

ЭЛЕКТРОМАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ



Под электрорадиоматериалами понимают применяемые в радиоэлектронике материалы, у которых первостепенное значение имеют их свойства и характеристики в электрических и магнитных полях.



По поведению в электрическом поле
эти материалы
подразделяют на

- проводниковые,
- полупроводниковые
и диэлектрические,

по поведению в магнитном поле - на
магнитные и немагнитные.



ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СТРОЕНИИ ВЕЩЕСТВА

1.1. ВИДЫ СВЯЗИ



Атом представляет собой систему, состоящую из положительно заряженного ядра, вокруг которого вращаются отрицательно заряженные электроны.



Электроны
притягиваются к ядру и
отталкиваются друг от друга.
Расположенные ближе к ядру
электроны подвержены большему
притяжению,
они ослабляют притяжение внешних
электронов, которые
находятся на большем расстоянии от
ядра.



Внешние электроны могут отрываться от одного атома и присоединяться к другому атому, изменяя число его внешних электронов. Такие электроны называются валентными.



У разных веществ атомы содержат
разное число
валентных электронов. Атом,
потерявший один или несколько
электронов, становится
положительно заряженным. Атом,
который
присоединил к себе свободные
электроны, становится отрицательно
заряженным.



Образовавшиеся таким образом
положительные и
отрицательные частицы называются
ионами.

Из атомов строятся молекулы.

Связи, благодаря которым
происходит объединение атомов в
молекулы, называются химическими.



Способность атомов вступать в соединения с атомами других веществ и образовывать молекулы определяет химические свойства вещества. Молекула является наименьшей частицей вещества, которая сохраняет его химические свойства. Химические связи между атомами вещества делят на ковалентные (атомные), ионные, металлические и молекулярные.

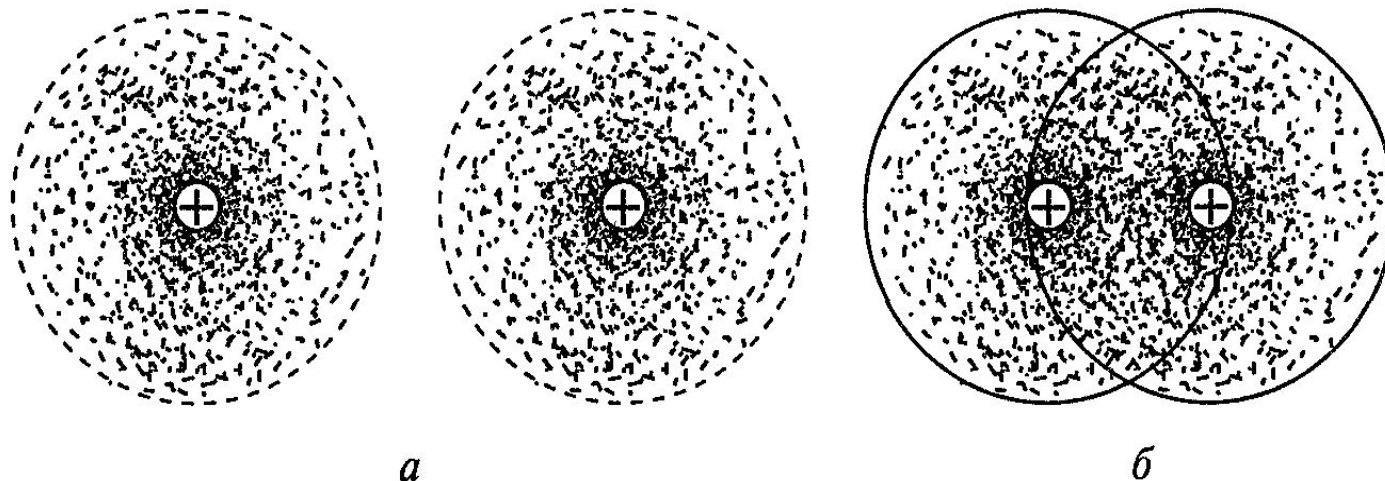


Рис. 1.1. Ковалентная (атомная) связь в молекуле водорода:
a – изолированные атомы; *б* – молекула с ковалентной связью

Ковалентные связи возникают между атомами за счет образования устойчивых пар валентных электронов разных атомов (рис. 1.1).

Эти пары являются общими для атомов,
которые входят в
молекулу. Если двухатомная молекула
состоит из атомов одного
элемента (H_2 , C_{12} , N), то электронная
пара в одинаковой степени
принадлежит обоим атомам. В таком
случае молекулу и ковалентную связь
называют неполярными и (или)
нейтральными.



В неполярных молекулах центры положительных и отрицательных зарядов совпадают. Если двухатомная молекула состоит из атомов различных элементов, то электронная пара может быть смещена к одному из атомов.



В этом случае ковалентную связь называют полярной, а молекулы с полярной связью, у которых центры положительных зарядов не совпадают, - полярными или дипольными.

