ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ И СТРУКТУРА ВЕЩЕСТВ

Цель работы: Научиться, пользуясь диаграммами состояния, анализировать формирование структуры сплавов при изменении химического состава и температуры. Ознакомиться с фазовыми диаграммами полупроводниковых соединений в равновесном состоянии.

Основные понятия:

*Термодинамическая система* – это любое пространство, ограниченное действительными или воображаемыми границами, состоящее из одного или нескольких объектов, в котором происходит массо- и теплообмен между составляющими объектами или с внешней средой, смежной с границами системы. В равновесной термодинамике рассматриваются термодинамические системы (нет обмена ни веществом, ни энергией со средой) и замкнутые термодинамические системы (нет обмена веществом со средой).

Термодинамическая система характеризуется совокупностью физических величин, однозначно определяющих состояние системы и называемых *термодинамическими параметрами* – температурой, давлением, концентрацией компонентов и др.

*Гомогенная система* (*от греч*. homogenes −*однородная*) −это термодинамическая система, химический состав и физические свойства во всех частях которой одинаковы или меняются непрерывно, без скачков (между частями системы нет поверхностей раздела). В гомогенной системе из двух и более химических компонентов каждый компонент распределен в массе другого. Составные части гомогенной системы нельзя отделить друг от друга механическим путем. Примеры гомогенных систем: лед, жидкие или твердые растворы, смесь газов и др.

*Вещество* – гомогенная физическая субстанция, имеющая определенный химический состав.

*Индивидуальное вещество* – вещество, которое существует самостоятельно и его можно выделить из системы.

*Гетерогенная система (неоднородная)* – это термодинамическая система, состоящая из нескольких фаз, между которыми имеются видимые границы раздела.

*Фаза* **–** гомогенная часть системы, отделенная от других частей физическими границами (определение 1).

*Фаза* **–** однородная часть гетерогенной системы, имеющая во всех точках одинаковые состав и физико-химические свойства и отличающаяся от других фаз по составу и свойствам или только по свойствам (определение 2).

*Раствор* −гомогенный материал, не имеющий определенного состава (определение 1). *Раствор* - однофазная система переменного состава, состоящая из двухи более компонентов. Один из компонентов является растворителем, а другие компоненты −растворенными веществами (определение 2).

*Компонентами системы* называются индивидуальные вещества, наименьшего числа которых достаточно для образования и выражения состава всех фаз данной системы. *Число компонентов системы* – число индивидуальных веществ минус число уравнений, их связывающих.

*Число степеней свободы (вариантность) системы* −число независимых способов, которыми можно изменить состояние системы. Эти способы заключаются в изменении температуры и давления, а также состава любых растворов (газообразных, жидких или твердых), которые в данной системе существуют в виде фаз (определение 1).

*Число степеней свободы (вариантность) системы* – число независимых переменных (параметров), численные значения которых могут меняться в определенных пределах без нарушения равновесия между данными фазами, т.е. это независимые параметры системы находящейся в термодинамическом равновесии, которые могут принимать произвольные значения, причем число фаз не изменяется. Все остальные параметры −их функции (определение 2).

*Правило фаз Гиббса* −метод классификации всех систем, находящихся в равновесии. *Это единый принцип, применимый ко всем системам, находящимся в состоянии равновесия.* Правило фаз Гиббса определяет соотношение между числом независимых компонентов, числом фаз и степеней свободы системы при равновесии. Гиббс установил, что *для любой системы, находящейся в равновесии, сумма числа фаз и числа степеней свободы больше числа компонентов на 2.*

Число фаз + Число степеней свободы = Число компонентов + 2, или *Ф + F = К + 2* или *Ф ≤ К + 2****.*** Это и есть правило фаз. Например, система, содержащая лед, воду и пары воды, состоит из трех фаз, но лишь из одного компонента −воды, поскольку любые две фазы можно получить из третьей фазы. Пусть компонент «вода» (в ее разных формах) находится в цилиндре с подвижным поршнем, позволяющим изменять давление, т. е. цилиндр с водой помещен в термостат, температуру в котором можно менять. Если присутствует только *одна фаза*, то можно произвольно в широких пределах *изменять как температуру, так и давление*, следовательно, число степеней свободы (вариантность) равно 2. Можно изменять в известных пределах как температуру, так и давление (каждое независимо от изменения другого), что не вызовет изменения числа или вида фаз системы. Жидкая вода, например, может находиться при любой температуре между точками замерзания и кипения и подвергаться давлению в пределах между образованием паровой фазы (понижение давления до давления насыщенного пара при данной температуре).

