Лицей современных технологий управления

 Реферат по физике

Кристаллы и их свойства

Выполнил:

 Проверил:

Пенза 2001

Введение

Кристаллические тела являются одой из разновидностей минералов.

Кристаллическими называют твердые тела, физические свойства которых не одинаковы в различных направлениях, но совпадают в параллельных направлениях.

Семейство кристаллических тел состоит из двух групп — монокристаллов и поликристаллов. Первые иногда обладают геометрически правильной внешней формой, а вторые, подобно аморфным телам, не имеют присущей данному веществу определенной формы. Но в отличие от аморфных тел структура поликристаллов неоднородна, зерниста. Они представляют собой совокупность сросшихся друг с другом хаотически ориентированных маленьких кристаллов - кристаллитов. Поликристаллическую структуру чугуна, например, можно обнаружить, если рассмотреть с помощью лупы образец на изломе.

По размерам кристаллы бывают различными. Многие из них можно увидеть только в микроскоп. Но встречаются гигантские кристаллы массой в несколько тонн.

## Строение кристаллов

 Разнообразие кристаллов по форме очень велико. Кристаллы могут иметь от четырех до нескольких сотен граней. Но при этом они обладают замечательным свойством - какими бы ни были размеры, форма и число граней одного и того же кристалла, все плоские грани пересекаются друг с другом под определенными углами. Углы между соответственными гранями всегда одинаковы. Кристаллы каменной соли, например, могут иметь форму куба, параллелепипеда, призмы или тела более сложной формы, но всегда их грани пересекаются под прямыми углами. Грани кварца имеют форму неправильных шестиугольников, но углы между гранями всегда одни и те же — 120°.

Закон постоянства углов, открытый в 1669 г. датчанином Николаем Стено, является важнейшим законом науки о кристаллах — кристаллографии.

Измерение углов между гранями кристаллов имеет очень большое практическое значение, так как по результатам этих измерений во многих случаях может быть достоверно определена природа минерала. Простейшим прибором для измерения углов кристаллов является прикладной гониометр. Применение прикладного гониометра возможно только для исследования крупных кристаллов, невелика и точность измерений, выполненных с его помощью. Различить, например, кристаллы кальцита и селитры, сход­ные по форме и имеющие углы между соответственными гранями, равные 101*°*55' первого и 102°41,5' у второго, с помощью прикладного гониометра очень трудно. Поэтому в лабораторных условиях измерений углов между гранями кристалла обычно выполняют с помощью более сложных и точных приборов.

Кристаллы правильной геометрической формы встречаются в природе редко. Совместное действие таких неблагоприятных факторов, как колебания температуры, тесное окружение соседними твердыми телами, не позволяют растущему кристаллу приобрести характерную для него форму. Кроме того, значительная часть кристаллов, имевших в далеком прошлом совершенную огранку, успела утратить ее под действием воды, ветра, трения о другие твердые тела. Так, многие округлые прозрачные зерна, которые можно найти в прибрежном песке, являются кристаллами кварца, лишившимися граней в результате длительного трения друг о друга.

Существует несколько способов, позволяющих узнать, является ли твердое тело кристаллом. Самый простой из них, но очень малопригодный для использования, был открыт в результате случайного наблюдения в конце XVIII в. Французский ученый Ренне Гаюи нечаянно уронил один из кристаллов своей коллекции. Рассмотрев осколки кристалла, он заметил, что многие из них представляют собой уменьшенные копии исходного образца.

Замечательное свойство многих кристаллов давать при дроблении осколки, подобные по форме исходному кристаллу, позволило Гаюи высказать гипотезу, что все кристаллы состоят из плотно уложенных рядами маленьких, невидимых в микроскоп, частиц, имеющих присущую данному веществу правильную геометрическую форму. Многообразие геометрических форм Гаюи объяснил не только различной формой «кирпичиков», из которых они состоят, но и различными способами их укладки.

Гипотеза Гаюи правильно отразила сущность явления — упорядоченное и плотное расположение структурных элементов кристаллов, но она не ответила на целый ряд важнейших вопросов. Существует ли предел сохранению формы? Если существует, то что представляет собой самый маленький «кирпичик»? Имеют ли атомы и молекулы вещества форму многогранников?

Еще в XVIII в. английский ученый Роберт Гук и голландский ученый Христиан Гюйгенс обратили внимание на возможность построения правильных многогранников из плотно укладываемых шаров. Они предположили, что кристаллы построены из шарообразных частиц — атомов или молекул. Внешние формы кристаллов согласно этой гипотезе являются следствием особенностей плотной упаковки атомов или молекул. Независимо от них к такому же выводу пришел в 1748 г. великий русский ученый М. В. Ломоносов.

При плотнейшей укладке шаров в один плоский слой каждый шар оказывается окруженным шестью другими шарами, центры которых образуют правильный шестиугольник. Если укладку второго слоя вести по лункам между шарами первого слоя, то второй слой окажется таким же, как и первый, только смещенным относительно него в пространстве.

Укладка третьего слоя шаров может быть осуществлена двумя способами (рис.1). В первом способе шары третьего слоя укладываются в лунки, находящиеся точно над шарами первого слоя, и третий слой оказывается точной копией первого. При последующем повторении укладки слоев этим способом получается структура, называемая гексагональной плотноупакованной структурой. Во втором способе шары третьего слоя укладываются в лунки, не находящиеся точно над шарами первого слоя. При этом способе упаковки получается структура, называемая кубической плотноупакованной структурой. Обе упаковки дают степень заполнения объема 74%. Никакой другой способ расположения шаров в пространстве при отсутствии их деформации большей степени заполнения объема не дает.

При укладке шаров ряд за рядом способом гексагональной плотной упаковки можно получить правильную шестигранную призму, второй способ упаковки ведет к возможности построения куба из шаров.

Если при построении кристаллов из атомов или молекул действует принцип плотной упаковки, то, казалось бы, в природе должны встречаться кристаллы только в виде шестигранных призм и кубов. Кристаллы такой формы действительно очень распространены. Гексагональный плотной упаковке атомов соответствует, например, форма кристаллов цинка, магния, кадмия. Кубической плотной упаковке соответствует форма кристаллов меди, алюминия, серебра, золота и ряда других металлов.

Но этими двумя формами многообразие мира кристаллов вовсе не ограничивается.

Существование форм кристаллов, не соответствующих принципу плотнейшей упаковки равновеликих шаров, может иметь разные причины.

Во-первых, кристалл может быть построен с соблюдением принципа плотной упаковки, но из атомов разных размеров или из молекул, имеющих форму, сильно отличающуюся от шарообразной (рис.2). Атомы кислорода и водорода имеют шарообразную форму. При соединении одного атома кислорода и двух атомов водорода происходит взаимное проникновение их электронных оболочек. Поэтому молекула воды имеет форму, значительно отличающуюся от шарообразной. При затвердевании воды плотная упаковка ее молекул не может осуществляться тем же способом, что и упаковка равновеликих шаров.

Во - вторых, отличие упаковки атомов или молекул от плотнейшей может быть объяснено существованием более сильных связей между ними по определенным направлениям. В случае атомных кристаллов направленность связей определяется структурой внешних электронных оболочек атомов, в молекулярных кристаллах — строением молекул.

Разобраться в устройстве кристаллов, пользуясь только объемными моделями их строения, довольно трудно. В связи с этим часто применяется способ изображения строения кристаллов с помощью пространственной кристаллической решетки.Она представляет собой пространственную сетку, узлы которой совпадают с положением центров атомов (молекул) в кристалле. Такие модели просматриваются насквозь, но по ним нельзя ничего узнать о форме и размерах частиц, слагающих кристаллы.

В основе кристаллической решетки лежит элементарная ячейка — фигура наименьшего размера, последовательным переносом которой можно построить весь кристалл. Для однозначной характеристики ячейки нужно задать размеры ее ребер а, в и с и величину углов α*,* β и γ между ними. Длину одного из ребер называют постоянной кристаллической решетки, а всю совокупность шести величин, задающих ячейку, — параметрами ячейки.

На рисунке 3 показано, как можно застроить все пространство путем сложения элементарных ячеек.

Важно обратить внимание на то, что большинство атомов, а для многих типов кристаллической решетки и каждый атом принадлежит не одной элементарной ячейке, а входит одновременно в состав нескольких соседних элементарных ячеек. Рассмотрим, к примеру, элементарную ячейку кристалла каменной соли.

За элементарную ячейку кристалла каменной соли, из которой, переносом в пространстве можно построить весь кристалл, должна быть принята часть кристалла, представленная на рисунке.При этом нужно учесть, что от ионов, находящихся в вершинах ячейки, ей принадлежит лишь одна восьмая каждого из них; от ионов, лежащих на ребрах ячейки, ей принадлежит по одной четвертой каждого; от ионов, лежащих на гранях, на долю каждой из двух соседних элементарных ячеек приходится по половине иона.