Дипольная молекула характеризуется электрическим дипольным моментом

$$\mu = gl, \quad (1)$$

где g – абсолютное значение заряда, Кл; l – расстояние между центрами положительного и отрицательного зарядов, м.

Если у многоатомных молекул заряды расположены симметрично, то они неполярны, при несимметричном расположении атомов молекулы полярны (рис. 1.2).

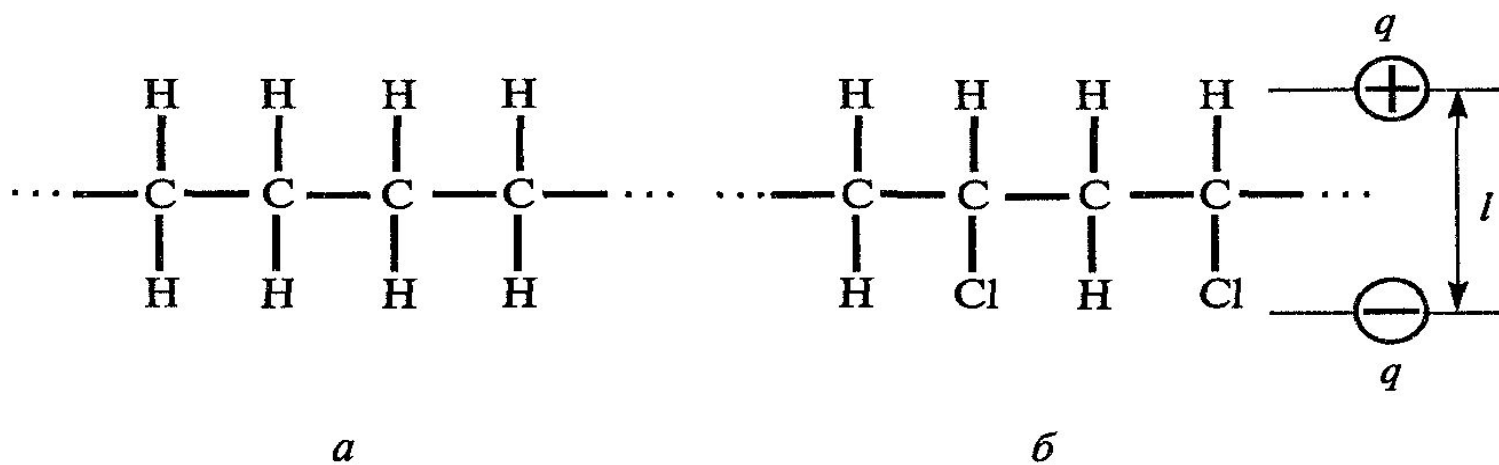


Рис. 1.2. Схемы неполярной молекулы полиэтилена ($\mu = 0$) (а) и полярной молекулы поливинилхлорида (б):

q – абсолютное значение заряда; l – расстояние между центрами положительного и отрицательного зарядов

Разновидностью ковалентной связи является донорно-акцепторная связь, которая возникает между атомом, способным отдать электрон (донор), и атомом, способным принять этот электрон (акцептор). Примером таких материалов являются соединения мышьяка - арсениды галлия GaAs и индия InAs.



Ионные связи обусловлены силами электростатического притяжения между положительными и отрицательными ионами.
Молекулы вещества с полярной связью полярны.



Соединения с ионной связью обладают различными свойствами, которые характерны для типичных металлов и неметаллов. Такие связи наиболее характерны для неорганических диэлектриков, которые имеют в своем составе ионы противоположных знаков (большинство солей и некоторые оксиды, например, ZnO , CdO , NiO , CuO_2).



Ионные связи менее прочны, чем ковалентные, поэтому соединения, образованные ионной связью, уступают веществам с ковалентной связью по механической прочности и химической стойкости.



Металлические связи образуются в металлах и обусловлены особенностями поведения внешних (валентных) электронов. Атомы металлов обладают способностью отдавать внешние (валентные) электроны, превращаясь в положительный ион, или присоединять их вновь, превращаясь снова в нейтральный атом.

Внешние
электроны, которые покидают атомы,
становясь свободными,
называются
коллективизированными. В
результате металл представляет
собой систему, состоящую из
положительных ионов, которые
находятся в среде
коллективизированных электронов.



В этой системе одновременно имеют место притяжение между ионами и свободными электронами и ковалентная связь между нейтральными молекулами. Наличие этих связей определяет монолитность и прочность металлов.



Благодаря наличию свободных
электронов
металлы обладают высокой электро-
и теплопроводностью.
Металлическая связь в отличие от
ковалентной не имеет
направленного
характера, что придает металлам
высокую пластичность. Большинство
металлов имеют высокие
температуры плавления и кипения.



Молекулярные связи образуются между отдельными молекулами в результате электростатического притяжения между зарядами противоположных знаков, которые имеются в молекулах. Такое электростатическое притяжение называют силами Ван-дер-Ваальса.



Особым видом молекулярной связи является водородная связь, которая образуется через ион водорода (протон), расположенный между двумя ионами соседних молекул. Водородной связью соединяются молекулы воды и некоторых органических соединений.