Если в системе присутствуют *две фазы*, то давление автоматически определяется температурой; число степеней свободы уменьшается до 1. Так, чистые *пары воды, находящиеся в равновесии с жидкой водой, имеют при данной температуре вполне определенное давление,* а именно давление насыщенного водяного пара при данной температуре. Если в равновесии находятся *три фазы* −лед, вода и пары воды, то *как температура, так и давление должны быть строго определенными*, в этом случае число степеней свободы равно нулю. Такие условия соответствуют тройной точке льда, воды и паров воды. Это наблюдается при температуре +0,0099 °С и давлении 0,0060 атм (температура 0 °С отвечает равновесию между льдом и водой, насыщенной воздухом при давлении 1 бар). Для подобной системы с одним компонентом сумма числа фаз и степеней свободы равна *трем*.

*Диаграмма состояния системы* – диаграмма, выражающая зависимость возможных состояний системы от ее параметров (температура, давление, концентрация компонентов). Каждому конкретному состоянию системы на диаграмме отвечает определенная точка, называемая *фигуративной точкой*.

***Типовые диаграммы состояния конденсированных систем***

Системы *с постоянным составом твердых фаз* представлены на рис. 1-5.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 1. Система с одной точкой двойной эвтектики |

**Рисунок 1.** Компонент *А* плавится при температуре 760 °С, компонент *В* – при 500 °С. В жидком состоянии растворимость компонентов неограниченная, а в твердом они совершенно нерастворимы, т. е. кристаллизуются из жидкой фазы в чистом виде. Эти компоненты не испытывают полиморфных превращений и не образуют между собой химических соединений. На диаграмме показаны линии ликвидуса: *ТА*−*Е* и *ТВ*−*Е*, где *Е* – точка двойной эвтектики. При температуре *ТЕ* происходит кристаллизация эвтектики (*ЖЕ = А + В*) и при этой температуре кристаллизация заканчивается. Состав наиболее тугоплавкой системы – 0 % *В*, а самой легкоплавкой – 60 % *В*.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 2. Система, в которой компонент *В* меняет кристаллическую модификацию |

**Рисунок 2.** Конденсированная система из двух компонентов. Компонент *А* плавится при 500 °С, компонент *В* −при 750 °С. Растворимость этих компонентов в жидком состоянии неограниченная, они кристаллизуются из расплава в чистом виде. Химических соединений нет. У компонента *В* при температуре 450 °С (*ТМ*) меняется кристаллическая модификация: βΒ= αΒ. Число фаз в системе при этой температуре равно трем: две из них твердые (две кристаллические модификации *В*) и одна жидкая, поэтому на изотерме диаграммы *ТМ* число степеней свободы системы равно нулю и на кривых охлаждения систем, содержание в которых компонента *В* превышает 50 %, должны наблюдаться две температурные остановки, продолжительность которых можно определить по треугольникам Таммана. Вершина одного из них соответствует чистому компоненту *В*, у которого меняется кристаллическая модификация, вершина другого отвечает составу эвтектической жидкости. Судя по диаграмме, наиболее легкоплавким является сплав, содержащий 30 % *В*, а самым тугоплавким −чистый компонент *В*. Кристаллизация жидкой фазы начинается на линиях ликвидуса и заканчивается при температуре, соответствующей точке двойной эвтектики *Е*.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 3. Система, компоненты которой образуют химическое соединение с конгруэнтной точкой плавления |