Подсчитаем число ионов натрия и число ионов хлора, входящих в состав одной элементарной ячейки каменной соли. Ячейке целиком принадлежит один ион хлора, расположенный в центре ячейки, и по одной четверти каждого из 12 ионов, расположенных на ребрах ячейки. Всего ионов хлора в одной ячейке 1+12\*1/4=4*.* Ионов натрия в элементарной ячейке—шесть половинок на гра­нях и восемь восьмушек в вершинах, всего 6\*1/2+8\*1/8=4.

Сравнение элементарных ячеек кристаллических решеток различного типа может проводиться по разным параметрам, среди которыхчасто употребляются атомный радиус, плотность упаковки и количество атомов в элементарной ячейке. Атомный радиус определяют как половину расстояния между центрами ближайших соседних атомов в кристалле.

Доля объема, занятая атомами в элементарной ячейке, называется плотностью упаковки.

Классификация кристаллов и объяснение их физических свойств оказываются возможными только на основе изучения их симметрии. Учение о симметрии является основой всей кристаллографии.

Для количественной оценки степени симметричности служат элементы симметрии — оси, плоскости и центр симметрии. Осью симметрии называют воображаемую прямую, при повороте вокруг которой на 360° кристалл (или его решетка) несколько раз совмещается сам с собой. Число этих совмещений называют порядком оси.

Плоскостью симметрии называют плоскость, рассекающую кристалл на две части, каждая из которых является зеркальным отображением одна другой.

Плоскость симметрии как бы выполняет роль двустороннего зеркала (рис.4). Число плоскостей симметрии может быть различным. Например, в кубе их девять, а в снежинках любой формы — шесть.

Центром симметрии называют точку внутри кристалла, в которой пересекаются все оси симметрии.

Каждый кристалл характеризуется определенным сочетанием элементов симметрии. Ввиду того, что число элементов симметрии невелико, задача отыскания всех возможных форм кристаллов не является безнадежной. Выдающийся русский кристаллограф Евграф Степанович Федоров установил, что в природе может существовать только 230 различных кристаллических решеток, обладающих осями симметрии второго, третьего, четвертого и шестого порядка. Иначе говоря, кристаллы могут иметь форму различных призм и пирамид, в основании которых могут лежать только правильный треугольник, квадрат, параллелограмм и шестиугольник.

Е. С. Федоров является основоположником кристаллохимии — науки, занимающейся определением химического состава кристаллов путем исследования формы граней и измерения углов между ними. Кристаллохимический анализ по сравнению с химическим обычно занимает меньше времени и не приводит к разрушению образца.

Многие современники Федорова не только не верили в существование кристаллических решеток, но даже сомневались в существовании атомов. Первые экспериментальные доказательства справедливости выводов Федорова были получены в 1912 г. немецким физиком Э. Лауэ. Разработанный им метод определения атомной или молекулярной структуры тел с помощью рентгеновских лучей носит название рентгеноструктурного анализа. Результаты исследования структуры кристаллов с помощью рентгеноструктурного анализа доказали реальность существования всех рассчитанных Е. С. Федоровым кристаллических решеток. Теория этого метода слишком сложна, чтобы ее можно было рассмотреть в школьном курсе физики.

Наглядное представление о внутренней структуре кристаллов дает новый замечательный прибор для исследования строения кристаллов — ионный микропроектор, изобретенный в 1951 г. Устройство микропроектора сходно с устройством кинескопа телевизора (puc.5). В стеклянном баллоне располагается исследуемый кристалл металла в виде тончайшей иглы *1* диаметром около 10-5—10-6 *см.* Против острия иглы расположен люминесцентный экран *2,* способный светиться при бомбардировке быстрыми частицами. После тщательной откачки воздуха из баллона в него вводят небольшое количество гелия. Между иглой и экраном прикладывают напряжение около 30 000 *в*.

Когда атомы гелия соударяются с острием положительно заряженной иглы, от них отрывается по одному электрону, и они становятся положительными ионами. Чаще всего соударение атомов гелия происходит с выступающими участками поверхности острия — «с торчащими» из решетки металла отдельными, атомами или группами атомов. Поэтому ионизация гелия в основном происходит около таких выступов. От каждого выступа-атома ион за ионом летит по прямым в направлении отрицательно заряженного катода *3.* При ударах об экран они вызывают его свечение, создавая увеличенное до 107 раз изображение поверхности острия. Пунктир из светлых точек на фотографии — это изображение края ступенек слоев атомов, а сами светлые точки — отдельные атомы в вершинах ступенек. Вся картина хорошо передает периодичность и симметрию расположения атомов в кристалле.

**Процесс роста кристаллов.**

Никто не видел, как образуется зародыш кристалла в растворе или расплаве. Можно высказать предположение, что беспорядочно движущиеся атомы или молекулы случайно могут расположиться в таком порядке, какой соответствует кристаллической решетке. Если раствор не насыщен или температура расплава выше температуры кристаллизации, то зародыши образуются и тут же растворяются или разрушаются тепловым движением. В перенасыщенном растворе или в расплаве, охлажденном до температуры ниже температуры кристаллизации, скорость роста зародыша превышает скорость его разрушения.

Такое, казалось бы разумное предположение не согласуется с результатами практики. Как показывают расчеты, зародыш будет устойчив и сможет расти, если число молекул на его поверхности много меньше числа внутренних молекул. Теоретическая оценка ребра такого зародыша дает величину около 1\*10-8 *м,* т. е. равную нескольким десяткам межатомных расстояний. В объеме этого минимального устойчивого зародыша содержится несколько тысяч атомов. Ясно, что вероятность столкновения такого большого числа атомов ничтожно мала. Однако допустим, что зародыш каким-то образом все же образовался, и выясним, какие условия необходимы для того, чтобы он не растворился, а начал расти.

При образовании зародыша выделилось тепло. Атомы, образовавшие кристаллическую решетку зародыша, передали часть своей энергии соседним атомам расплава, которые начали двигаться быстрее. Атомы ближайшего окружения зародыша до тех пор не смогут «осесть» на нем, пока не передадут избыточную энергию более отдаленным атомам. Таким образом, рост зародыша будет происходить в том случае, если обеспечить постоянный отвод тепла из расплава.

Как же располагаются на поверхности зародыша оседающие атомы? Раньше считали, что рост кристаллов происходит слой за слоем. Сначала завершается построение одного слоя, потом начинается укладка следующего и т. д. В результате грани, наращиваясь слой за слоем, перемещаются параллельно самим себе в направлении, перпендикулярном плоскости грани, как при кладке кирпичной стены. О справедливости такого предположения, казалось бы, говорят факты существования плоских граней у кристаллов. На рисунке 6 показана модель недостроенной грани кристалла. Ясно, что осаждение нового атома наиболее вероятно в точке *А* поверхности, где он будет удерживаться тремя соседями, тогда как в любой другой точке поверхности грани он будет удерживаться меньшим числом соседей. Когда закончится застройка четвертого ряда, начнется застройка пятого и т. д., пока не завершится вся плоскость.

После этого рост кристалла затрудняется, так как образование нового слоя — событие менее вероятное. Где бы ни «осел» атом на завершенной плоскости, везде он будет связан с небольшим числом атомов кристалла. Вероятность того, что эта слабая связь будет нарушена тепловым движением, велика, поэтому атом не сможет закрепиться на кристалле и перейдет в раствор или в расплав. При таком механизме застройки атомных плоскостей скорость роста кристалла должна быть очень малой. В опыте же при выращивании кристаллов из паров с пересыщением всего в 1% была обнаружена скорость роста кристалла в 101000 раз больше рассчитанной теоретически! По-видимому, большего расхождения теории с опытом в физике не наблюдалось.

Объяснение этому расхождению теории и практики было найдено лишь сравнительно недавно, в 1949 г. Легкость, с какой начинается застройка новой атомной плоскости, оказалось возможным объяснить тем, что реальные кристаллы имеют множество дефектов структуры.

Описывая строение кристаллов, мы пользовались их идеальными моделями. Отличие реальных кристаллов от идеальных заключается в том, что реальные кристаллы не обладают правильной кристаллической решеткой, а имеют целый ряд нарушений в расположении атомов, называемых дефектами. Знание условий образования дефектов и способов их устранения играет большую роль при использовании кристаллов на практике.

Схемы возникновения дефектов в кристаллах показаны на рисунке 7. Самые простые дефекты в идеальной кристаллической решетке возникают в результате замещения собственного атома чужеродным (рис.7,а), внедрения атома в междоузлие (рис.7,б), отсутствия атома в одном из узлов кристаллической решетки (рис.7.в).