В твердых веществах атомы и молекулы располагаются в строгом порядке и хаотично. Вещества с закономерным упорядоченным расположением атомов или молекул в пространстве называют **кристаллическими**, а вещества с беспорядочным расположением атомов или молекул - **аморфными**.



1.2. КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА

К кристаллическим веществам относятся все металлы и металлические сплавы.

Кристалл состоит из множества сопряженных друг с другом элементарных кристаллических ячеек.

В элементарной кристаллической ячейке содержится наименьшее число атомов.



Для описания структуры кристаллических тел пользуются понятием пространственной кристаллической решетки, которая представляет собой пространственную сетку, в узлах которой располагаются частицы, образующие твердое тело (рис. 1.3).

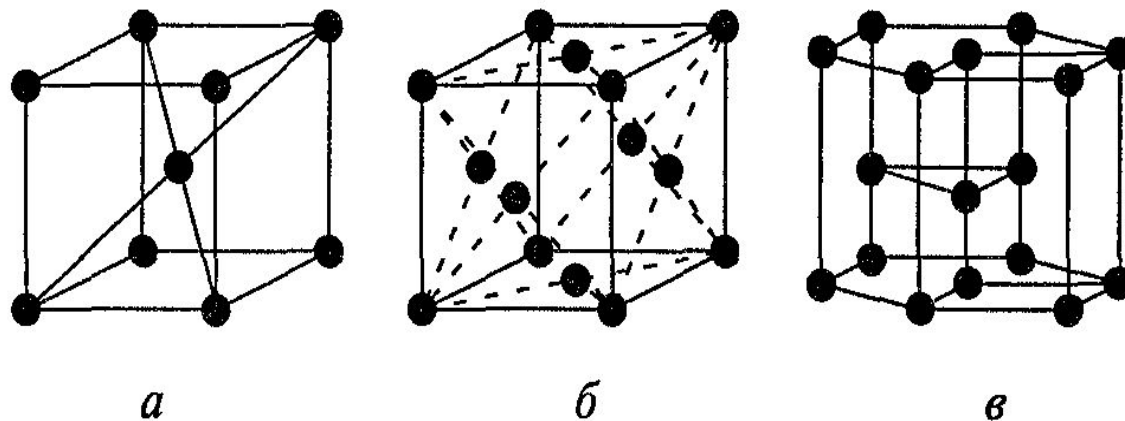


Рис. 1.3. Основные типы кристаллических решеток металлов:

a – кубическая объемно центрированная; *b* – кубическая гранецентрированная; *v* – гексагональная

В узлах ковалентных (атомных) решеток находятся нейтральные атомы, которые связаны друг с другом ковалентной связью.

В узлах ионных решеток располагаются чередуясь положительные и отрицательные ионы, которые связаны друг с другом ионной связью.



В узлах металлических решеток расположены положительные ионы, в промежутках между которыми находятся свободные электроны. Они образуют решетку с помощью металлических связей.

В узлах молекулярных решеток находятся молекулы. Такие решетки образуются за счет ковалентной и ионной связей.



Простейшим типом элементарной кристаллической ячейки является простая кубическая решетка. Размеры кристаллической решетки характеризуются ее параметрами. Под параметром решетки понимают расстояние между ближайшими параллельными атомными плоскостями, образующими элементарную ячейку.



Эти расстояния очень малы и их измеряют в нанометрах или ангстремах ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$).

Параметр кубической решетки обозначается буквой a и

находится в пределах $0,28 \dots 0,6 \text{ нм}$. Параметр решетки хрома равен $2,9 \text{ \AA}$, алюминия - $4,04 \text{ \AA}$. Следовательно, в кристаллическом веществе на 1 мм размещаются десятки миллионов атомов.

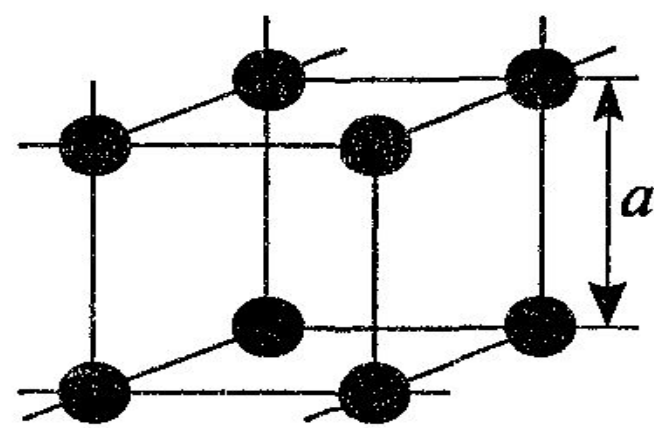
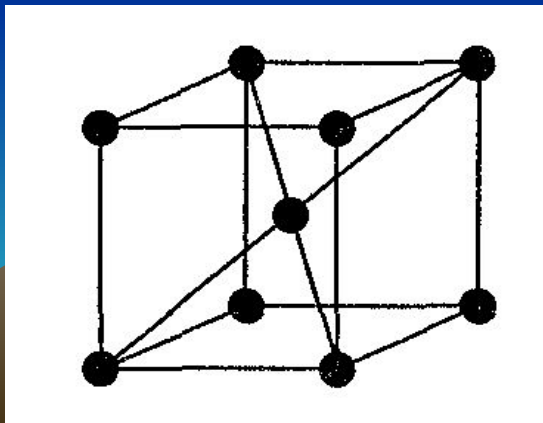