**Рисунок 3.** Конденсированная система с неограниченной растворимостью компонентов в жидком состоянии и постоянным составом всех твердых фаз. Компоненты образуют между собой одно химическое соединение, плавящееся без разложения (конгруэнтно), при температуре *ТS* = 675 °C. На диаграмме имеются три вертикальные линии. Две из них соответствуют постоянному составу компонентов, а третья, линия *S*, −химическому соединению, образованному по реакции *mA + nB → AmBn*. Появление дополнительного уравнения в системе, состоящей из двух компонентов *А* и *В*, образующих химическое соединение, приводит к уменьшению на единицу числа степеней свободы системы на линии этого соединения. Это означает, что в любой точке на линии *S* число степеней свободы *F = (K* −1*) +* 1 *– Ф = К* −*Ф*. Поэтому химическому соединению на диаграмме соответствует вертикальная линия, отвечающая его постоянному стехиометрическому составу. Если оно представлено одной фазой, твердой или жидкой, то число степеней свободы *F* = 2 – 1 = 1, т. е. может меняться только температура этих фаз. В точках плавления или полиморфных превращений химического соединения, в которых оно представлено двумя фазами, по правилу фаз *F* = 2 – 2 = 0, система становится нонвариантной: состав фаз одинаков, а температура постоянна. Линия химического соединения *S* разделяет систему из компонентов *А* и *В* на две простейшие подсистемы −*А*−*S* и *S*−*В*, каждая из которых подобна системе, изображенной на рис. 1. Если фигуративная точка системы *А*−*В* расположена в подсистеме *A*−*S*, то кристаллизация жидкой фазы начинается на линиях ликвидуса *ТАЕ1* и *ТSЕ1*, а заканчивается при температуре, соответствующей точке двойной эвтектики *Е1*. Если же фигуративная точка системы располагается в правой подсистеме *S-B*, кристаллизация расплава начинается на линиях ликвидуса *ТSE2* и *ТВЕ2* и заканчивается при температуре, соответствующей второй точке двойной эвтектики *Е2*. Эта точка отвечает составу системы с наименьшей температурой кристаллизации, а самым тугоплавким является химическое соединение *S*.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 4. Система, компоненты которой образуют химическое соединение с инконгруэнтной точкой плавления |

**Рисунок 4.** Компоненты системы, плавящиеся соответственно при температурах *ТА* и *ТВ*, также образуют одно химическое соединение *S*, которое, в отличие от представленного на рис. 3, плавится инконгруэнтно (с разложением). Судя по диаграмме, оно существует только при температуре ниже 350 0С, обозначенной *ТР*, при которой происходит разложение химического соединения по обратимой реакции *S* ⇔*ЖР + В*. Эта реакция протекает слева направо при нагревании и в обратном направлении при охлаждении. Точка *Р*, показывающая состав жидкой фазы, способной при указанной температуре реагировать с компонентом *В* (состав *перитектической жидкости*), образуя химическое соединение по обратной реакции, называется *перитектической (реакционной) точкой*. Поскольку при этой температуре в равновесии находятся три фазы и число степеней свободы равно нулю, процесс протекает при постоянной температуре и постоянном составе всех фаз до тех пор, пока число фаз не уменьшится.  
При нагревании системы при температуре *Tp* исчезает химическое соединение, а при охлаждении происходит его образование в результате взаимодействия перитектической жидкости с выделившимися ранее кристаллами компонента *В*. В зависимости от исходного состава системы по окончании этого процесса остаются одна или две фазы. Если исходный состав системы совпадает с составом химического соединения (в данном случае при содержании компонента *В*, равном 70 %), то количество перитектической жидкости и компонента *В* было эквивалентным и поэтому в результате их взаимодействия обе эти фазы исчезают и остается только одна – химическое соединение. При содержании компонента *В* выше 70 % перитектическая жидкость реагирует при *ТР* уже с избытком твердого компонента *В*, и при этой температуре исчезает только жидкость и заканчивается кристаллизация. В поле диаграммы, расположенном ниже этой температуры, остаются две твердые фазы – образовавшееся химическое соединение и остатки (реликты) компонента *В*. Наконец, если содержание компонента *В* в исходной системе составляет менее 70 %, то при взаимодействии с избытком жидкой фазы исчезает компонент *В*, и поэтому при температуре ниже *ТР* остаются в равновесии также две фазы – жидкость, насыщенная химическим соединением, и само химическое соединение.

