения спектра П. с., т. е. зависимости σ (k_{\parallel}), основаны на угловой зависимости *фотоэлектронной эмиссии* и т. н. инверсионной фотоэмиссии (излучения, возникающего при захвате электронов из электронного пучка, падающего на поверхность). Первым способом измеряется спектр заполненных П. с., вторым — пустых.

Распределение П. с. по энергии устанавливается по частотной зависимости коэф. отражения или поглощения света, а также по спектрам электронов, неупруго рассеянных поверхностью кристалла. Чтобы отделить вклад П. с. от объемных, изучается влияние окисления поверхности или адсорбции чужеродных атомов. При оптич. методах исследования вклад объемных и П. с. определяют по зависимости от поляризации света (угла между вектором поляризации и нормалью к поверхности).

Прямими методами измерения плотности и энергетич. спектра П. с., находящихся в запрещенной зоне полупроводника, являются *поля эффект* (изменение проводимости) и модуляция ёмкости *МДШ-структуры* при изменении напряжения, приложенного между полупроводником и металлом. Этот метод даёт возможность измерить долю заряда на П. с. и в приграничном слое полупроводника при известном изгибе зон у поверхности, определяющем положение П. с. относительно уровня Ферми. Аналогичные результаты дают и измерения изменения работы выхода полупроводника при освещении.

Наряду с электронными П. с. в полупроводниках имеются *поверхностные экситоны*, волновая ф-ция к-рых также локализована вблизи границы.

Лит.: Тамм И. Е., Über eine mögliche Art der Elektronenbildung an Kristalloberflächen, «Z. Phys.», 1932, Bd 76, S. 849; то же, «Phys. Z. Sowjet.», 1932, Bd 1, S. 733; Ржанов А. В., Электронные процессы на поверхности полупроводников, М., 1971; Дэвисон С., Левин Дж., Поверхностные (Тамбовские) состояния, пер. с англ., М., 1973; Нестеренко В. А., Снитко О. В., Физические свойства атомно-чистой поверхности полупроводников, К., 1983. Г. Е. Пижус.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ — явления, связанные с существованием межфазных границ. В области контакта двух фаз под влиянием разности их молекулярно-силовых полей происходит образование поверхностного слоя, сопровождающееся *адсорбцией*, возникновением поверхностной энергии, поверхностного натяжения, поверхностного электрич. потенциала и др. специфич. поверхностных свойств, любое проявление к-рых относится к П. я. Толщина поверхностного слоя определяется радиусом действия поверхностных сил и радиусом молекулярных корреляций в каждой из фаз; вдали от критич. точки она порядка неск. молекулярных радиусов и сильно возрастает (как и радиус корреляций) при приближении хотя бы одной из фаз к критич. состоянию.

Поверхностные слои неоднородны в масштабе молекулярных размеров и анизотропны независимо от агрегатного состояния фаз, отличаются от объемных фаз физ. свойствами (плотностью, вязкостью, поляризуемостью и т. п.), молекулярным строением и хим. составом (в многокомпонентных системах). В поверхностных слоях наблюдаются специфич. хим. эффекты (смещение хим. равновесий, изменение констант скоростей хим. реакций), вплоть до изменения валентности (напр., для Sm, Cr). Особыми свойствами обладают и родственные поверхностным слоям малые (хотя бы в одном измерении) объекты — тонкие плёнки и нити, узкие щели и поры, капли, кристаллы и полости микроскопич. размеров. Изучение тонких плёнок и мономолекулярных слоёв даёт сведения о природе межмолекулярного взаимодействия и строения молекул.

При наличии на поверхности двумерных фазовых переходов, а также при пересечении поверхностей образуются межфазные линии — одномерные аналоги межфазных поверхностей, с существованием к-рых связаны *линейные явления*. Неоднородная линейная область является одномерным аналогом поверхностного слоя и обладает линейным натяжением, линейной свободной энергией и т. д. Уд. линейные термодинамич. потенциалы отличаются от поверхностных лишь тем, что относятся к единице длины (измеряются в Дж/м). Линейные явления существенны лишь для очень малых объектов (зародышей двумерных фаз, смачивающих микрокапель и т. п.).

Закономерности П. я. описываются законом Лапласа и ур-нием Юнга (см. *Смачивание*), а также обобщённым ур-нием адсорбции Гиббса:

$$d\sigma = -\bar{s}dT + (\hat{\gamma} - \hat{\sigma}) : d\hat{\epsilon} - \sum_i \Gamma_i d\mu_i,$$

где σ — работа образования единицы поверхности путём разрезания (см. *Поверхностное натяжение*), \bar{s} — уд. поверхностная энтропия (см. *Поверхностная энергия*), $\hat{\gamma}$ — тензор поверхностных натяжений, $\hat{\epsilon}$ — единичный тензор, $\hat{\sigma}$ — тензор деформации (символ «:» означает скалярное произведение тензоров), μ_i — химические потенциалы молекул (или электрохим. потенциалы ионов), Γ_i — их адсорбции, суммирование производится по всем компонентам, для к-рых возможно равновесие между объёмной фазой и поверхностным слоем. Для жидких поверхностей σ — поверхностное натяжение, а деформач. член отсутствует. Ур-ние адсорбции Гиббса устанавливает связь между важнейшими П. я. — адсорбцией и поверхностной активностью (см. *Поверхностно-активные вещества*).

Существенное влияние оказывают П. я. на свойства макросистем. Это связано с увеличением поверхности в таких системах, её искривлением и взаимодействием разл. поверхностей друг с другом. Все три фактора характерны для ультрадисперсных (микрогетерогенных) систем. Искривление поверхности оказывает влияние на состояние объёмных фаз и порождает *капиллярные явления*. В гетерогенной системе только с искривлёнными поверхностями уже не действует *Гиббса правило фаз* в его классич. форме: в такой системе число степеней свободы на единицу меньше числа компонентов и не зависит от числа фаз (в реальных системах не существует ограничений на число дисперсных фаз). Эффект взаимодействия поверхностей выражается в перекрывании поверхностных слоёв и приводит к появлению *расклинивающего давления* тонких плёнок, к-рое (при положительн. его знаке) способствует устойчивости дисперсных систем (расклинивающее давление определяется как разность внеш. давления на плёнку и давления в объёмной фазе, составленной из компонентов плёнки при тех же, что и в плёнке, значениях темп-ры и хим. потенциалов).