Особую роль в процессе роста кристалла играют несовершенства его структуры, называемые дислокациями (смещениями). Простейшими видами дислокации являются краевая и винтовая. Краевая дислокация образуется в месте обрыва «лишней» атомной полуплоскости (pис. 8). В случае винтовой (дислокации атомные плоскости образуют систему, напоминающую винтовую лестницу. Количество дислокаций в кристаллах может быть очень большим, достигая 108 - 109 *см-3.* Кристаллов без дислокаций не существует. Постоянное наличие открытой ступеньки винтовой дислокации создает благоприятные условия для роста кристалла, Ведь не нужно начинать строить ни новый ряд, ни новую плоскость. Атомы, пристраивающиеся к ступенькам, наращивают ее, и за счет этого она начинает перемещаться по поверхности грани. Но это движение не будет перемещением ступеньки параллельно самой себе, так как ее конец неподвижен. Нетрудно сообразить, что если атомы укладываются с постоянной скоростью вдоль всей длины ступеньки, то она по мере роста начнет изгибаться и примет форму спирали. Постоянное наращивание ступеньки новыми слоями атомов приведет к тому, что на грани кристалла образуется спиральная башенка (рис. 9). Центральная часть ее как бы ввинчивается в пространство, опережая в своем движении нижние ступеньки лестницы, которые со временем будут застроены полностью и исчезнут, превратившись в завершенный атомный слой.

Фотографии, полученные с помощью электронного микроскопа, подтвердили реальность спирального механизма роста кристаллов. Если имеется много близко расположенных дислокаций, то ступеньки роста кристаллов имеют высоту во много атомных слоев и их можно видеть даже в обычный микроскоп.

Зарождение кристалла облегчается при наличии в растворе или расплаве мельчайших инородных тел — пылинок и других загрязнений. Очевидно, в данном случае зародыши кристаллов образуются не путем объединения при случайных столкновениях атомов или молекул, а в результате осаждения атомов на твердых инородных телах, пылинках, практически всегда присутствующих в расплаве или газе. Например, зародышами снежинок являются взвешенные в воздухе твердые пылинки, чаще всего мельчайшие кварцевые песчинки. Неправильная форма пылинки, на которой начинается зарождение кристалла, способствует возникновению в нем дислокации и резкому возрастанию скорости роста кристалла.

Способы зарождения новых слоев и скорости роста граней кристаллов различных веществ неодинаковы. Одни кристаллы вырастают в виде пластин, другие — в виде иголок. Это вызвано многими причинами. Одна из них — различие молекул вещества по форме. Различие скоростей роста граней кристаллов многих веществ объясняется зависимостью от направления величины сил связи частиц, образующих кристалл. Вероятность прилипания молекул в направлении действия больших сил, конечно, оказывается большей, чем в направлении действия меньших сил. Так обстоит дело в кристаллах с пластинчатой структурой (слюда, графит), в которых рост происходит преимущественно вдоль плоскостей, где действуют сильные связи. В направлениях, перпендикулярных этим плоскостям, скорость роста значительно ниже.

Но не только форма молекул и заметная разница сил их взаимодействия в различных направлениях определяют форму растущего кристалла. Если кристаллы растут при больших пересыщениях пара или раствора, то часто образуются необычные для данного вещества ветвистые, древовидные формы, называемые дендритами. Объясняется это тем, что вершины кристаллов соприкасаются с более пересыщенным паром или раствором, чем их грани. Опережая в росте боковые грани, вершины внедряются в глубь неиспользованного раствора или пара, что способствует их дальнейшему быстрому росту и т, д.

Примером дендритных образовании являются снежинки, ледяные узоры на стекле. При медленном росте кристаллы льда принимают обычную для них форму шестигранных призм. Дендриты образуются при быстром охлаждении расплавов солей и металлов. В природе довольно часто встречаются в виде дендритов серебро, медь, золото.

#### Кристаллы в природе

Вопрос о происхождении большинства минералов в природе тесно связан со сложной проблемой происхождения и развития Земли. Согласно современным представлениям Земля образовалась путем объединения первоначально холодного вещества, имевшегося в солнечной системе в виде твердых частиц пыли. За счет выделения энергии при столкновении частиц, а также за счет ряда других источников энергии Земля должна была разогреться до 1000—2000° С. При такой высокой температуре слои, близкие к поверхности и не сжатые давлением вышележащих слоев, должны были расплавиться. В этом расплавленном слое произошло разделение пород: менее плотные породы, типа гранитов, всплыли на поверхность, под ними расположился слой более плотных базальтов и еще ниже — породы, слагающие мантию. Газы, освободившиеся при расплавлении вещества верхнего слоя земного шара, образовали атмосферу Земли. При последующем остывании Земли расплавленные слои затвердели и образовали земную кору, пары воды после конденсации из атмосферы создали Мировой океан.

Многие минералы и горные породы образовались при охлаждении земной коры подобно тому, как образуется лед при замерзании воды. Магма, вещество земной коры в расплавленном состоянии, представляет собой сложный расплав различных веществ, насыщенный различными горячими газами и парами. При охлаждении магмы сначала в ней образовались кристаллы того вещества, температура кристаллизации которого самая высокая. По мере дальнейшего охлаждения происходила кристаллизация других минералов, обладающих меньшей температурой кристаллизации, и так до тех пор, пока вся магма не затвердела. Так, в честности, могли образовываться такие распространенные породы, как граниты.

 Рассматривая зернистую поверхность гранита, можно сделать вывод, какой из входящих в его состав минералов образовался раньше других. Зерна этого минерала крупнее и имеют форму, близкую к форме правильных кристаллов, так как им не мешали расти кристаллы других минералов. Зерна кристаллов, образовавшихся позднее, мельче и имеют случайную форму, так как для их роста остались лишь промежутки между зернами ранее выросших кристаллов. Чем медленнее понижалась температура магмы, т. е. чем дольше росли кристаллы, тем крупнозернистее получался минерал. Мелкозернистые же минералы образовались при более быстром охлаждении, А при очень быстром охлаждении магмы, например при ее выбросах на поверхность Земли во время извержения вулканов, она затвердела раньше, чем начали расти кристаллы. Вероятно, так образовался обсидиан, встречающийся на Кавказе.

При затвердевании объем земной коры уменьшался и в ней появлялись трещины и пустоты. В таких пустотах рост кристаллов происходит беспрепятственно. В них часто находят круги и хорошо ограненные кристаллы кварца, пластинчатые кристаллы слюды площадью в несколько квадратных метров и многие другие.

Многие минералы возникли из пересыщенных водных растворов. Первым среди них следует назвать каменную соль NaCl являющуюся одним из наиболее знакомых каждому человеку минералов. Толщина пластов каменной соли, образовавшихся при испарении воды соленых озер, достигает в некоторых месторождениях нескольких сотен метров.

Каждому знаком способ образования кристаллов из пара. Снежинки, морозные узоры на стеклах окон и иней, украшающий зимой голые ветки деревьев, представляют собой кристаллы льда, выросшие из паров воды.

Подобным образом образуются и кристаллы некоторых минералов. Например, летучие пары соединений борного ангидрида оседая на стенках пустот и трещин остывающей магмы, образуют кристаллы турмалина, иногда достигающие 2—3 *м* длины.

На стенках кратеров «курящихся» вулканов постоянно образуются кристаллы серы, хлористого аммония, каменной солии других веществ, достигающих поверхности Земли в виде пара. Однажды при извержении Везувия за несколько дней из паров образовалась жила кристаллов гематита (Ре2О3) толщиной 1 *м*.

Многие кристаллы являются продуктами жизнедеятельности организмов. Некоторые виды моллюсков обладают способностью наращивать на инородных телах, попавших в раковину, перламутр. За 5 — 10 лет образуется драгоценный камень жемчуг, имеющий поликристаллическое строение.

В морской воде растворено много различных солей. Мириады организмов, населяющих моря, строят свои раковины и скелеты из углекислого кальция и кремнезема. Выпадая в осадок, раковины и скелеты умерших организмов образуют мощные пласты так называемых осадочных пород. Рифы и целые острова в океанах сложены из кристалликов углекислого кальция, составляющих основу скелета беспозвоночных животных — коралловых полипов. Мощные слои известняка в земной коре являются результатом многовековых отложений раковин и панцирей различных организмов. В результате движений земной коры часть известняка оказалась на значительной глубине, где под действием высокого давления и температуры без плавления превратилась в мрамор. Мрамор является типичным примером видоизмененных — метаморфических — пород. Кристалл обычно служит символом неживой природы. Однако грань между живым и неживым установить очень трудно и понятия «кристалл» и «жизнь» не являются взаимоисключающими. Простейшие живые организмы — вирусы — могут соединяться в кристаллы. Конечно, в кристаллическом состоянии они не обна­руживают никаких признаков живого, так как сложные жизненные процессы в кристаллах протекать не могут. Но при изменениях внешних условий на благоприятные (такими для вирусов являются условия внутри клеток живого организма) они начинают двигаться, размножаться.

Наконец, самое удивительное. Казалось бы, кристалл и живой организм представляют собой примеры осуществления крайних возможностей в природе. В кристалле неизменными остаются сами атомы и молекулы и их взаимное расположение в пространстве, в живом организме не только не существует сколько-нибудь постоянной структуры в расположении атомов и молекул, но даже ни на одно мгновение не остается неизменным его химический состав. В процессе жизнедеятельности организма одни химические соединения разлагаются на более простые, другие сложные соединения синтезируются из простых.