Кристаллизация такой системы заканчивается при более низкой, эвтектической температуре, где протекает процесс *ЖЕ → А + S*. Ниже этой температуры остаются две твердые фазы −*А* и *S*. Продолжительность температурных остановок на кривых охлаждения систем различного состава и составы определяющих ее фаз характеризуются построенными на изотермах диаграммы треугольниками Таммана.

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 5. Система с компонентами, ограниченно растворимыми в жидком состоянии |

**Рисунок 5.** В отличие от диаграмм, представленных на рис. 30 и 31, на этой представлены компоненты, ограниченно растворимые в жидком состоянии, но также совершенно нерастворимые в твердом, не образующие химических соединений и не меняющие свои модификации. Точка *М* называется *монотектической точкой*. Ниже температуры, соответствующей этой точке, в интервале концентраций *В* от нуля до *N* имеет место *монотектическое превращение*, в результате которого жидкая фаза (фазы) распадается на твердую фазу (*А*) и жидкую фазу с другим соотношением компонентов системы. Точки *ТА* и *ТВ* диаграммы соответствуют температуре плавления компонентов. Точка *Е* – точка двойной эвтектики. Линии ликвидуса *ТАМ* и *NЕ* показывают изменение состава жидкой фазы, находящейся в равновесии с компонентом *А*, третья линия ликвидуса *ТВЕ* характеризует изменение состава жидкости, насыщенной компонентом *В*.

Кристаллизация жидкой фазы начинается на линиях ликвидуса *ТАM*, *MN*, *NE* и *ТВЕ*, а заканчивается при 250 °С выделением эвтектики, состоящей из компонентов *А* и *В*. Поле диаграммы, ограниченное пунктирными линиями *СМ* и *СN* (линии расслоения жидкой фазы), представлено двумя жидкими фазами −насыщенными растворами компонентов в жидком состоянии. Линии показывают взаимную растворимость компонентов в зависимости от температуры. Точка *С* −точка Алексеева. Эта часть диаграммы подобна рассмотренным ранее неконденсированным системам с ограниченной растворимостью жидких компонентов.

Конденсированные системы *с переменным составом твердых фаз* представлены на рис. 6−13.

Твердые фазы переменного состава называются *твердыми растворами***.**

В зависимости от способа образования различают два типа твердых растворов:

1) твердые растворы изоморфного замещения, образующиеся обычно компонентами со сходным параметрами кристаллических решеток и размерами их структурных элементов;

2) твердые растворы внедрения одного из компонентов в кристаллическую решетку другого, называемого в этом случае «хозяином» кристаллической решетки твердого раствора. Такого типа твердые растворы образуются между компонентами, имеющими различные параметры кристаллических решеток и структурных элементов и могут быть только ограниченными.

На диаграммах состояния состав твердых растворов как фаз переменного состава характеризуется наклонными линиями (линиями солидуса).

|  |
| --- |
|  |
| Рис. 6. Система с компонентами, неограниченно растворимыми в жидком и твердом состоянии |

**Рисунок 6.** Это одна из простейших диаграмм состояния системы, компоненты которой неограниченно растворимы как в жидком, так и в твердом состоянии, образуя твердый раствор замещения γ. Твердые растворы на диаграммах принято обозначать греческими буквами, а фазы постоянного состава −буквами латинского алфавита.

Точки плавления компонентов *ТА* и *ТВ* соединены двумя наклонными линиями: верхняя – ликвидуса, показывающая температуру начала кристаллизации жидкой фазы различного состава, а также изменение состава жидкой фазы в процессе кристаллизации из нее твердого раствора γ; нижняя −солидуса, показывающая температуру конца кристаллизации жидкости и изменение состава твердого раствора, находящегося в равновесии с жидкостью.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 7. Диаграммы состояния конденсированных систем, на кривых ликвидуса и солидуса которых имеются экстремальные точки | |

