

А.В. Шубников

Кварц и его применение

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 55
ББК 26.3
А11

А11 **А.В. Шубников**
Кварц и его применение / А.В. Шубников – М.: Книга по Требованию, 2024. – 194 с.

ISBN 978-5-458-48582-1

ISBN 978-5-458-48582-1

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

КВАРЦ КАК ОДНА ИЗ МОДИФИКАЦИЙ КРЕМНЕЗЕМА

Химический состав кремнезема

По химическому составу кремнезем представляет собою двуокись кремния (силиция) SiO_2 с молекулярным весом 60.06 и следующим весовым содержанием входящих в него элементов: Si — 46.72%, O — 53.28%.

Приведенный процентный состав кремнезема исчислен из средних атомных весов кремния и кислорода: ат. вес Si = 28.06, ат. вес O = 16.00. В настоящее время известны три изотопа кремния и три изотопа кислорода с атомными весами, указанными в следующей табличке

Si	28	29	30
O	16	17	18

Предельные теоретические колебания весового состава SiO_2 в зависимости от вхождения в формулу тех или иных изотопов имеют следующие значения

	%	
	от	до
Si	48.39	43.75
O ₂	51.61	56.25

Распространенность кремнезема в земной коре

По имеющимся в настоящее время данным можно предполагать, что земная кора на 75% состоит из кислорода (49%) и кремния (26%). Кремний входит либо в состав минералов группы кварца, в том числе и в сам кварц, либо в состав большого класса кремневых минералов — силикатов. Кварц встречается в природе как в магматических породах (например, в гранитах), так и в метаморфических породах (например, в гнейсах, сланцах, кварцитах), а также в осадочных породах (например, в песках) и является одним из самых распространенных породообразующих минералов на земной поверхности. Обычная форма кварца — мелкие неправильные зерна. Большие хорошо развитые однородные кристаллы встречаются сравнительно редко и требуют для своего образования специфического сочетания благоприятных условий.

Полиморфные модификации кремнезема

В настоящее время известны следующие модификации кремнезема:

1) Обыкновенный кварц или β -кварц. Большие прозрачные кристаллы этой модификации кремнезема носят название горного хрусталя; описание их свойств и применений составляет главную задачу настоящей книги. Обыкновенный кварц устойчив при нормальном давлении в области ниже температуры 573°C. Вопрос о нижней границе остается открытым.

2) При нагревании выше 573° обыкновенный кварц переходит в α -кварц. Область устойчивости его лежит между 573 и 870°.

3) В интервале температур 870—1470° устойчивой является третья модификация кремнезема—тридимит.

4) Наконец, между температурами 1470 и 1710° устойчивой модификацией кремнезема является кристобалит.

5) Выше 1710° кремнезем плавится. Расплавленный кремнезем может быть переохлажден без заметной кристаллизации до компактной температуры. Такой кварц носит название плавленного, аморфного кварца или кварцевого стекла. Сказанное может быть сведено в табл. 1.

Таблица 1

Устойчивые модификации кремнезема

Температурный интервал устойчивости, °С	Модификация кремнезема
до 573	β-кварц
573 — 870	α-кварц
870 — 1470	α-тридимит
1470 — 1710	α-кристобалит
Выше 1710	Жидкий кремнезем

Кроме перечисленных пяти модификаций, четырех кристаллических и одной аморфной, имеющих определенную температурную область устойчивости при нормальном давлении, существуют две неустойчивые модификации тридимита (β, γ) и одна неустойчивая модификация кристобалита (β), которыми мы ближе заниматься не будем.

Наиболее вероятная схема (рис. 1) взаимных превращений различных модификаций чистого кремнезема дана ниже; в присутствии примесей (минерализаторов) порядок перекристаллизации может быть иным.

Экспериментально установленным фактам взаимного превращения полиморфных модификаций кремнезема отвечает воображаемая фазовая диаграмма, показанная на рис. 2.