Но при всех химических процессах, протекающих в живом организме, этот организм остается самим собой в течение многих десятков и сотен лет! Более того, потомки каждого живого организма являются удивительно точной его копией! Следовательно, в клетках любого животного или растения имеется что-то постоянное, неизменное, способное управлять химическими процессами, протекающими в них. Такими носителями «программы» процессов, протекающих в живой клетке, оказались молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты, называемой коротко ДНК. Эти молекулы уже упоминались во введении, когда речь шла о самых больших молекулах в природе.

Молекулы ДНК не только управляют процессами жизнедеятельности клетки, но и несут в себе полную информацию о строении и развитии всего живого организма из одной только клетки! С полным основанием можно сказать, что молекула ДНК является основой жизни.

Согласно современным данным, молекула ДНК представляет собой двойную спираль, составленную из небольшого числа сравнительно простых молекулярных соединений, повторяющихся в строго определенном для данного вида порядке. Диаметр молекулы ДНК равен 2\*10-9 *м,* а длина может достигать нескольких сантиметров. Такие гигантские молекулы с точки зрения физики рассматриваются как особый вид твердого тела — одномерные апериодические кристаллы. Следовательно, кристаллы — это не только символ неживой природы, но и основа жизни на Земле.

### Получение и применение кристаллов

Монокристаллы ряда элементов и многих химических веществ обладают замечательными механическими, электрическими, магнитными и оптическими свойствами. Так, например, алмаз тверже любого другого минерала, встречающегося на Земле. Кристаллы кварца и слюды обладают рядом электрических свойств, обеспечивающих им широкое применение в технике. Кристаллы флюорита, турмалина, исландского шпата, рубина и многие другие находят применение при изготовлении оптических приборов.

К сожалению, в природе монокристаллы большинства веществ без трещин, загрязнений и других дефектов встречаются редко. Это привело к тому, что многие кристаллы на протяжении тысячелетий люди называют драгоценными камнями, алмаз, рубин, сапфир, аметист и другие драгоценные камни долгое время ценились людьми очень высоко в основном не за особые механические пли другие физические свойства, а лишь из-за своей редкости.

Развитие науки и техники привело к тому, что многие драгоценные камни или просто редко встречающиеся в природе кристаллы стали очень нужными для изготовления деталей приборов и машин, для выполнения научных исследований. Потребность во многих кристаллах возросла настолько, что удовлетворить ее за счет расширения масштабов выработки старых и поисков новых природных месторождений оказалось невозможно.

Кроме того, для многих отраслей техники и особенно для выполнения научных исследований все чаще требуются монокристаллы очень высокий химической чистоты с совершенной кристаллической структурой. Кристаллы, встречающиеся в природе, этим требованиям не удовлетворяют, так как они растут в условиях, весьма далеких от идеальных.

 Таким образом, возникла задача разработки технологии искусственного изготовления монокристаллов многих элементов и химических соединений.

Разработка сравнительно простого способа изготовления «драгоценного камня» приводит к тому, что он перестает быть драгоценным. Объясняется это тем, что большинство драгоценных камней является кристаллами широко распространенных в природе химических элементов и соединений. Так, алмаз — это кристалл углерода, рубин и сапфир — кристаллы окиси алюминия с различными примесями.

Рассмотрим основные способы выращивания монокристаллов. На первый взгляд может показаться, что осуществить кристаллизацию из расплава очень просто. Достаточно нагреть вещество выше температуры плавления, получить расплав, а затем охладить его. В принципе это правильный путь, но если не принять специальных мер, то в лучшем случае получится поликристаллический образец. А если опыт проводить, например, с кварцем, серой, селеном, сахаром, способными в зависимости от скорости охлаждения их расплавов затвердевать в кристаллическом или аморфном состоянии, то нет никакой гарантии, что не будет получено аморфное тело.

Для того чтобы вырастить один монокристалл, недостаточно медленного охлаждения. Нужно сначала охладить один небольшой участок расплава и получить в нем «зародыш» кристалла, А затем, последовательно охлаждая расплав, окружающий «зародыш», дать возможность разрастись кристаллу по всему объему расплава. Этот процесс можно обеспечить медленным опусканием тигля с расплавом сквозь отверстие в вертикальной трубчатой печи. Кристалл зарождается на дне тигля, так как оно раньше попадает в область более низких температур, а затем постепенно разрастается по всему объему расплава. Дно тигля специально делают узким, заостренным на конус, чтобы в нем мог расположиться только один кристаллический зародыш (рис. 10).

Этот способ часто применяется для выращивания кристаллов цинка, серебра, алюминия, меди и других металлов, а также хлористого натрия, бромистого калия, фтористого лития и других солей, используемых оптической промышленностью. За сутки можно вырастить кристалл каменной соли массой порядка килограмма.

Недостатком описанного метода является загрязнение кристаллов материалом тигля.

Этого недостатка лишен бестигельный способ выращивания кристаллов из расплава, которым выращивают, например, корунд, (рубины, сапфиры). Тончайший порошок окиси алюминия из зерен размером 2—100 *мкм* высыпается тонкой струёй из бункера, проходит через кислородно-водородное пламя, плавится и в виде капель попадает на стержень из тугоплавкого материала. Температура стержня поддерживается несколько ниже температуры плавления окиси алюминия (2030°С). Капли окиси алюминия охлаждаются на нем и образуют корку спекшейся массы корунда. Часовой механизм медленно (10—20 *мм1ч)* опускает стержень, и на нем постепенно вырастает не ограненный кристалл корунда, по форме напоминающий перевернутую грушу, так называемая буля (рис. 11).

Как и в природе, получение кристаллов из раствора сводится к двум способам. Первый из них состоит в медленном испарении растворителя из насыщенного раствора, а второй — в медленном понижении температуры раствора. Чаще применяют второй способ. В качестве растворителей используют воду, спирты, кислоты, расплавленные соли и металлы. Недостатком методов выращивания кристаллов из раствора является возможность загрязнения кристаллов частицами растворителя.

Кристалл растет из тех участков пересыщенного раствора, которые его непосредственно окружают. В результате этого вблизи кристалла раствор оказывается менее пересыщенным, чем вдали от него. Так как пересыщенный раствор тяжелее насыщенного, то над поверхностью растущего кристалла всегда имеется направленный вверх поток «использованного» раствора. Без такого перемешивания раствора рост кристаллов быстро бы прекратился. Поэтому часто дополнительно перемешивают раствор или закрепляют кристалл на вращающемся держателе (рис. 12). Это позволяет выращивать более совершенные кристаллы.

Чем меньше скорость роста, тем лучше получаются кристаллы. Это правило справедливо для всех методов выращивания. Кристаллы сахара и поваренной соли легко получить из водного раствора в домашних условиях. Но, к сожалению, не все кристаллы можно вырастить так просто. Например, получение кристаллов кварца из раствора происходит при температуре 400°С и давлении 1000 *ат.*

Применения кристаллов в науке и технике так многочисленны и разнообразны, что их трудно перечислить. Поэтому ограничимся несколькими примерами.

Самый твердый и самый редкий из природных минералов — алмаз. За всю историю человечества его добыто всего около 150 *т*, хотя в мировой алмазодобывающей промышленности сейчас работает почти миллион человек. Сегодня алмаз в первую очередь камень-работник, а не камень-украшение. Около 80% всех добываемых природных алмазов и все искусственные алмазы используются в промышленности. Роль алмазов в современной технике так велика, что, по подсчетам американских экономистов, прекращение применения алмазов привело бы к уменьшению мощности промышленности США вдвое.

Примерно 80% применяемых в технике алмазов идет на заточку инструментов и резцов "сверхтвердых сплавов". Алмазы служат опорными камнями (подшипниками) в хронометрах высшего класса для морских судов и в других особо точных навигационных приборах. На алмазных подшипниках не обнаруживается никаких следов износа даже после 25 000 000 оборотов.

Несколько уступая алмазу по твердости, соревнуется с ним но разнообразию технических применении рубин — благородный корунд, окись алюминия Al2O3 с красящей примесью окиси хрома. Мировое производство искусственных рубинов превышает 100 *г*. в год. Из 1 *кг* синтетического рубина удается изготовить около 40 000 опорных камней для часов. Незаменимыми оказались рубиновые стержни на фабриках по изготовлению тканей из химического волокна. На изготовление 1 *м* ткани из искусственного волокна требуется израсходовать сотни тысяч метров волокна. Нитеводители из самого твердого стекла изнашиваются за несколько дней при протяжке через них искусственного волокна, агатовые способны работать до двух месяцев, рубиновые нитеводители оказываются практически вечными.

Новая область для широкого применения рубинов в научных исследованиях и в технике открылась с изобретением рубинового лазера — прибора, в котором рубиновый стержень служит мощным источником света, испускаемою в виде тонкого светового луча.

Исключительная роль выпала на долю кристаллов в современной электронике. Большинство полупроводниковых электронных приборов изготовлено из кристаллов германия или кремния.