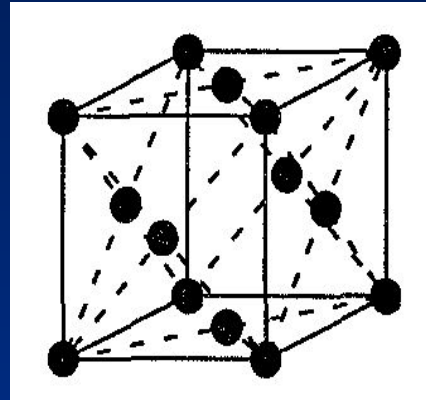
Рис. 1.4. Элементарная ячейка кубической решетки

Стремление атомов металлов к сближению и уплотнению приводит к образованию более сложных типов решеток. Наиболее распространенными типами кристаллических решеток являются:

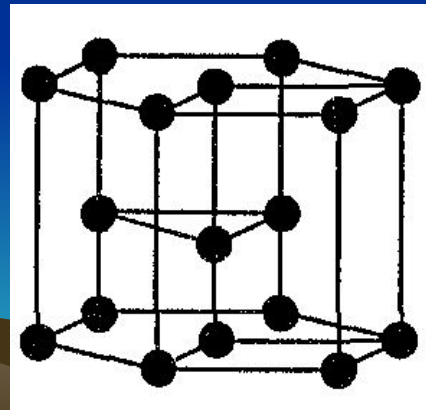
кубическая объемно центрированная (см. рис. 1.3, а), ее имеют ос-железо, хром, вольфрам, ванадий;



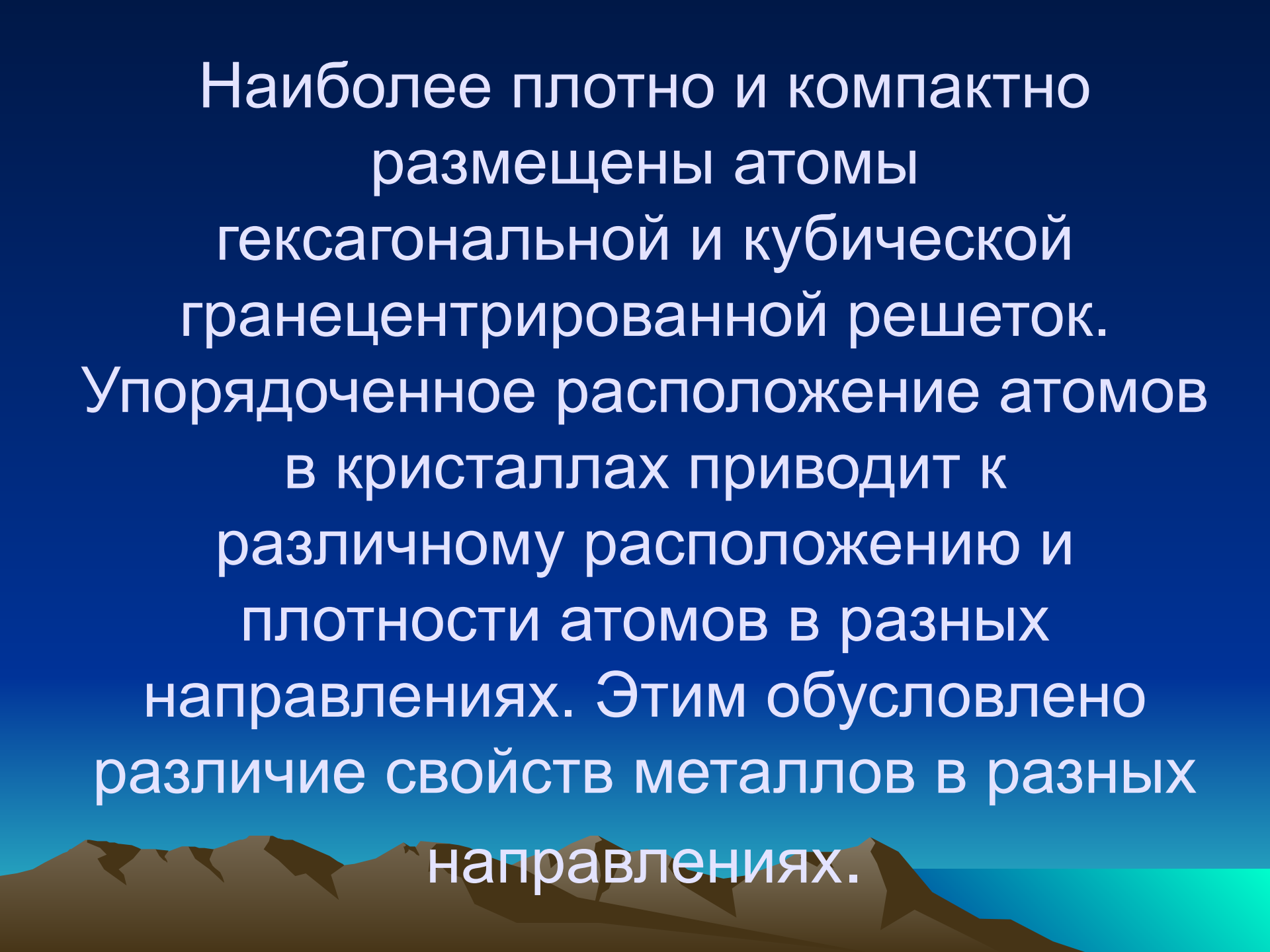
кубическая гранецентрированная (см. рис.1.3, б), ее имеют γ -железо, медь, алюминий;



