

**АМОРФНОЕ СОСТОЯНИЕ** (от греч. *ámorphos* — бесформенный) — твёрдое некристаллич. состояние вещества, характеризующееся изотропией свойств и отсутствием точки плавления. При повышении темп-ры аморфное вещество размягчается и переходит в жидкое состояние постепенно. Эти особенности обусловлены отсутствием в А. с., в отличие от кристаллич. состояния, т. н. дальнего порядка — строгой периодич. повторяемости в пространстве одного и того же элемента структуры (атома, группы атомов, молекулы и т. п.). В то же время у вещества в А. с. существует согласованность в расположении соседних частиц — т. н. ближний порядок, наблюдаемый в пределах 1-й координац. сферы (см. Координационное число) и постепенно теряющийся при переходе ко 2-й и 3-й сферам, т. е. соблюдающийся на расстояниях, сравнимых с размерами частиц. Т. о., с расстоянием согласованность уменьшается и через 0,5—1 нм исчезает (см. Дальний и ближний порядок).

Ближний порядок характерен и для жидкостей, но в жидкости происходит интенсивный обмен местами между соседними частицами, затрудняющийся по мере возрастания вязкости. Поэтому твёрдое тело в аморфном состоянии принято рассматривать как переохлаждённую жидкость с очень высоким коэффициентом вязкости. Иногда в само понятие «А. с.» включают жидкость.

Термодинамически устойчивым твёрдым состоянием вещества при низких темп-рах является кристаллич. состояние. Однако в зависимости от свойств частиц кристаллизация может потребовать больше или меньше времени — молекулы должны успеть при охлаждении вещества «выстроиться». Иногда это время бывает столь большим, что кристаллич. состояние практически не реализуется. Обычно А. с. образуется при быстром охлаждении расплава. Напр., расплавляя кристаллич. кварц и затем быстро охлаждая расплав, получают аморфное кварцевое стекло (см. Стеклообразное состояние). Однако иногда даже самое быстрое охлаждение недостаточно быстро для того, чтобы помешать образованию кристаллов. В природе А. с. (опал, обсидиан, янтарь, смолы) менее распространено, чем кристаллическое. В А. с. могут находиться нек-рые металлы и сплавы, в т. ч. металлич. стёкла (см. Аморфные металлы), а также полупроводники (см. Аморфные и стеклообразные полупроводники) и полимеры. Структура аморфных полимеров характеризуется ближним порядком в расположении звеньев или сегментов макромолекул, быстро исчезающим по мере их удаления друг от друга. Молекулы полимеров как бы образуют «рои», время жизни которых очень велико из-за огромной вязкости полимеров и больших размеров молекул.

Лит.: Китайгородский А. И., Рентгеноструктурный анализ мелкокристаллических и аморфных тел, М., 1952; его же, Порядок и беспорядок в мире атомов, 5 изд., М., 1977; Мотт Н., Дэвис Э., Электронные процессы в некристаллических веществах, пер. с англ., т. 1—2, 2 изд., М., 1982.

**АМОРФНЫЕ И СТЕКЛОБРАЗНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ** — аморфные и стеклообразные вещества, обладающие свойствами полупроводников. А. и с. п. характеризуются наличием ближнего и отсутствием дальнего порядка (см. Дальний и ближний порядок).

А. и с. п. по составу и структуре подразделяются на халькогенидные, оксидные, органические, тетраэдрические. Наиб. подробно изучены халькогенидные стеклообразные (ХСП) и элементарные тетраэдрические (ЭТАП). ХСП получают в осн. либо охлаждением расплава, либо испарением в вакууме. К ним относятся Se и Te, а также двух- и многокомпонентные стеклообразные сплавы халькогенидов (сульфидов, селенидов и теллуридов) разл. металлов (напр., As—S—Se, As—Ge—Se—Te, As—Sb—S—Se, Ge—S—Se, Ge—Pb—S). ЭТАП (аморфные Ge и Si) получают чаще всего ионным распылением в разл. водородсодержащих атмосферах

или диссоциацией содержащих их газов (в частности, SiH<sub>4</sub> или GeH<sub>4</sub>) в высококачественном разряде.