### Как получаются драгоценные камни в природе

### и как получают их искусственно

В начале было уже сказано о том, какие природные геологические процессы существуют. Большинство драгоценных камней образуется в результате процессов, требующих высоких температур и давлений.

Для того чтобы минерал образовал хороший кристалл, ему необходимы условия для роста, т. е. свободное пространство. Обычно горные породы являются очень плотными, и минералы, которые в них образуются, имеют неправильные формы. Прозрачные и почти идеальные по форме кристаллы самоцветов образуются в полостях трещин и других пустотах. В камерах и занорышах пeгмaтитoв растут кристаллы топазов, изумрудов, турмалинов, в полостях кварцевых жил — кристаллы аметиста, горного хрусталя и т. д. При экзогенных процессах, когда происходит разрушение и выветривание пород, драгоценные камни, как более устойчивые, охраняются и накапливаются в коре выветривания и россыпях. Тем самым они становятся более доступными для добычи, потому что гораздо легче доставать минералы из рыхлых пород, чем из твердых.

При искусственном выращивании кристаллов в аппаратах создаются те же физико-химические условия, которые характерны для природных процессов. Даже некоторые термины, которые издавна используются геологами и минералогами, нашли применение в техническом языке, например термин «гидротермальные условия».

Монокристаллы ряда элементов и многих химических веществ обладают замечательными механическими, электрическими, магнитными и оптическими свойствами. Так, например, алмаз тверже любого другого минерала, встречающегося на Земле. Кристаллы кварца и слюды обладают рядом электрических свойств, обеспечивающих им широкое применение в технике. Кристаллы флюорита, турмалина, исландского шпата, рубина и многие другие находят применение при изготовлении оптических приборов.

К сожалению, в природе монокристаллы большинства веществ без трещин, загрязнений и других дефектов встречаются редко. Это привело к тому, что многие кристаллы на протяжении тысячелетий люди называют драгоценными камнями. Алмаз, рубин, сапфир, аметист и другие драгоценные камни долгое время ценились людьми очень высоко в основном не за особые механические или другие физические свойства, а лишь из-за своей редкости. Развитие науки и техники привело к тому, что многие драгоценные камни или просто редко встречающиеся в природе кристаллы стали очень нужными для изготовления деталей приборов. Потребность во многих кристаллах возросла настолько, что удовлетворить ее за счет расширения масштабов выработки старых и поисков новых природных месторождений оказалось невозможно.

Кроме того, для многих отраслей техники и особенно для выполнения научных исследований все чаще требуются монокристаллы очень высокой химической чистоты с совершенной кристаллической структурой. Кристаллы, встречающиеся в природе, этим требованиям не удовлетворяют, так как они растут в условиях, весьма далеких от идеальных.

Таким образом, возникла задача разработки технологии искусственного изготовления монокристаллов.

Первые попытки искусственно получить замечательные минералы человек предпринимал с давних пор. Еще в средние века алхимики с помощью философского камня пытались превратить простые вещества в драгоценные камни. Но все это были попытки с негодными средствами, потому что алхимики совершенно не представляли законов строения вещества. Успех пришел лишь тогда, когда был в достаточной мере познан процесс минералообразования. В настоящее время существует целый ряд способов выращивания кристаллов. Исходное вещество может быть твердым, растворенным или расплавленным, даже может находиться в газообразном состоянии. Из более чем 3000 минералов, существующих в природе, искусственно удалось получить уже несколько сот. Трудности синтеза связаны с необходимостью очень точного соблюдения режима выращивания кристаллов.

Но даже искусственно выращенные кристаллы часто имеют дефекты. Сейчас производятся опыты по выращиванию кристаллов в космосе в условиях невесомости. Первые опыты, проведенные на палубе космического корабля «Салют», показали, что это направление является весьма перспективным.

Из всех замечательных минералов наиболее высокие температуры и давления необходимы для образования алмазов. В природе их находят в так называемых кимбёрлитовых трубках, которые образуются в результате взрыва газов на глубинах свыше 50 км. Кимберлит представляет собой ультраосновную породу, получившую название по руднику Кимберли в Южной Африке. Температура на этих глубинах составляет 1000—1100°С, а давление превышает несколько десятков атмосфер. Но и таких высоких давлений оказывается недостаточно. Как показывает синтез искусственных алмазов, для их образования необходимы поистине чудовищные давления в десятки тысяч атмосфер. Только в таких условиях углерод, хорошо известный нам по графиту, из которого делают карандаши, может перейти в гексагональную модификацию и дать вместо черной массы прозрачные кристаллы. Как же достигаются такие сверхвысокие давления в глубинах Земли? Предполагают, например, что это осуществляется за счет механизма кавитации локального повышения давления в результате взрыва газовых пузырьков. Полуразрушенный материал кимберлитов при взрыве с большой силой устремляется к поверхности Земли по тектоническим трещинам. Вместе с алмазами в кимберлитах находят скопления ювелирного граната — пиропа фиолетово-красного и оранжево-красного цвета, а также хризолита. Однако хризолит ювелирного качества, как менее устойчивый минерал, сохраняется лишь в свежих невыветренных породах.

Первые алмазоносные трубки взрыва были открыты в 1870 г. в Южной Африке. В последние десятилетия алмазные трубки открыты у нас в Якутии. Алмазы добываются также из россыпей, образовавшихся в результате размыва коренных месторождений.

Около ста лет назад люди впервые попытались получить синтетический алмаз. Первая удача пришла к англичанину Ганнею в 1889 г. Он получил мелкие кристаллики алмаза в порах чугуна, где нaxoдилиcь костное масло, литий и углерод. Раскаленный чугун подвергался резкому охлаждению. Эти первые искусственные алмазы хранятся в Британском музее. Получить новые кристаллы таким способом уже никому не удалось, хотя попыток было сделано немало. Получение алмазов из простого угля казалось в то время совершенно фантастическим. Помните одного из героев рассказа Герберта Уэллса? Он наполнял стальной цилиндр графитовой смесью и взрывчаткой и нагревал его в топке. Затем два года заставлял остывать, чтобы кристаллы алмазов достигли значительного размера. Как пишет Г. Уэллс: «Я решил дать остывать моей аппаратуре два года, чтобы температура снижалась постепенно. Под конец я перестал поддерживать огонь. Я извлек цилиндр и вскрыл его, он был еще так горяч, что обжигал мне руки, выскреб стамеской хрупкую лавообразную массу и размельчил ее молотком нa чугунной плите. Я обнаружил три крупных и пять мелких алмазов». Разумеется, этот способ получения алмазов совершенно фантастический, и алмазы таким путем получить нельзя.

И только в середине XX в. фантастика стала реальностью. В 1955 г. была разработана специальная аппаратура, создающая давление в десятки и сотни тысяч атмосфер при температурах 1200—1500°С. В 1960 г. на июльском пленуме ЦК КПСС было объявлено о получении синтетического алмаза в СССР. Советский искусственный алмаз марки САМ (синтетический алмаз монокристальный) с 1965 г. выпускается в промышленных количествах. Алмазы получают из порошка графита, смешанного с никелем. Смесь прессуется в виде небольших дисков размером до 2—3 см, которые затем нагреваются до температуры 2000—3000°С при давлении до 10\* 109 Па. В таких поистине невероятных условиях графит превращается в алмаз. Разумеется, прежде чем строить такие сложные установки, процесс перехода графита в алмаз был изучен теоретически. Исходя из термодинамических свойств того и другого минерала, была рассчитана теоретическая кривая перехода графит — алмаз.

Получаемые кристаллы имеют кубическую или октаэдрическую форму. По твердости они даже превосходят естественный алмаз. Производство искусственных алмазов в настоящее время практически целиком направлено для нужд буровой техники и абразивной промышленности. Ювелирные кристаллы алмазов пока получены в незначительном количестве.

Был даже сконструирован специальный робот, который вырабатывает алмазы.

На железную ладонь робота кладут сырье — графит. Робот вкладывает графит в свою «грудь»—печь, в которой графит нагревается до высоких температур при больших давлениях. В конце концов опять же на ладонь робота выпадает кристалл синтетического алмаза в форме небольшого шарика.

Способы искусственного получения ювелирных алмазов в условиях высоких давлений сейчас технически освоены, но экономически нерентабельны из-за низкой скорости процесса. Наиболее перспективным в настоящее время, считается метод выращивания алмазов при совместном отложении графита и алмаза при температурах 1000—1200°С из углесодержащего газа (CHi иди CSi). Затем графит сжигается в водородной среде при давлении 5 • 105— 20 • 105 Па и получается чистый алмаз.

Обратимся теперь к другой группе драгоценных камней — рубинам и сапфирам. Эти замечательные минералы, представляют собой оксид алюминия (глинозем), в природе встречаются в различных магматогённых и метаморфических породах. Глинозем входит в состав многих минералов горных пород, и для того, чтобы он выделился в свободном виде, как самостоятельный минерал, порода должна быть богата алюминием. Чтобы вместо обычного корунда, имеющего тот же химический состав, выделялись благородные рубин и сапфир, необходимы благоприятные условия для роста кристаллов и содержание в породе определенных химических элементов. Поэтому природные месторождения драгоценных рубинов и сапфиров очень редки. Наиболее известны месторождения в Индии и Шри Ланка.

