

ФИЗИЧЕСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

4

ПОИНТИНГА — РОБЕРТСОНА
СТРИМЕРЫ

Главный редактор
А. М. ПРОХОРОВ

Редакционная коллегия
Д. М. АЛЕКСЕЕВ,
А. М. БАЛДИН,
А. М. БОНЧ-БРУЕВИЧ,
А. С. БОРОВИК-РОМАНОВ,
Б. К. ВАЙНШТЕЙН,
С. В. ВОНСОВСКИЙ,
А. В. ГАПОНОВ-ГРЕХОВ,
С. С. ГЕРШТЕЙН,
И. И. ГУРЕВИЧ,
А. А. ГУСЕВ
(зам. гл. редактора),
М. А. ЕЛЪЯШЕВИЧ,
М. Е. ЖАБОТИНСКИЙ,
Д. Н. ЗУБАРЕВ,
Б. Б. КАДОМЦЕВ,
Л. П. ПИТАЕВСКИЙ,
Ю. Г. РУДОЙ
(зам. гл. редактора),
И. С. ШАПИРО,
Д. В. ШИРКОВ

Москва
Научное издательство
«Большая Российская энциклопедия»
1994

нем приложенных напряжений, недостаточных для прохождения дислокаций над (или под) застрявшими дислокациями, лежащими в близких и параллельных плоскостях скольжения. В отличие от П. при отжиге, такая П. наз. механической.

Лит.: Новиков И. И., Дефекты кристаллического строения металлов, 3 изд., М., 1983. В. М. Розенберг.

ПОЛИКРИСТАЛЛ — агрегат мелких монокристаллов разл. ориентации, наз. кристаллитами, блоками или кристаллич. зёрнами. Свойства П. обусловлены как самими монокристаллич. зёрнами, их ср. размером (от $1-2 \cdot 10^{-4}$ м до неск. мм), ориентацией, так и межзёрнными границами. Если зёрна малы и ориентированы хаотически, то в П. не проявляется анизотропия свойств, характерная для монокристаллов. Если есть преимуществ. ориентация зёрен, то П. является текстурированным и обладает анизотропией (см. *Текстура*).

Обычно в П. имеется большое кол-во дислокаций и точечных дефектов (вакансий, примесных и межзёрных атомов). Диффузия дефектов вдоль межзёрнных границ отличается от диффузии через кристаллич. зёрна. Межзёрные границы могут служить «источниками» и «стоками» вакансий, «ловушками» для примесей, местами закрепления дислокаций. Граница раздела 2 зёрен, разориентированных на малый угол, представляет собой «стенку» из параллельных дислокаций.

Межзёрные границы влияют на механич. свойства П. (см., напр., *Пластичность кристаллов*), а также на процессы переноса, т. к. на этих границах происходит рассеяние электронов проводимости, фононов. Это особенно существенно при низких темп-рах, когда длины свободного пробега квазичастиц велики.

Наличие межзёрных границ приводит к тому, что энергия П. выше, чем в монокристалле из тех же частиц, т. е. П. представляет собой метастабильное состояние твёрдого тела. Однако при затвердевании вещества, если не принимать спец. мер по соблюдению однородности, то, как правило, образуется именно П., а не монокристалл (см. *Кристаллизация*). Поэтому большинство твёрдых тел (минералы, металлы, сплавы, керамики и др.) находятся в поликристаллич. состоянии. П. образуются также при спекании кристаллич. порошков. При длит. обжиге металлич. П. происходит преимущ. рост отд. зёрен за счёт других (рекристаллизация), приводящий к образованию крупнозёрнистых П. или монокристаллов.

П. можно использовать для определения кристаллич. структуры соответствующих монокристаллов: при облучении П. монохроматич. пучком проникающих частиц (рентгеновских квантов, нейтронов) наличие разориентированных монокристаллич. блоков фактически эквивалентно сканированию по углу и позволяет восстановить обратную решётку монокристалла (см. *Дебая—Шеррера метод*, *Рентгенография материалов*, *Нейтроннография структурная*).

Лит. см. при ст. *Кристаллы*.

А. Э. Мейерович.