В поле диаграммы, расположенном между этими линиями, т. е. между температурами начала и конца кристаллизации системы, в равновесии находятся жидкая и твердая фазы, состав которых можно определить, построив при заданной температуре коноду и найдя фигуративные точки фаз на этих линиях, а относительное количество – по правилу рычага, т. е. по длине отрезков коноды, противолежащих фигуративным точкам этих фаз. Следует обратить внимание на внешнее сходство показанной на рис. 6 диаграммы состояния конденсированной системы с диаграммой неконденсированной системы

**Рисунок 7.** Так же как и в неконденсированных системах, на кривых ликвидуса и солидуса конденсированных систем, компоненты которых неограниченно изоморфно замещают друг друга в твердом растворе, могут иметь место экстремальные точки с общей горизонтальной касательной, в которых состав жидкой и твердой фаз одинаков, а температура начала и конца кристаллизации совпадают.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 8. Система эвтектического типа с твердыми растворами | Рис. 9. Система перитектического типа с твердыми растворами |

**Рисунки 8 и 9.** Это две диаграммы состояния компонентов, неограниченно растворимых в жидком состоянии, но ограниченно растворимых в твердом, по своей топологии аналогичные диаграммам неконденсированных систем. Компоненты системы, представленной на рис. 9, имеют свойства, близкие к идеальным, а на линиях ликвидуса и солидуса отсутствуют экстремальные точки. В системе, представленной на рис. 8, на этих линиях имеется точка минимума, а химические и кристаллографические свойства компонентов различаются.

Линии ликвидуса на этих диаграммах (соответственно *ТАЕ*, *ТВЕ* и *ТАР*, *РТВ*) показывают температуру начала кристаллизации и изменение состава жидкой фазы, из которой кристаллизуются твердые фазы. Компоненты не кристаллизуются из расплава в чистом виде, а образуют ограниченные твердые растворы. У одного из них, α, «хозяин» кристаллической решетки – компонент *А*, у второго, β, −компонент *В*. Иначе говоря, α−это твердый раствор компонента *В* в *А*, а β−твердый раствор *А* в *В*. Линии солидуса (на рис. 8 *ТАМ* и *ТВN*, на рис. 9 *ТАМ* и *NTB*) показывают изменение составов твердых растворов αи β, находящихся в равновесии с насыщенной ими жидкой фазой, а также температуру конца кристаллизации.

Линии *Mm* и *Nn* показывают влияние температуры на взаимную растворимость компонентов в насыщенных твердых растворах, находящихся в равновесии в области диаграмм, расположенной между этими линиями. На изотермах диаграмм находятся в нонвариантном равновесии (*F* = 0) три фазы. На изотерме диаграммы, представленной на рис. 8, из жидкой фазы, имеющей состав, отвечающий точке двойной эвтектики *Е*, совместно кристаллизуются твердые растворы αи β, т. е. взаимодействие фаз протекает по схеме *ЖЕ* ⇔α+β. При этой температуре заканчивается кристаллизация системы. Ниже этой температуры остаются два твердых раствора, составы которых при дальнейшем понижении температуры меняются по соответствующим линиям растворимости. Продолжительность температурных остановок на кривых охлаждения, соответствующих этому процессу, можно определить по треугольнику Таммана. Ниже этой температуры остаются два твердых раствора, составы которых при дальнейшем понижении температуры меняются по соответствующим линиям растворимости.

На изотерме диаграммы, представленной на рис. 9, протекает перитектический процесс, при котором жидкая фаза, состав которой при охлаждении системы приходит в точку *Р*, взаимодействуя с твердым раствором α, образует твердый раствор βпо фазовой реакции *ЖР* + α→ β. Поскольку эта реакция обратима, при нагревании она протекает в противоположном направлении, т. е. происходит разложение твердого раствора β, что и показывает вершина треугольника Таммана, построенного на изотерме диаграммы.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 10. Система с компонентами, образующими бертоллид, плавящийся конгруэнтно | Рис. 11. Система с компонентами, образующими бертоллид, плавящийся инконгруэнтно |
|  |  |