гексагональная (см. рис. 1.3, в), ее имеют бериллий, кадмий, магний и другие металлы.



Наиболее плотно и компактно
размещены атомы
гексагональной и кубической
гранецентрированной решеток.
Упорядоченное расположение атомов
в кристаллах приводит к
различному расположению и
плотности атомов в разных
направлениях. Этим обусловлено
различие свойств металлов в разных
направлениях.



Изменение свойств кристаллов (металлов) в зависимости от направления называют анизотропией. Степень анизотропности свойств металлов может быть значительной.



Учитывая анизотропию свойств кристаллов
в разных
направлениях, применяют количественную
индексацию плоскостей и
направлений в кристаллических решетках
(индексы Миллера).

Кристаллографические плоскости и их
индексация представлены на рис. 1.5.

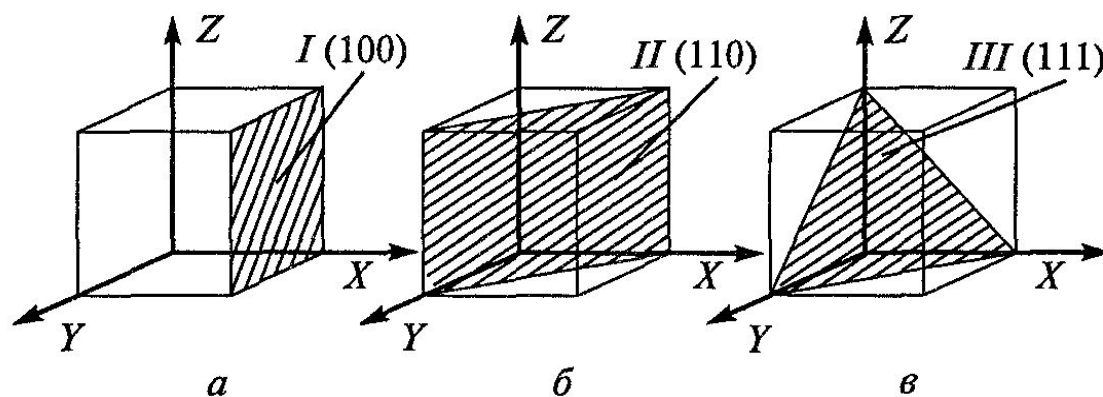
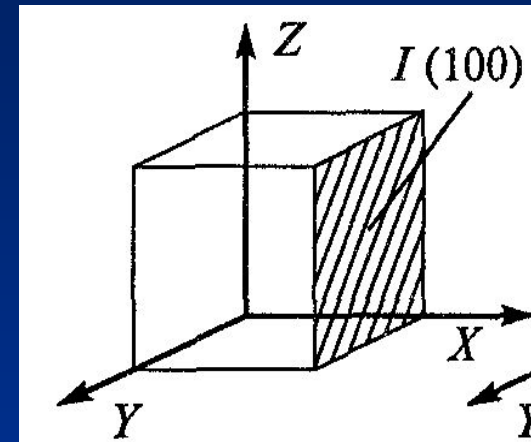


Рис. 1.5. Кристаллографические плоскости в кубических кристаллах

Плоскость I (рис. 1.5, а) отсекает от оси X отрезок, равный длине n ребра куба, и проходит параллельно осям Y и Z, т.е. пересекается с ними в бесконечности. Индексами выбирают отношения длины этого отрезка к длине ребра куба. Индексы записывают в круглых скобках.



Индексы плоскости I определяются следующим образом: по оси X $n/n = 1$, по оси Y $n/\infty = 0$, по оси Z $n/\infty = 0$. Следовательно, плоскость I имеет индексы (100) .

Плоскость II отсекает по осям X и Y отрезки, равные n , и пересекается в бесконечности с осью Z (рис. 1.5, б). Индексы этой плоскости следующие: по оси X $n/n = 1$, по оси Y $n/n = 1$, по оси Z $n/\infty = 0$. Следовательно, плоскость II имеет индексы (110) .