ПОЛИКРИТИЧЕСКАЯ ТОЧКА (мультикритическая точка) — особая точка на диаграмме состояния физ. системы, допускающей существование нескольких упорядоченных фаз. Разл. виды упорядочения в этих фазах (конфигурационное, ориентационное, магнитное, сверхпроводящее и др.; см. *Дальний и ближний порядок*) характеризуются многокомпонентным параметром порядка (φ_i) ($i = 1, \dots, n$). Классификация П. т. зависит от числа термодинамич. параметров состояния, необходимых для описания системы на макроскопич. уровне (см. *Равновесие термодинамическое*). П. т. возникают и на диаграмме состояния в пространстве параметров гамильтониана, характеризующих систему на микроскопич. уровне (см., напр., *Ренормализационная группа*).

Термодинамич. параметры состояния можно разделить на внутренние $T, \{x_i\}$ (T — темп-ра, x_i — давление P , поляризация \mathcal{P} намагничённость M , хим.

потенциал μ и т. п.) и сопряжённые им внешние $\{X_i\}$ (X_i — объём V , электрич. поле E , магн. поле H , концентрация c). Условия термодинамич. устойчивости $dF = 0$, $d^2F > 0$ (минимум термодинамич. потенциала F) выделяют на диаграмме состояния области существования тех или иных упорядоченных фаз. Физ. системы условно могут быть разделены на два типа: если в системах 1-го типа отлчны от 0 равновесные значения компонент параметра порядка φ_i зависят непосредственно от величин $T, \{X_i\}$, то в системах 2-го типа — ещё и косвенно благодаря взаимодействию (связи) φ_i с другими («скрытыми») неупорядоченными степенями свободы той же системы. К системам 1-го типа относятся, напр., магнетики, в к-рых магн. упорядочение определяется взаимодействием только в спиновой подсистеме. Для систем 2-го типа существен учёт взаимодействия с решёточной подсистемой (*магнотриксия*), подсистемой электронов проводимости или примесей (см. *Косвенное обменное взаимодействие*). Системы 2-го типа характеризуются, как правило, конкурирующими взаимодействиями и допускают неск. видов упорядочения (см., напр., *Магнитный фазовый переход*, *Магнитные сверхпроводники*, *Ориентационные фазовые переходы*, *Сегнетоэлектрики*, *Жидкие кристаллы*, *Спиновые плотности волны*, *Спиновое стекло*, *Магнитные полупроводники*).

При изменении величин $T, \{X_i\}$ (или $\{x_i\}$) между упорядоченными фазами могут происходить фазовые переходы (ФП) — спонтанные (по T), индуцированные (по P, E или H) или концентрационные (по c). Равновесие фаз при ФП характеризуется равенством термодинамич. потенциалов; при этом их первые (для ФП 1-го рода) и вторые (для ФП 2-го рода) производные могут иметь разрывы или др. особенности. В простейшем случае спонтанный ФП 2-го рода происходит в изолиров. точке T_c (см. *Кюри точка*, *Нееля точка*, *Сверхтекучесть*, *Сверхпроводимость*). Если действие обобщённых полей $\{X_i\}$ не устраняет особенности термодинамич. потенциала и его производных, то на диаграмме состояний возникает линия (поверхность) ФП — фазовая граница $T_c(\{X_i\})$.

Классификация. Возможны два вида П. т.: 1) ФП вдоль фазовой границы сохраняет изоморфность (род ФП не меняется), что обычно характерно для систем 1-го типа. П. т. определяется пересечением двух или более фазовых границ; 2) изоморфность ФП вдоль фазовой границы нарушается. П. т. представляет собой особую точку на линии ФП, в к-рой это происходит. Такая ситуация реализуется в осн. в системах 2-го типа. Примером изоморфных линий ФП в случае равновесия двух фаз — упорядоченной (дальний порядок) и неупорядоченной (ближний порядок) — является линия ФП 2-го рода в одноосном ферромагнетике (рис. 1), а для ФП 1-го рода фазовая граница жид-

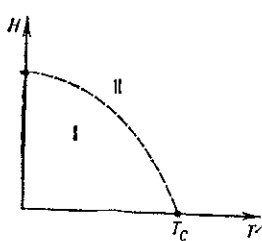


Рис. 1. Фазовая диаграмма одноосного ферромагнетика в магнитном поле H , перпендикулярном оси анизотропии, T_c — точка Кюри.

