

кристалл, растущий в переохлаждённом расплаве или растворе, сохраняет свою форму, пока его радиус не достигнет критич. значения, зависящего от радиуса критич. зародыша и скорости поверхностных процессов К. В дальнейшем развиваются выступы, и кристалл приобретает скелетную (рис. 14, а, б) или дендритную форму (рис. 14, в, г). Название последней связывается с появлением вторичных ветвей после достижения

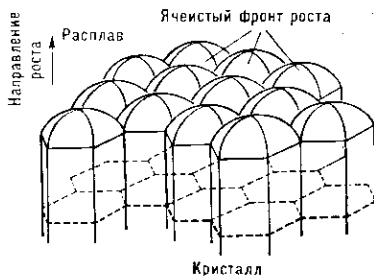


Рис. 13. Схема ячеистой структуры фронта кристаллизации.

первичным выступом критич. длины. Примесь, отгаливаемая фронтом К. из расплава, скапливается перед ним и, меняя равновесную темп-ру К., вызывает т. н. концентрац. переохлаждение, увеличивающееся по мере удаления от фронта. Если равновесная темп-ра в расплаве увеличивается с расстоянием от фронта быстрее, чем истинная, то возникает ко н ц е н т р а ц и о н н а я неустойчивость. Она исчезает при достаточно высоких отношениях градиента темп-ры на фронте К. к его скорости.

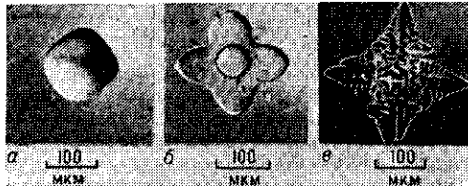


Рис. 14. Исходный округлый кристалл цинлогексанола в расплаве (а), начальная стадия роста скелетного кристалла (б), дендрит (в) при большом переохлаждении (г).

Фронт К. из раствора всегда неустойчив, т. к. пере-  
сыщение  $\sigma$  увеличивается по мере удаления от растущей поверхности. Для огранённых кристаллов характерно большое пере-  
сыщение около вершин и рёбер, причём перепад  $\sigma$  увеличивается с размером грани. При доста-  
точно больших пере-  
сыщении и размере грани вер-  
шины становятся ведущими источниками ступеней роста, а в центр. частях граней возникают провалы — начинается скелетный рост (рис. 15). Ему способствуют нек-рые примеси. Неустойчивость К. из растворов подавляется интенсивным перемешиванием, снижением пере-  
сыщения, а иногда введением примесей.

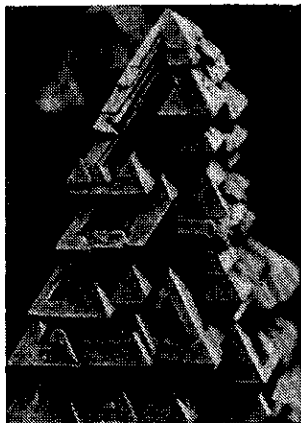


Рис. 15. Скелетный кристалл шпинели.

Захват примесей. Отношение концентраций примеси в кристалле и исходном веществе наз.  $k$  о э ф. з а х в а т а К. При  $k < 1$  К. ведёт к очистке от примеси кристалла, при  $k > 1$  — к очистке исходной среды,  $k = 1$  соот-  
ветствует сохранению концентрации. Коэф. захвата разными гранями различны и не совпадают с термодинамич. равновесными, определяемыми диаграммой состояния. Поэтому состав кристалла отклоняется от термодинамически равновесного. Так, при лазерной или электронной импульсной рекристаллизации тонких приповерхностных слоёв Si со скоростями К. до

неск. м/с концентрация примесей As, Sb, In, Bi в кристалле Si превосходит равновесную в 3—600 раз, причём подавляющее большинство примесных атомов находится в узлах решётки. Это связано, во-первых, со статистич. отбором: каждый узел решётки при К. окончательно заполняется тем или иным атомом после множества попыток (от  $10^6$ — $10^7$  при скоростях  $\sim 10^{-3}$  см/с и до 10 при скоростях  $\sim$  м/с). Во-вторых, в условиях быстрой К. не успевает протекать диффузия в расплаве.

Неравновесный захват примеси при послойном росте связан со статистич. отбором на ступенях, а также с тем, что даже равновесная концентрация примеси в поверхностном слое кристалла и торце ступени заметно отличается от объёмной. При достаточно быстром отложении слоёв следующей слой замуровывает предыдущий вместе с содержащейся в нём примесью. В результате каждая грань захватывает примесь в кол-ве, отвечающем концентрации в её поверхностном слое, и кристалл оказывается сложным из секторов роста разных граней, с разл. концентрациями примесей и др. дефектов — возникает т. н. секториальное строение кристалла (рис. 16). Количество примеси, захватываемое при движении ступени по грани, зависит от ориентации этой ступени. Поэтому сектор роста данной грани, в свою очередь, разбивается на области, отложенные *вициальными* разной ориентации с разным содержанием примеси (вициальная секториальность, рис. 17).

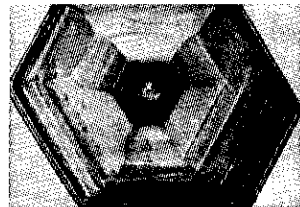


Рис. 16. Секториальное и зонарное строение кристалла алюмокалиевых квасцов.

Темп-ра и концентрация примеси на фронте К. из расплава флуктуируют из-за конвекции расплава и вращения кристалла и тигля в обычно слегка несимметричном тепловом поле. Соответствующие положения фронта К. отпечатываются в кристалле в виде полос (зонарное строение, рис. 16). Флуктуации темп-ры могут быть столь сильны, что рост кристалла сменяется плавлением и ср. скорость оказывается на порядок меньше мгновенной. Интенсивность конвекции и амплитуда полосчатости уменьшаются при выращивании кристаллов в невесомости.

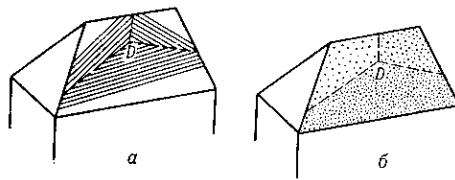


Рис. 17. Вициальный холмик, образованный на грани ступенями трёх разных ориентаций вокруг краевой дислокации D (а). Разные склоны холмика захватывают разные количества примеси (б).

Образование дефектов. Посторонние газы, растворимые в растворах и расплавах лучше, чем в кристаллах, выделяются на фронте К. Пузырьки газа захватываются растущим кристаллом, если они превышают критич. размер, убывающий с увеличением скорости роста (аналогично захватываются твёрдые частицы). При К. в невесомости конвективный отвод пузырьков от фронта К. затруднён и кристалл обогащается газовыми включениями. Специально создавая пузырьки, получают пеноматериалы. Реальные кристаллы всегда имеют зонарно и секториально распределённые примеси, к-рые изменяют параметр решётки, что вызывает внутр. напряжения, дислокации и трещины. Последние возникают также из-за несоответствия параметров решётки затравки (подложки) и растающего на ней кристалла. Источниками внутр. напряжений и дислока-