Особенности А. и с. п. связаны с особенностями энергетич. спектра электронов. Наличие энергетич. областей с высокой и низкой плотностями электронных состояний — следствие ближнего порядка. Поэтому можно условно говорить о зонной структуре некристаллич. веществ (см. Зонная теория). Однако разупорядоченность структуры приводит к появлению дополнит. разреженных электронных состояний, плотность к-рых  $g(\mathcal{E})$  спадает в глубь запрещённой зоны, образуя «хвосты» плотности состояний (рис. 1, а). Электронные

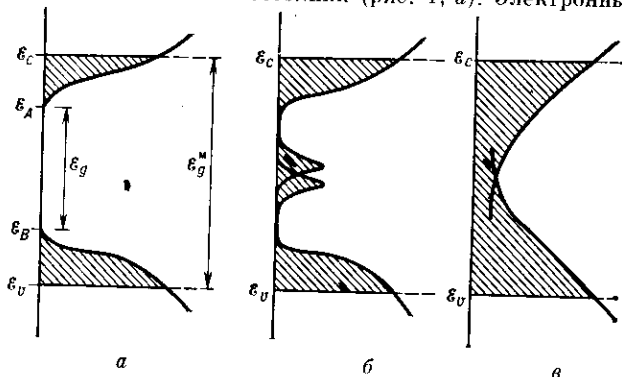


Рис. 1. Схемы энергетического спектра ХСП As<sub>2</sub>Se<sub>2</sub>. Области локализованных состояний заштрихованы.  $\mathcal{E}_A$ ,  $\mathcal{E}_B$  — границы областей с высокими плотностями состояний;  $\mathcal{E}_g^M$  — запрещённая зона по подвижности.

состояния в «хвостах» делятся на локализованные и делокализованные (токопроводящие). Резкие границы между этими состояниями наз. краями подвижности ( $\mathcal{E}_c$  и  $\mathcal{E}_v$ , рис. 1), расстояние между ними наз. запрещённой зоной (или щелью) по подвижности  $\mathcal{E}_g^M$  (см. Неупорядоченные системы).

**Электропроводность.** Максимумы  $g(\mathcal{E})$ , обусловленные дефектами структуры, могут возникать внутри щели и перекрываться друг с другом, как и сами «хвосты» (рис. 1, б, в). В соответствии с этим выделяют три механизма проводимости, к-рые преобладают в разл. температурных интервалах: а) перенос носителей заряда, возбуждённых за край подвижности, по делокализов. состояниям. При этом статич. проводимость  $\sigma$  в широком температурном интервале определяется выражением  $\sigma = \sigma_0 \exp[-(\mathcal{E}_c - \mathcal{E}_F)/kT]$ , где  $\mathcal{E}_F$  — ферми-энергия,  $\sigma_0 = 10^3 - 10^4 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ . б) Прыжковый перенос носителей заряда, возбуждённых в локализов. состояниях вблизи краёв подвижности (напр., в состоянии между  $\mathcal{E}_A$  и  $\mathcal{E}_c$ ). В этом случае

$$\sigma = \sigma_0 \exp \left[ \frac{-(\mathcal{E}_A - \mathcal{E}_F + W)}{kT} \right],$$

где  $W$  — энергия активации прыжка,  $\sigma_0 \leq 10 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ . в) Прыжковый перенос носителей по локализов. состояниям вблизи  $\mathcal{E}_F$  на расстояниях, увеличивающихся при уменьшении  $T$ :

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-kT^{-1/4}).$$

Механизмы «а» и «б» более характерны для ХСП, случай «в» — для ЭТАП. Прыжковый перенос носителей проявляется в слабой зависимости проводимости на переменном токе от темп-ры: зависимости от частоты ( $\sigma_{ac} \approx k\omega^0$ ); в противоположных знаках термоэдс и Холла эффекта.

Подвижность носителей заряда мала ( $10^{-5} - 10^{-8} \text{ см}^2 \text{ В}^{-1}\text{с}^{-1}$ ) и зависит от напряжённости электрич. поля и толщины образца, что связывают либо с многократным захватом носителей на локализов. состояниях, распределённых по определ. закону, либо с прыжковым переносом.