Извлекать кристаллы из плотных метаморфических или магматических пород очень сложно, поэтому основное значение для добычи рубина и сапфира имеют остаточные и россыпные месторождения.

Искусственный рубин был впервые получен в начале нашего века в небольшой лаборатории в окрестностях Парижа. Выдающийся советский минералог А. Е. Ферсман так описывал эту лабораторию в 1936 г. «В тихой улице захолустного городка около Парижа маленькая грязненькая лаборатория. В тесном помещении среди паров и накаленной атмосферы на столах несколько цилиндрических приборов с синими окошечками. Через них химик следит за тем, что делается в печи, регулирует пламя, приток газа, количество выдуваемого белого порошка. Через короткий промежуток 5-6 ч он останавливает печь и с тоненького красного стерженька снимает красную прозрачную грушу,..». Этот способ получения искусственного рубина известен под названием «метод профессора Вернейля». Порошок оксида алюминия непрерывно поступает в зону печи, где происходит горение водорода в кислороде. При создавшейся высокой температуре порошок плавится. Капли расплавленной массы падают вниз и попадают на маленький кристаллик рубина, который помещается здесь в качестве затравки. На затравке кристаллизуется прозрачная «булька» — грушевидный монокристалл рубина, который постепенно растет вверх. В России в настоящее время работают аппараты системы Попова, которые позволяют получать синтетические монокристаллы рубина в виде стержней диаметров 2—4 см и длиной до 2 м. Самым новым методом получения искусственных рубина и сапфира является метод диффузионной плавки постепенно вытесняющий метод Вернейля.

Красная окраска искусственного рубина получается за счет добавки оксида хрома. При добавлении к порошку глинозема других веществ получают синюю окраску сапфира или оранжевые, желтые, зеленые, розовые, фиолетовые окраски, которых в природе нет. Искусственные рубины и сапфиры чище, прозрачнее и дешевле природных. Они широко применяются для изготовления ювелирных изделий.

Целая группа драгоценных камней (топаз, аквамарин, изумруд, турмалин, аметист, горный хрусталь и др.) в природных условиях связана с пегматитовыми и гидротермальными образованиями. Рост кристаллов в таких условиях происходит в пустотах горных пород. Размеры этих пустот могут достигать несколько десятков кубических метров, хотя обычно их объемы не превышают нескольких кубических дециметров. Пустоты образуются под воздействием самых разнообразных геологических причин и в минералогии имеют различные названия: камеры, заморыши, жеоды, миндалины и т. д. Кристаллы в этих пустотах омываются, горячими гидротермальными растворами, содержащими различные вещества. Обычно в таких пустотах растут не единичные кристаллы, а целые их семейства, которые называются друзами. Расскажем, к примеру, как образуются в природе изумруды, которые пока еще не были получены искусственно. Месторождения изумрудов обычно связаны с пегматитами, где ювелирные кристаллы формируются в камерах. Известны также месторождения изумрудов в метаморфических породах, переработанных бериллиеносными растворами. Поскольку благородная темно-зеленая окраска изумруда объясняется присутствием в минерале хрома, необходимо, чтобы этот элемент содержался в породе в значительных количествах. Иначе вместо изумруда образуется обыкновенный берилл. Поэтому месторождения изумрудов чаще всего залегают среди ультраосновных пород, богатых хромом, железом, магнием и другими элементами. Примером таких месторождений могут служить знаменитые копи Урала. Известные месторождения изумруда в Колумбии образовались при низких температурах не более 100 – 1800 С в результате просачивания минералообразующих растворов через известняк и отложения изумрудов в полостях, образовавшихся при растворении известняков горячими растворами.

Из этой группы замечательных минералов наиболее, освоено искусственное получение горного хрусталя. Сейчас в нашей стране практически все виды аппаратуры, использующие горный хрусталь (кварц), работают на синтетических кристаллах. Искусственные кристаллы горного хрусталя получают в гидротермальных условиях. Это слово «гидротермальные» мы употребляли при описании природных условий образования минералов. Оно используется и в технике для обозначения условий получения кристаллов из «горячей воды». Кристаллы выращивают в специальных трубах — автоклавах высотой несколько метров. Автоклавы изготовляют из нержавеющей высоколегированной стали и покрывают изнутри серебром. Это делается для того, чтобы на трубе не образовалась ржавчина, которая при попадании в растущий кристалл кварца может вызвать различные нежелательные дефекты монокристалла. В нижней части трубы размещается кварцевый песок, через который просачивается вода с добавками щелочей. Процесс происходит при температуре несколько сот градусов и высоком давлении. В этих условиях кремнезем растворяется в воде, насыщенный раствор кремнезема в воде омывает маленький затравочный кристалл кварца, помещенный в верхней части автоклава. Кристалл растет в автоклаве несколько месяцев, а особо чистые кристаллы растут несколько лет. Требования технологии очень высоки: температурный режим, например, нe может изменяться даже на доли градуса в течение всего роста кристалла. В таких условиях выращивают кристаллы горного хрусталя массой до 15 кг.

Создавая прибор для выращивания искусственного хрусталя, человек в значительной степени использовал знания, полученные при изучении природных условий образования минерала, и эти природные условия искусственно воссоздал в автоклаве.

А вот другая группа оксида кремния (IV) — благородные опалы и агаты, которые отличаются от обычного кварца значительным содержанием воды. Эти некристаллические колломорфные минералы формируются совсем в других условиях. В природе они образуются из кремнистого геля, который отлагается в пустотах лав — застывшей массы, которая образуется при извержениях вулканов. Эти породы называются вулканическими, или эффузивными. Выпадение кремнезема в порах и пустотах вулканических пород связано с понижением температуры кремнистого геля до 100 —1500 С. Месторождения благородного опала встречаются также в древних корах выветривания. Предполагают, что в результате испарения грунтовых вод под действием сухого климата происходило увеличивание концентрации кремнезема и выпадения его почти на поверхности Земли. К этому типу относятся основные месторождения благородного опала в Австралии.

Еще совсем недавно, мы ничего не знали об искусственном опале. Но вот пришло сообщение, что французский химик Гилсон синтезировал и выпустил на международный рынок белые и черные драгоценные синтетические опалы, которые обладают всеми внешними признаками, свойственными природным благородным опалам и, в первую очередь, ирризацией. Даже специалисты по драгоценным камням затрудняются отличать полученные синтетические опалы oт природных. Технология производства искусственных опалов пока остается тайной изобретателя.

Список драгоценных камней, которые получают искусственно, все время растет.

Российские ученые разгадали еще один секрет природы – получение аметиста – горного хрусталя густо фиолетового цвета. Аметисты выращивают так же, как и кристаллы кварца. Затем кристаллы облучают γ-лучами в реакторах. Под воздействием облучения в кристалле возникают разные дефекты, которые и обуславливают его фиолетовый цвет. В данном случае окраска аметиста не обусловлена примесью каких либо других элементов, а имеет другие причины.

Можно не сомневаться, что пройдет еще несколько лет, и любые кристаллы драгоценных камней и других замечательных минералов могут быть получены искусственным путем.

Мы рассмотрели естественные и искусственные условия образования драгоценных камней. Однако существует еще одна группа минералов о которых мы не можем сказать ни слова: они не существуют в природе. Это минералы созданные человеком в лабораторных условиях. Несколько лет назад в ювелирных магазинах появились изделия с прекрасными прозрачными камнями различного цвета. По красоте они не уступают бриллиантам. Эти искусственные камни были названы фианитами в честь места их рождения Физического института Академии наук имени П.Н. Лебедева (ФИАН). По составу феаниты представляют собой смесь оксидов циркония и гафния. Фианиты изготовляются для различных отраслей народного хозяйства: оптики, электроники, производства лазеров, ювелирных изделий. Другой известный искусственный минерал, широко используемый в ювелирном деле, - гранатит – алюминиево-иттриевый гранат. Новые минералы окрашивают в различные цвета с помощью хромофор, и они великолепно имитируют драгоценные камни.

Круг искусственных драгоценных камней, применяемых в ювелирном деле (гемологии), постоянно расширяется. Современная гемология использует многочисленные синтетические минералы: изумруды, шпинели, гранаты, рубины, сапфиры, имитацию жада и многие другие.