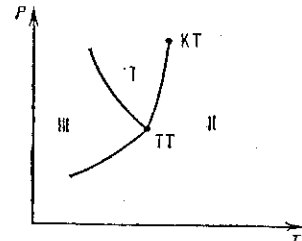


Рис. 2. Фазовая диаграмма системы газ (II) — жидкость (I) — твёрдое тело (III).

кость — тв. тело (рис. 2). Фазовая граница жидкость — газ обладает особенностью: она заканчивается критической точкой, аналогичной точке ФП 2-го рода. В критической точке нарушается изоморфность ФП, поэтому

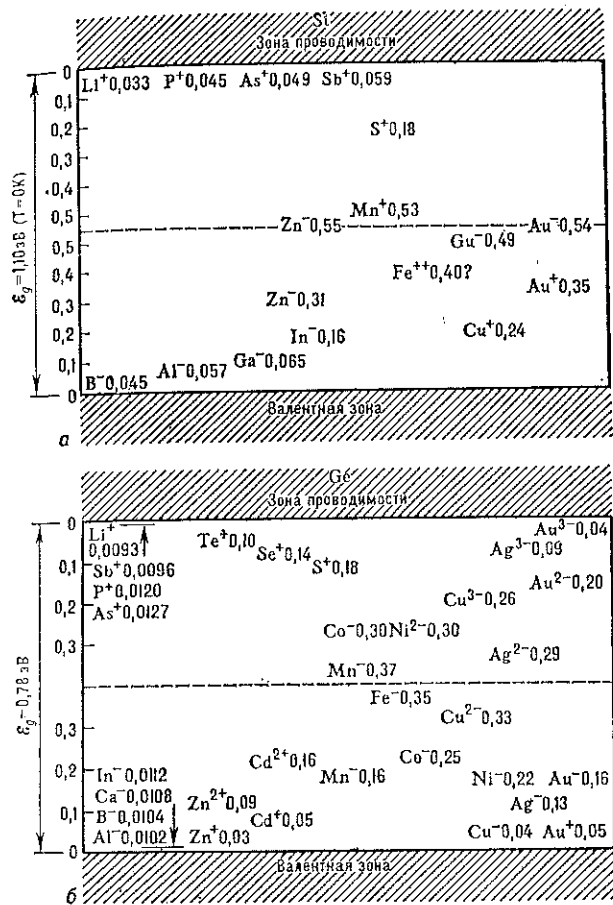


Схема уровней энергии различных примесей в Si (а) и Ge (б).

В случае примесей внедрения донорный или акцепторный характер П. у. не зависит от их валентности, а определяется величиной электроотрицательности. Если электроотрицательность у примесных атомов больше, чем у атомов матрицы, то П. у. наз. акцепторными, в обратном случае — донорными. Одна и та же примесь может быть донором при замещении и акцептором при внедрении (напр., O в Si) либо наоборот.

П. у. локализованы вблизи дефектов. При очень высоких концентрациях примесей волновые ф-ции, соответствующие П. у., перекрываются, что приводит к «размыванию» П. у. в примесные зоны.

Лит. см. при ст. Полупроводники. Э. М. Эпштейн.
ПРИМЕСНЫЙ АТОМ — атом кристалла, хим. природа к-рого отлична от хим. природы осн. атомов, образующих кристалл. П. а. относятся к точечным дефектам и приводят к нарушению строгой периодичности идеального кристалла. П. а. располагаются либо в узлах кристаллич. решётки, замещая осн. атомы (примесь замещения), либо в междоузлиях (примесь внедрения). **ПРИМЕСОН** — квазичастица, характеризующая поведение примесного атома в квантовых кристаллах. Вследствие большой величины амплитуды нулевых колебаний атомов в квантовых кристаллах любые точечные дефекты решётки, в т. ч. примесные атомы, при низких темп-рах делокализуются и превращаются в квазичастицы, практически свободно движущиеся через кристалл. Состояние П. характеризуется квазимпульсом p и энергетич. спектром $\mathcal{E}(p)$, имеющим зонную структуру (см. Дефектон).