Плоскость III (рис. 1.5, в) имеет индексы (111) .

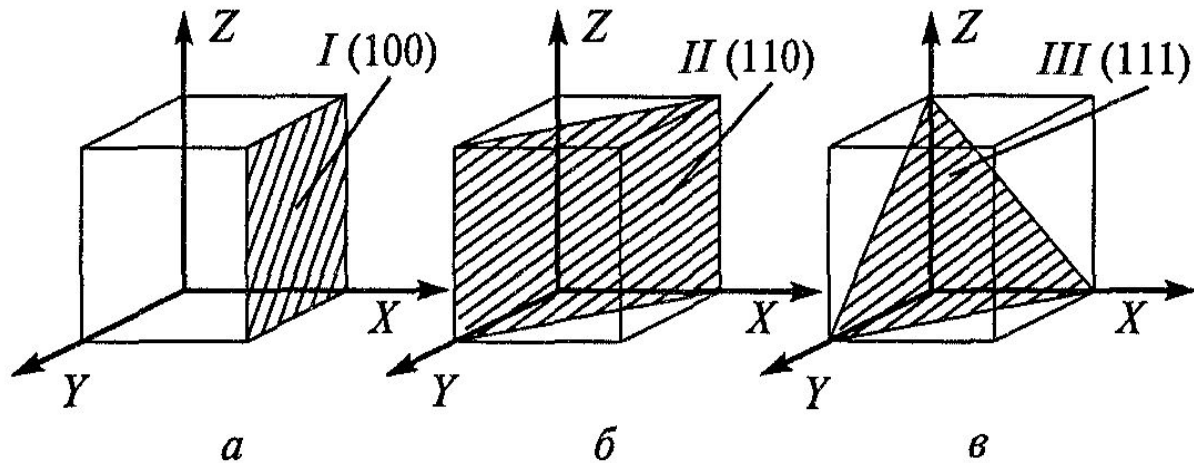


Рис. 1.5. Кристаллографические плоскости в кубических кристаллах

Все кристаллические вещества при нагревании сохраняют твердое состояние до определенной температуры. Атомы, находящиеся в узлах кристаллической решетки, совершают непрерывные колебательные движения. Чем выше температура вещества, тем больше амплитуда этих колебаний.



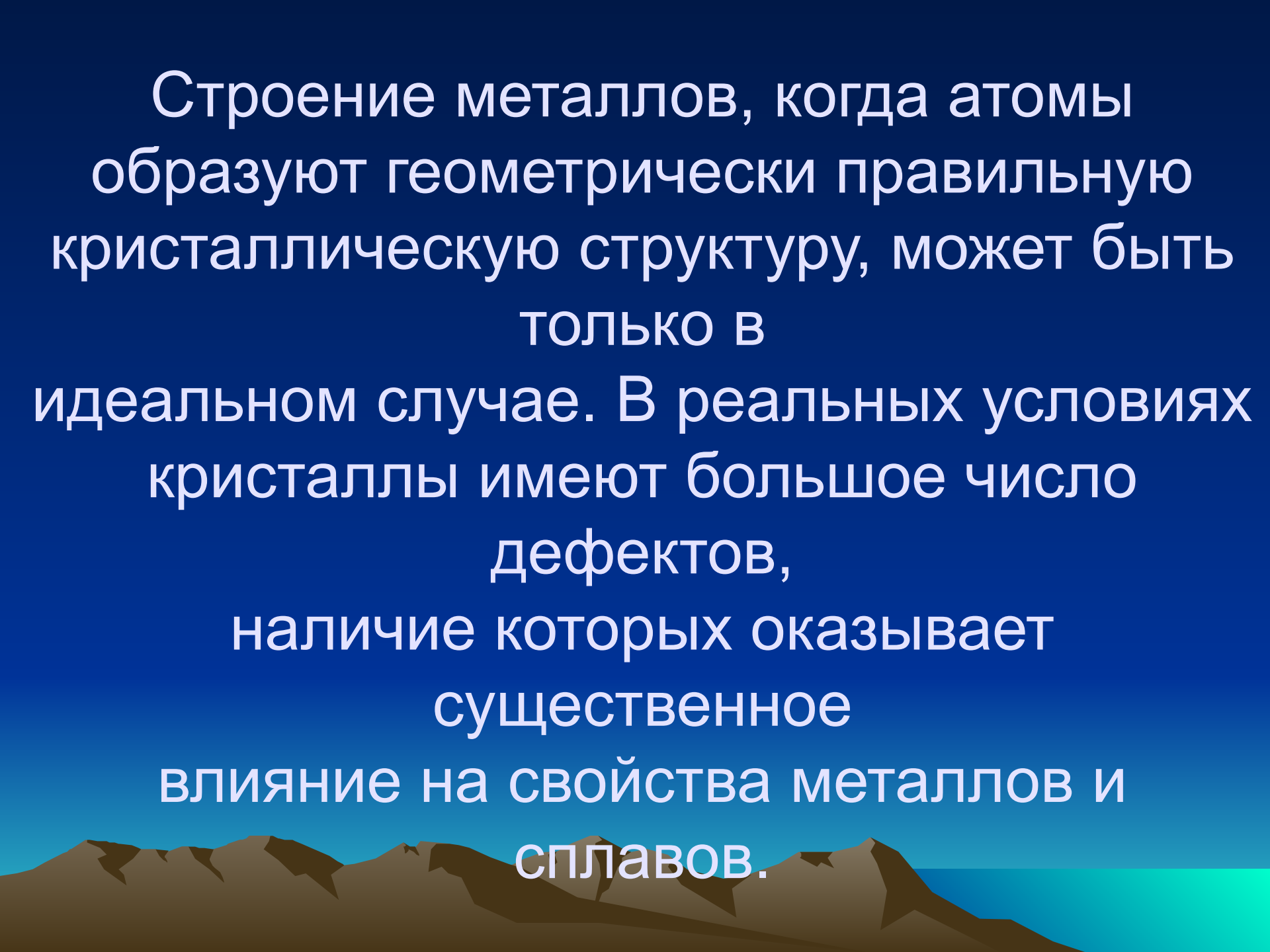
При достижении определенной температуры амплитуда колебаний атомов настолько увеличивается, что происходит разрушение кристаллической решетки. Атомы переходят в хаотическое состояние, а вещество превращается из твердого в жидкое. Температура, при которой происходит фазовое превращение твердого вещества в жидкое, называется температурой плавления $T_{пл}$.