Многие века и даже тысячелетия употреблялись замечательные минералы в качестве украшений, и люди даже не подозревали, какие огромные скрытые возможности таятся, к примеру, в бриллиантовом колье на шее у светской дамы или в рубиновом перстне на пальце вельможи. Но шли годы, бурное развитие науки и техники вовлекало в сферу производства все новые и новые материалы, и многие из тех свойств, которые определили драгоценность минералов, оказались совершенно необходимыми в технике. Выяснилось, например, что с помощью рубинового лазера можно с большой точностью измерить расстояние от Земли до Луны. Самый ценный камень — алмаз — в настоящее время является больше техническим камнем, чем камнем красоты. Алмазы используют для шлифовки, резки, с помощью специальных приспособлений — буровых коронок, усаженных алмазами, сверлят Землю в поисках полезных ископаемых. Образно говоря, прошли времена алмазных корон — настали времена алмазных коронок. Электротехника, оптика, радиотехника, военное дело, точная механика и многие другие отрасли народного хозяйства претендуют на драгоценные камни вовсе не из-за их красоты, а именно из-за их эамечательных свойств.

Использование минералов для технических целей началось уже давно, может быть раньше, чем их применение в качестве украшений. Когда первобытный человек взял в руку обломок нефрита и стал рубить им дерево — это и было первое техническое применение камня. Позже человек усовершенствовал свой инструмент: привязав обломок нефрита к палке, он получил каменный топор. Разумеется, современнее применение минералов в технике намного сложнее.

Какие же свойства определили широкое применение минералов в современной технике?

Твердость. Твердость минералов — это комплексное физическое свойство, зависящее от внутренней структуры, значений межатомных расстояний, валентности ионов и атомов, слагающих минерал, и т. д. В практической минералогии для определения твердости пользуются произвольной нелинейной шкалой Мооса. Все минералы по этой шкале делятся на десять групп с твердостью от 1 до 10. Более точные количественные значения твердости определяют с помощью специальных приборов — склерометров. Алмазную или стальную пирамидку вдавливают в пришлифованную поверхность минерала, а затем изменяют длину диагонали образовавшейся ямки. Затем эти значения рассчитываются а килограммах на 1 мм.

Первым в ряду стоит алмаз, имеющий максимальную твердость, равную 10. Недаром его название произошло от греческого слова адамас, что означает «непобедимый». Такая «непобедимость» алмаза определила его широкое применение для изготовления режущих инструментов. Самым простым из них является известный всем стеклорез. Это наиболее древнее техническое применение алмаза, которое мы знаем. Алмазы употребляют в металлообрабатывающей промышленности для изготовления пил; резцов, приготовления полировальной пасты, используют для конструирования алмазных коронок, обеспечивающих высокопроизводительное бурение горных пород и т. д.

Подсчитано, что мировая потребность в алмазах составила к 1975 г. более 20 т, и это для минерала, масса кристаллов которого измеряется в каратах (0,02 г). Американские специалисты писали, что если изъять из употребления в США алмазные инструменты, то промышленный потенциал этой страны снизится вдвое.

Разумеется, в технике применяются не ювелирные алмазы, а тем более не бриллианты. В дело идут рядовые алмазы — крошка, «борт», а также черная разновидность алмазов — «карбонадо». С каждым годом растет потребление искусственных алмазов, поскольку природные месторождения не удовлетворяют сейчас и половины запросов промышленности.

С алмазом по твердости соперничает рубин, имеющий твердость 9 по шкале Мооса, или 2000 кг/мм. Этот минерал является прекрасным абразивом. Хорошо известны твердые абразивные шлифовальные круги, порошки, пасты. В производстве используются не ювелирные рубины и сапфиры, а невзрачный корунд. В настоящее время широко применяется искусственный корунд — электрокорунд, или алунд, получаемый путем электроплавки высококачественных алюминиевых руд — бокситов.

Всем хорошо известно выражение «часы на 17 (или на 23) камнях». Эти камни в часах есть не что иное, как вкладыши из рубина, в которых вращаются оси шестеренок. Вы можете увидеть эти красноватые рубины, открыв крышку часов. Качество ручных или карманных часов зависит, в частности, от того, сколько шестеренок вращается на рубиновых подшипниках. Рубиновые камни определяют долговечность часов.

Еще один «замечательный минерал», или точнее минералы, используется в абразивной промышленности — гранат. Эта группа минералов содержит много разновидностей. В качестве абразива обычно применяют железистый гранат -—альмандин. Твердость этого минерала по шкале Мооса равна 7, а количественно составляет 11ОО кг/мм2. Из гранатов изготовляют шлифовальные порошки, точильные круги, шкурки. Иногда они заменяют в приборостроении рубин.

Список замечательных минералов, используемых из-за их твердости в промышленности, можно было продолжить. Но уже из того, что мы перечислили, можно понять, что твердость, являющаяся необходимым свойством драгоценных камней и определяющая их долгую жизнь в качестве украшений — качество, необходимое и для промышленных целей.

Пьезоэлектрические и пироэлектрические свойства.

В Индии и на Цейлоне с древних времен, было известно, что кристаллы турмалина, положенные в горячую золу, сначала притягивали, а затем отталкивали частицы золы. Это явление стало известно в Европе в 1703 г., когда голландские купцы привезли кристаллы турмалина с Цейлона. Карл Линней в 1747 г. дал турмалину научное название — электрический камень (tapis elektricus). Позже это явление было названо пироэлектричеством. Оно заключается в появлении электрических напряжений на гранях кристалла при нагревании. Проявления пьезоэлектрических свойств кристаллов впервые были установлены в 1880 г. Сущность этого явления заключается в том, что если к граням таких кристаллов подвести электрическое напряжение, кристаллы деформируются: сжимаются или растягиваются. И наоборот, если сжимать или растягивать пьезокристалл, на его гранях возникают электрические напряжения. Как правило, все пироэлектрические кристаллы являются пьезо-злектриками, но не все пьезоэлектрики обладают пироэлектрическими свойствами.

Среди замечательных минералов основными пьезоэлектриками являются монокристаллы кварца и турмалина. Из многочисленных кристаллографических модификаций кварца в качестве пьезо-электрика используется чаще всего низкотемпературный а-кварц, устойчивый до температуры 573°С.

Пьезоэлектрические и пироэлектрические свойства кристаллов используются в технике уже много лет. Одно из применений пьезо-электриков известно буквально каждому. Это звукосниматели в наших проигрывателях, которые превращают механические колебания иглы на граммофонной пластинке в электрические токи, которые затем усиливаются и подаются на динамик.

На аналогичной основе пьезоэлектрические свойства кристаллов используются в ультразвуковой гидроакустике, дефектоскопии, при изучении свойств газов, жидкостей и твердых тел, для измерения давлений и вибраций, при изготовлении стабилизаторов и фильтров радиочастот. Предложено даже использовать пьезокристалл для лампы-вспышки при фотографировании. По замыслу и расчетам изобретателя при механическом ударе по кристаллу выделяется количество энергии, достаточное для вспышки электрической лампочки.

Современные технические требования к пьезокристаллам очень высоки: требуется, чтобы в кристалле был участок размером не менее 12Х12Х1,5 мм без всяких дефектов, трещинок, включений и т. д. Поскольку в природных кристаллах редко удается найти подобные участки, в технике все более и более используются искусственные кристаллы кварца и других минералов.

Оптические свойства. Из различных оптических свойств замечательных минералов в технике ценятся почти те же самые, которые определяют использование этих минералов в качестве украшений: прозрачность, двупреломление, поляризующие свойства и т. д.

Каждый из нас хорошо знает искусственное «горное солнце» — аппарат, широко применяемый в медицине. При включении этот аппарат излучает удивительный свет — ультрафиолетовый. Лампа в аппарате сделана не из обычного стекла, а из кварцевого, которое в отличие от обычного пропускает инфракрасную, а особенно ультрафиолетовую части спектра света. Эти лучи поистине являются целебными, а кроме того, придают загар человеческой коже. Применение кварцевой лампы не ограничивается только медициной. Она используется в органической химии, минералогии и других отраслях для изучения веществ в ультрафиолетовых лучах. Даже филателисты при изучении марок прибегают к помощи этой лампы: она позволяет отличать фальшивые марки от настоящих.

Кварц употребляется в технике и для других целей. Чистые бездефектные кристаллы горного хрусталя идут на изготовление призм, спектрографов, поляризующих пластинок.

Другим замечательным минералом, применяемым в оптике, является флюорит. Это чистые прозрачные бесцветные или слабо окрашенные кристаллы. Их ценными свойствами являются изотропность, незначительная дисперсия, низкий коэффициент преломления и, так же как у Горного хрусталя, высокая способность пропускать инфракрасные и ультрафиолетовые лучи. Флюорит используется для изготовления линз телескопов и микроскопов, для изготовления призм спектрографов и в других оптических приборах.

Но, пожалуй, самое большое значение имеет использование оптических свойств замечательных минералов, связанное с изобретением лазера — оптического квантового генератора. Слово «лазер» представляет собой сокращение английских слов Ughf amplification by stimulated emission of radiation — усилитель света при вызванном излучении. Принцип работы лазера достаточно сложен, для генерации электромагнитного излучения в нем используется энергия, которая возникает при переходе атомов или электронов из одного энергетического состояния в другое.