Движение П. определяет процессы диффузии. Схематично вид температурной зависимости коэф. диффузии D для П. приведён на рис. В области I (высокие

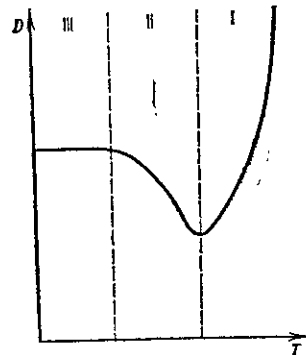
темп-ры) движение П. осуществляется в осн. с помощью термоактивац. механизма и коэф. диффузии экспоненциально падает с понижением темп-ры. Это либо классич. диффузия, при к-рой примесный атом переходит в соседний узел кристаллич. решётки, преодолевая нек-рый энергетич. барьер, либо диффузия, обусловленная наличием в кристалле термоактивиров. подвижных вакансий (вакансионов). В первом случае показатель экспоненты в выражении для коэф. диффузии задаётся высотой барьера, а во втором — энергией активации вакансионов и, в отличие от обычных кристаллов, вообще не зависит от типа примеси. В области II движение П. является зонным, а длина свободного пробега П. в кристалле ограничена их столкновениями с тепловыми возбуждениями (напр., с фононами), число к-рых убывает при понижении T . Это приводит к росту коэф. диффузии при охлаждении кристалла, что совершенно не свойственно для диффузии дефектов в обычных твёрдых телах. При низких темп-рах (область III) число фононов в кристалле мало и пробег П. определяется столкновениями П. между собой или с др. дефектами кристалла. В этой области коэф. диффузии П. не зависит от темп-ры и задаётся концентрацией П.

Все три области наблюдались экспериментально при изучении методом ядерного магнитного резонанса диффузии примесных атомов ^3He в кристалле ^4He . Ширина энергетич. зоны П. оказалась крайне мала: в системе единиц, где $k = 1$, — порядка $10^{-3} - 10^{-4}$ К (для вакансионов в ^4He порядка 1 К). В результате энергия упругого взаимодействия П. между собой (каждый П. создаёт вокруг себя поле упругой деформации решётки, с к-рым взаимодействуют др. П.) по величине становится меньше ширины зоны только при очень больших расстояниях между П. При этом сечение σ рассеяния П. друг на друге оказывается anomalously большим ($\sigma \sim 100 \text{ \AA}^2$; a — атомный размер), а коэф. диффузии в области III сложным образом зависит от концентрации ^3He .

Лит.: Андреев А. Ф., Диффузия в квантовых кристаллах, «УФН», 1976, т. 118, с. 251. А. Э. Мейерович.

ПРИМИТИВНАЯ РЕШЁТКА — см. в ст. Браге решётки.
ПРИСОЕДИНЕННАЯ МАССА — фиктивная масса (или момент инерции), к-рая присоединяется к массе (или моменту инерции) движущегося в жидкости тела для количеств. характеристики инерции окружающей его жидкой среды. При неустановившемся поступат. движении тела (см. Нестационарное движение) в идеальной жидкости (в отличие от установившегося движения) возникает сопротивление жидкости, пропорциональное ускорению движения тела и обусловленное увеличением среды, окружающей тело; коэф. пропорциональности и представляет собой П. м. Физ. смысл П. м. заключается в том, что если присоединить к телу, движущемуся в жидкости, дополнит. массу, равную массе жидкости, увлекаемой телом, то закон его движения в жидкости будет таким же, как в пустоте.

Значение П. м. для тел разной формы различно и зависит от ориентации тела относительно направления его движения. Для кругового цилиндра П. м. равна массе жидкости в объёме цилиндра. Для цилиндра с основанием, имеющим форму эллипса, движущегося в жидкости в направлении, перпендикулярном направ-



Зависимость коэффициента диффузии D примесного от температур T .