Обратный переход кристаллических
веществ из жидкого состояния в
твердое
называется кристаллизацией.

Температура,
при которой происходит фазовое
превращение жидких веществ в
кристаллические,
называется температурой
кристаллизации $T_{кр}$.



Строение металлов, когда атомы образуют геометрически правильную кристаллическую структуру, может быть только в идеальном случае. В реальных условиях кристаллы имеют большое число дефектов, наличие которых оказывает существенное влияние на свойства металлов и сплавов.



Основными дефектами
кристаллических
решеток являются точечные, линейные,
поверхностные и объемные
(трехмерные)
несовершенства.



Точечные
несовершенства
появляются в
результате
образования
вакансий (атомных
дырок) или внедрения
атомов в междуузлии
(рис. 1.6).

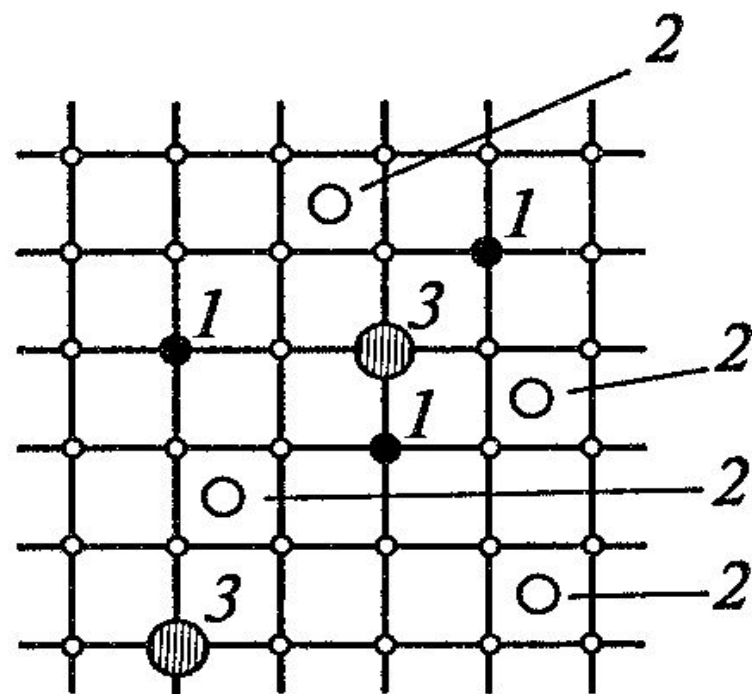


Рис. 1.6. Условное
изображение точечных
несовершенств:

1 – вакансия; 2 – дисло-
цированный атом;
3 – примесный атом

Большинство атомов в данной кристаллической решетке обладает одинаковой средней энергией, поэтому амплитуда их колебаний при данной температуре одинакова, но отдельные атомы имеют энергию, значительно превышающую среднюю, и амплитуда колебаний их также больше среднего значения.



Такие атомы могут перемещаться из одного места в другое и выходить из узла в междуузлие. Атомы, вышедшие из узла решетки, называются дислоцированными, а места, где находились атомы, остаются в решетке незаполненными и называются вакансиями.



Причинами точечных несовершенств являются условия кристаллизации, наличие примесей в металлах и сплавах, неравномерное распределение энергии между атомами кристаллической решетки.


Точечные дефекты влияют на диффузионные процессы.

Например, при изготовлении полупроводниковых интегральных схем нагревание до температуры плавления приводит к увеличению вакансий на 2%.