Первый лазер бал создан в 1960 г. на рубине, в котором незначительная часть ионов Al3 была замещена ионами хрома. Этот лазер излучал яркий свет с длиной волны 694,3 нм. С помощью рубинового лазера было проведено точное определение (локация) расстояния от Земли до Луны. Затраты энергии при этом не превышали энергии сгорания десятка спичек. В настоящее время применение лазеров в технике все более расширяется. Они используются для изучения физики плазмы, при хирургических операциях, в телевидении для съемок и передачи изображения, для сверления и сварки металлов и т. д. И xoтя в последнее время появились лазеры и на других веществах, например газовые или полупроводниковые лазеры, минерал рубин по-прежнему остается одним из наиболее употребительных материалов. Преимущества рубина заключаются в его выдающихся механических свойствах, о которых мы говорили раньше: в его твердости, теплотоупорности и устойчивости в сильно агрессивных условиях. Из других кристаллических веществ для лазеров используются алюминиево-иттриевые гранаты, флюорит и ряд других преимущественно искусственных, кристаллов.

Этими примерами можно было бы закончить наш короткий рассказ о применении минералов в технике. Но области применения минералов, все более расширяются, дальнейшее развитие науки продолжает выявлять в них все новые и новые свойства. Рубиновые стекла в иллюминаторах и приборах космических кораблей, световоды из горного хрусталя, позволяющие практически мгновенно передавать с помощью лазерного луча громадное количество информации, алмазы в качестве детекторов ядерных излучений — даже простое перечисление показывает, что замечательные минералы находятся на самом переднем крае науки и техники.

Рост потребления минералов не обеспечивается природными месторождениями, поэтому все более и более расширяется синтез минералов, их искусственное производство на заводах.

Лабораторная работа №1

Выращивание кристаллов

***Оборудование:*** поваренная соль, дистиллированная вода, воронка, стеклянная палочка, вата, стаканы.

Существуют два простых способа выращивания кристаллов из пересыщенного раствора: путем охлаждения насыщенного раствора или путем его выпаривания. Первым этапом при любом из двух способов является приготовление насыщенного раствора. В условиях школьного физического кабинета проще всего выращивать кристаллы алюмокалиевых квасцов.

Растворимость любых веществ зависит от температуры. Обычно с повышением температуры растворимость увеличивается, а с понижением температуры — уменьшается.

При охлаждении насыщенного при 40° С раствора до 20° С в нем будет находиться около 15 г избыточного количества квасцов на 100 г. воды. При отсутствии центров кристаллизации это вещество может оставаться в растворе, т. е. раствор будет пересыщенным.

С появлением центров кристаллизации избыток вещества выделяется из раствора, и при каждой данной температуре в растворе остается то количество вещества, которое соответствует коэффициенту растворимости при этой температуре. Избыток вещества пз раствора выпадает в виде кристаллов, число которых тем больше, чем большее число центров кристаллизации содержится в растворе. Центрами кристаллизации могут служить загрязне­ния на стенках посуды с раствором, пылинки, мелкие кристаллики квасцов. Если дать выпавшим кристалликам подрасти в течение суток, то среди них найдутся чистые и совершенные по форме экземпляры. Они могут служить затравками для выращивания крупных кристаллов.

Для выращивания крупного кристалла в тщательно отфильтрованный насыщенный раствор вносят кристаллик — затравку, заранее прикрепленный на волосе или топкой леске, предварительно обработанной спиртом.

Можно вырастить кристалл и без затравки. Для этого волос или леску обрабатывают спиртом и опускают в раствор так, что бы конец висел свободно. На конце волоса или лески может начаться рост кристалла.

Если для выращивания приготовлен крупный затравочный кристалл, то его лучше вносить в слегка подогретый раствор. Раствор, который был насыщенным при комнатной температуре, при температуре на 3—5° С выше комнатной будет ненасыщенным. Кристалл-затравка начнет растворяться в нем и потеряет при этом верхние, поврежденные и загрязненные слои. Это приведет к увеличению прозрачности будущего кристалла. Когда температура станет комнатной, раствор вновь станет насыщенным, и растворение кристалла прекратится. Если стакан с раствором прикрыть так, чтобы вода из раствора могла испаряться, то вскоре раствор станет пересыщенным и начнется рост кристалла. Во время роста кристалла стакан с раствором лучше всего держать в теплом сухом месте, где температура в течение суток остается постоянной. На выращивание крупного кристалла в зависимости от условий эксперимента может потребоваться от нескольких дней до нескольких недель.

***Порядок выполнения работы:***

1. Я тщательно вымыл 2 стакана и воронку и подержал их над паром
2. Налил 100 гр. Дистиллированной воды в стакан и нагрел ее до 300С. Приготовил насыщенный раствор соли и слил его через ватный фильтр в чистый стакан. Закрыл стакан крышкой. Подождал пока раствор остынет до комнатной температуры и открыл стакан. Через некоторое время началось выпадание кристаллов.
3. Через сутки слил раствор через ватный фильтр в чистый стакан. Среди множества кристаллов оставшихся на дне первого стакана выбрал самый чистый кристалл правильной формы. Прикрепил кристалл – затравец к нитке и подвесил его в раствор. Поставил стакан в теплое место.
4. Рост кристалла происходил в течение 61 дня. Кристалл – затравка имел вытянуто – овальную форму. После помещения затравки в раствор рост кристалла не происходил, а наоборот он растворялся, так как температура была на 3 – 90С выше комнатной и раствор стал не насыщенным, при этом он потерял верхние, поврежденные слои, что привело к увеличению прозрачности будущего кристалла. Когда температура стала комнатной, раствор вновь стал насыщенным, и растворение кристалла прекратилось. Начался рост кристалла. За счет испарения воды из раствора темп роста кристалла увеличивался.

К выступающим частям кристалла – вершинкам и ребрам – вещество поступает в большем, чем к серединам граней количестве, поэтому градиенты концентрации (пресыщения) возникают и вдоль поверхности. Пока размеры кристалла невелеки, малы и гридиенты пересыщений, кристалл обычно растет плоскогранным. Причина этого заключается в том, что слои роста имеют повышенные скорости продвижения по поверхности по сравнению со скоростью возникновения новых слоев. Однако, с увеличением кристалла градиенты пересыщений вдоль граней возрастают и кристалл растет по всей своей площади.

 В дальнейшем рост кристалла соли происходил нормально.

1. В конце срока выращивания я вынул кристалл соли из раствора, тщательно осушил салфеткой и измерил его. Кристалл соли увеличился в три раза от начальных размеров затравки. На этом выращивание кристалла соли завершено.

Выращенный кристалл имеет пирамидальную форму с небольшими отклонениями. Стороны кристалла ровные, имеют форму прямоугольников. Первоначальное ощущение – что это срослось множество квадратиков и прямоугольников, такой вид имел кристалл.

Исходя из этого я пришел к выводу, что атомы кристаллов имеют правильную геометрическую форму, и когда они сращиваются в один кристалл, тот приобретает так же правильную геометрическую форму с небольшими отклонениями.

***Вывод:*** в этой лабораторной работе я научился выращивать кристаллы поваренной соли и узнал, что этим способом можно выращивать кристаллы любых других простых веществ, а так же, что необходимо для выращивания и как происходит рост кристаллов.

Лабораторная работа №2

Изготовление прикладного гониометра

**и измерение углов между гранями кристаллов.**

**Оборудование:** две линейки, транспортир, кристаллы поваренной соли.

Для измерения углов между гранями кристаллов служит прибор называемый прикладным гониометром. Самодельный гониометр можно изготовить из двух линеек.

**Цель работы:** изготовление самодельного гониометра и измерение углов между гранями поваренной соли.

Порядок выполнения работы.

1. Я изготовил прикладной гониометр. Для этого скрепил две линейки с помощью винта и гайки.
2. Приложил кристалл к одной из линеек у точки крепления так, Чтобы грань кристалла была перпендикулярна плоскости линейки. Повернул вторую линейку так, чтобы вторая грань кристалла была перпендикулярна плоскости второй линейки. Закрепил взаимное положение линеек винтом и измерил величину угла между ними с помощью транспортира.
3. Таким же образом измерил величину угла между другими пересекающимися гранями того же кристалла, а так же между гранями других кристаллов.
4. Результаты измерений занес в отчетную таблицу.

|  |  |
| --- | --- |
| Образец | Углы между гранями |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Поваренная соль № 1 | 90 | 86 | 90 | 87 | 88 | 89 |
| Поваренная соль № 2 | 87 | 88 | 90 | 90 | 89 | 88 |

**Вывод:** в этой лабораторной работе я изготовил самодельный гониометр и измерил углы между гранями поваренной соли. Сравнив результаты всех измерений, я пришел к выводу, что кристаллы имеют примерно одинаковую форму граней (при этом не важно какую форму имеет сам кристалл). Все грани имеют одинаковые размеры углов (88 – 900), т.е. грани имеют прямые углы, что дает им правильную геометрическую форму. Один образец поваренной соли имеет форму пирамиды с небольшими отклонениями. Второй образец поваренной соли так же имеет форму пирамиды с небольшими отклонениями.