**Рисунки 10 и 11.** Это диаграммы состояния систем, компоненты которых образуют *химические соединения переменного состава (бертоллиды)*. Химическое соединение плавится без разложения (см. рис. 10) или с разложением (см. рис. 11). Если сравнить эти диаграммы с представленными на рис. 3 и 4, где все твердые фазы: и компоненты, образующие аналогичные химические соединения, и сами *химические соединения имеют постоянный состав и кристаллизуются из расплава в чистом виде* **(***дальтониды***)**, то видно, что в рассматриваемых диаграммах (см. рис. 10 и 11) все твердые фазы имеют переменный состав, т. е. кристаллизуются в виде твердых растворов. Твердый раствор αобразован в результате внедрения или замещения компонента *В* в кристаллическую решетку компонента *А*. У твердого раствора β«хозяин» кристаллической решетки – компонент *В*, а у твердого раствора γ−химическое соединение, в кристаллической решетке которого находятся избытки компонентов. Таким образом, *бертоллиды, т. е. соединения нестехиометрического состава, можно рассматривать как различного типа твердые растворы.*

На рис. 10 точки *ТА*, *ТВ* и *ТS* указывают температуры плавления или кристаллизации компонентов и конгруэнтно плавящегося соединения, *Е1* и *Е2* – точки двойных эвтектик, показаны фазы, находящееся в равновесии в каждом поле диаграммы. На ее изотермах протекают эвтектические процессы: на одной *ЖЕ1* ⇔α+ γ, на другой *ЖЕ2* ⇔γ+ β. На диаграмме, представленной на рис. 41, имеются также две изотермы, на которых в нонвариантном равновесии находятся три фазы и между которыми протекают фазовые реакции. Одна из них связана с кристаллизацией эвтектики: *ЖЕ* → α+ γ, на другой изотерме протекает перитектическая реакция образования химического соединения (при охлаждении) или его разложения (при нагревании): *ЖР* + βD ⇔γQ. По диаграмме можно определить, какие фазы находятся в равновесии в каждом ее поле.

**Рисунки 12 и 13.** Это диаграммы состояния систем, в которых компоненты образуют твердые растворы и претерпевают полиморфные превращения. Компоненты диаграммы, представленные на рис. 12, неограниченно растворимы в жидком состоянии и ограниченно – в твердом. Химических соединений они не образуют. Компонент *А* кристаллизуется из расплава при температуре *ТА*, а затем при охлаждении системы испытывает полиморфное превращение, в результате которого одна кристаллическая модификация этого компонента превращается в другую. Этот процесс протекает при температуре *ТМА*.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 12. Система, в которой компонент *А* меняет модификацию при *ТМА* | Рис. 13. Система, в которой оба компонента меняют модификацию при *ТМА* и *ТМВ* |

Высокотемпературная модификация компонента *А* образует твердый раствор δ, а низкотемпературная – твердый раствор α. Область существования этих растворов ограничена: в растворе δ−3 % компонента *В*, в растворе α−25 % *В*. Компонент *В* не меняет модификаций и является «хозяином» кристаллической решетки твердого раствора β, в котором растворяется не более 5 % компонента *А*. Линии ликвидуса на этой диаграмме −*ТАР*, *РЕ*, *ТВЕ*, линии солидуса −*ТАL*, *QM*, *TBN*, линии растворимости −*Mm* и *Nn*.