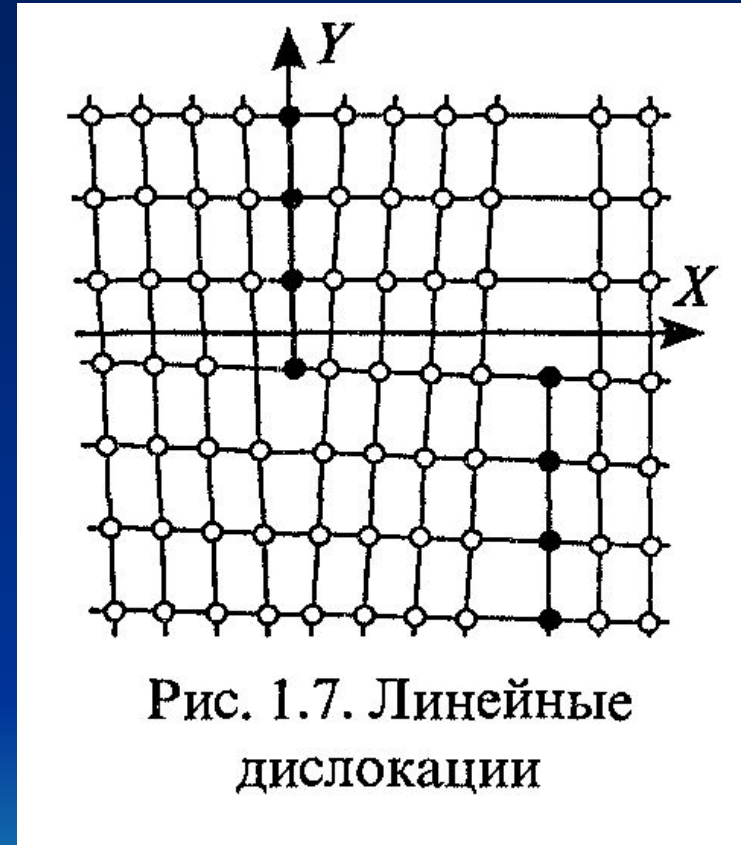


Линейные несовершенства представляют собой изменения структуры, протяженность которых в одном измерении гораздо больше, чем в двух других. Такие несовершенства называют дислокациями.

Появление дислокаций вызвано воздействиями на металл напряжений разного происхождения. При воздействии сосредоточенной нагрузки на некоторый участок происходит перераспределение напряжений в образце.



Этот процесс сопровождается медленным сдвигом атомов. Граница между сдвинутыми участками и сохранившейся без изменения областью является дислокацией (рис. 1.7).



Дислокации бывают краевыми,
винтовыми и смешанными.

Поверхностные несовершенства
характеризуются
значительными изменениями в двух
измерениях. Примером
поверхностного
несовершенства является граница
между кристаллами в реальных
сплавах.



Кристалл состоит из блоков, которые по-разному ориентируются в пределах этого кристалла, образуя мозаичную структуру. На границах повернутых друг относительно друга блоков возникают напряжения, приводящие к искажению кристаллической решетки (рис. 1.8).



Объемные несовершенства
кристалла имеют
существенные
размеры во всех трех
измерениях. К объемным
дефектам относятся
пустоты, включения
отдельных кристаллических
зерен или
кристаллической
модификации.

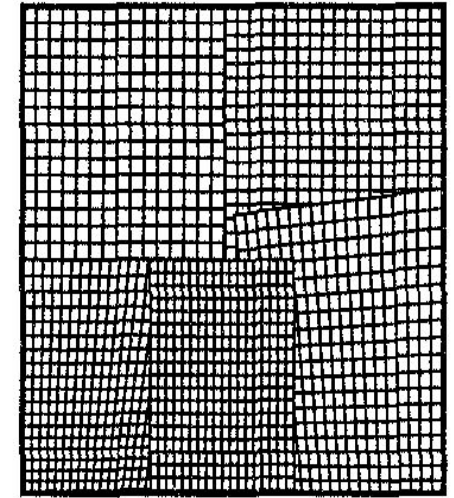


Рис. 1.8. Поверхностные
несовершенства (мозаичная
структура кристалла)

По структуре кристаллические материалы бывают монокристаллическими и поликристаллическими.

Монокристаллические материалы - это однородные анизотропные тела, у которых атомы расположены по всему объему в правильном порядке. При этом сами атомы состоят из периодически повторяющихся одинаковых кристаллических ячеек.

Поликристаллические материалы состоят из большого числа сросшихся между собой мелких кристаллических зерен (кристаллитов), которые хаотически ориентированы в разных направлениях. За счет усреднения свойств отдельных кристаллов свойства тела в целом не зависят от направления, и поликристаллические материалы обычно изотропны.

Однако с помощью специальной
обработки

(холодная прокатка с последующим
отжигом, намагничивание,
поляризация и т.д.) материал становится
анизотропным. Материалы с
искусственно созданной анизотропией
называют текстурами.

К поликристаллическим материалам
относятся металлы и
многие керамические материалы.