Трехфазные нонвариантные равновесия на изотермах диаграммы в соответствии с треугольниками Таммана выражаются следующими уравнениями: при 550 °С *ЖР* + δL ⇔αQ, а при 350 °С кристаллизуется эвтектика *ЖЕ* → α*M* + β*N*. В отличие от компонентов диаграммы, представленной на рис. 12, на которой меняет модификацию только один компонент −*В*, в системе, изображенной на рис. 13, испытывают полиморфное превращение оба компонента. Компонент *А* этой системы кристаллизуется при температуре 400 °С (точка *ТА*) и меняет кристаллическую модификацию при 100 °С (точка *ТМА*). У компонента *В*, кристаллизующегося при температуре 750 °С (*ТВ*), модификация меняется при 300 °С (*ТМВ*). Высокотемпературные модификации этих компонентов из-за значительных различий параметров своих кристаллических решеток весьма ограниченно растворимы друг в друге и образуют твердые растворы внедрения αи β. Однако низкотемпературные модификации вследствие сходства их кристаллических решеток образуют неограниченный твердый раствор замещения γ, существующий в области диаграммы от 100 % *А* до 100 % *В*. Линии ликвидуса на этой диаграмме −*ТАЕ, РЕ, ТВР*, линии солидуса −*ТАM, QN, TBL*. На полях диаграммы, ограниченных линиями *ТМАМ* и *ТМАN*, а также *ТМВQ* и *ТМВL*, происходит постепенное превращение твердого раствора одного типа в твердый раствор другого. На изотерме диаграммы при 250 °С кристаллизуется эвтектика: *ЖЕ* → αМ + γN, а при 460 °С протекает перитектическая фазовая реакция: *ЖР* + βL → γQ. Продолжительность температурных остановок на кривых охлаждения систем можно определить, руководствуясь треугольниками Таммана, изображенными на изотермах диаграммы.

Порядок чтения диаграмм состояния конденсированных систем

Рекомендуемая последовательность чтения диаграмм состояния конденсированных систем:

1. Обозначить поля диаграммы, точки плавления и полиморфных превращений компонентов, охарактеризовать каждую линию диаграммы и указать ее физический смысл.

2. Дать общую характеристику системы, ответив на следующие вопросы:

* Какова растворимость компонентов в жидком состоянии (неограниченная или ограниченная)?
* Образуются ли между компонентами химические соединения, как (конгруэнтно или инконгруэнтно) и при какой температуре они плавятся?
* Какие химические соединения образуются (химическая формула, состав в процентах по массе или мольных процентах)?
* Какова растворимость компонентов и химических соединений в твердом состоянии? Если образуются твердые растворы, то какова область их существования и что определяет их кристаллическую решетку?
* Меняются ли кристаллические модификации компонентов и химических соединений, при каких температурах протекают эти процессы?
* Каков состав наиболее тугоплавкого и наиболее легкоплавкого соединения на диаграмме?

Порядок выполнения работы

1. Фазовые диаграммы кристаллизации веществ скачать с электронного ресурса, либо получить у преподавателя (№ рисунка соответствует номеру по журналу).
2. Полученную фазовую диаграмму перенести в протокол лабораторной работы.
3. Проанализировать полученную фазовую диаграмму в соответствии с указанным в методическом материале порядком чтения фазовых диаграмм, анализ занести в протокол лабораторной работы.
4. Рассмотреть фазовую диаграмму твердого раствора (выбрать в соответствии с индивидуальным заданием – таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Исходные данные для расчета:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | A | B | T, ˚C | m, г | ω, мас.% |
| 1 | GaAs | AlAs | 1500 | 200 | 60 |
| 2 | GaSb | AlSb | 800 | 100 | 40 |
| 3 | InSb | AlSb | 700 | 150 | 30 |
| 4 | GaAs | GaP | 1300 | 100 | 40 |
| 5 | PbTe | SnTe | 830 | 200 | 80 |
| 6 | InAs | GaAs | 1000 | 100 | 40 |
| 7 | InSb | GaSb | 580 | 100 | 40 |
| 8 | InAs | InP | 1027 | 150 | 70 |
| 9 | AlAs | GaAs | 1600 | 100 | 20 |
| 10 | AlSb | GaSb | 900 | 100 | 40 |
| 11 | AlSb | InSb | 800 | 150 | 40 |
| 12 | GaP | GaAs | 1400 | 300 | 20 |
| 13 | SnTe | PbTe | 850 | 150 | 40 |
| 14 | GaAs | InAs | 1100 | 200 | 40 |
| 15 | GaSb | InSb | 630 | 150 | 40 |
| 16 | InP | InAs | 977 | 300 | 70 |

1. Проанализировать полученную фазовую диаграмму, анализ занести в протокол лабораторной работы.
2. Провести расчет состава твердого раствора A-B, который кристаллизуется в равновесных условиях при температуре T, массовое содержание компонента B в расплаве – ω. Определите массу загрузки, если масса твердого раствора составила m.