По горизонтальной оси диаграммы отложены температуры (без строгого соблюдения масштаба); по вертикальной оси отложены предположительно давления насыщенного пара кремнезема (весьма малые величины, которые никем не были измерены). Нагреванию β-кварца отвечает движение по кривой 0—1. В точке 1 происходит обязательное превращение β-кварца в α-кварц, так как кривая 0—1 имеет в точке 1 перелом и не имеет плавного продолжения. Дальнейшему нагреванию α-кварца отвечает движение по кривой 1—2. В точке 2 α-кварц либо превращается в α-тридимит, и тогда

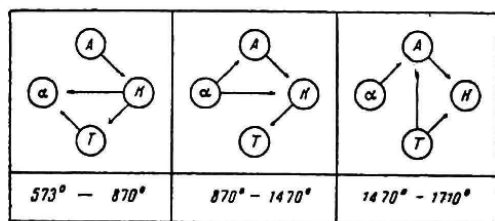


Рис. 1. Схема взаимных превращений различных модификаций кремнезема. А — аморфный кремнезем, К — кристобалит, Т — тридимит, α — α-кварц

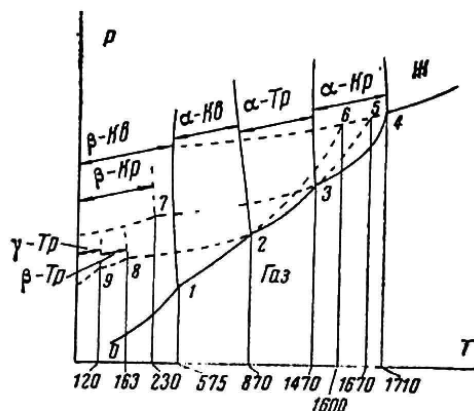


Рис. 2. Принципиальная схема фазовых превращений и равновесий различных модификаций кремнезема

последующему нагреванию отвечает движение по кривой 2—3, либо остается в неустойчивом состоянии α-кварца, и тогда продолжающемуся нагреванию отвечает движение по кривой 2—6. В точке 6 α-кварц плавится; в точке 3 α-тридимит либо переходит в α-кристобалит, либо сохраняется в неустойчивом состоянии. Неустойчивый α-тридимит плавится в точке 5; α-кристобалит при продолжающемся нагревании плавится в точке 4. При охлаждении расплава в точке 4 либо произойдет кристаллизация α-кристобалита,

либо расплав останется в переохлажденном состоянии. При дальнейшем охлаждении расплава в точке 5 либо образуется α -тридимит, либо расплав опять будет сохраняться в переохлажденном состоянии, постепенно загустевая в аморфную массу (плавленый кварц, кварцевое стекло). При последующем охлаждении расплава в точке 6 либо образуются кристаллы α -кварца, либо расплав опять останется в переохлажденном состоянии. Как показывают разобранные примеры, пунктирные кривые отвечают неустойчивым фазам. В точке 7 неустойчивый α -кристобалит при охлаждении переходит в неустойчивый β -кристобалит. В точке 8 неустойчивый α -тридимит при охлаждении переходит в неустойчивый β -тридимит. В точке 9 неустойчивый β -тридимит переходит в неустойчивый γ -тридимит. Недавно Штейнвером были обнаружены еще две модификации кварца в четырехградусном интервале между α - и β -модификациями.

Разновидности β -кварца

Пригодный для изделий кварц находят в природе в форме горного хрусталя, дымчатого кварца (раухтопаза), мориона, цитрина, аметиста, розового кварца, кварцита, агата, яшмы и других разновидностей.

Горный хрусталь или бесцветный кварц встречается или в виде хорошо развитых кристаллических многогранников (рис. 3), или в форме галек (рис. 4), образовавшихся в результате естественной шлифовки кристаллов при перемещениях их водой в руслах рек или аналогичных условиях. Кристаллы горного хрусталя достигают иногда размеров до одного метра; однако слишком большие кристаллы вследствие своей неоднородности часто оказываются мало пригодными для точных технических изделий и препаратов и могут иметь значение только для грубых декоративных работ (рис. 5).

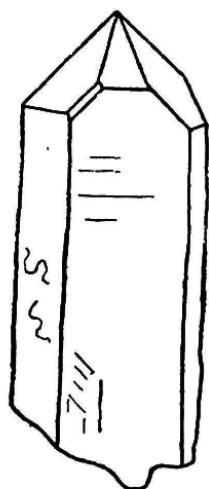


Рис. 3. Кристалл кварца естественной формы

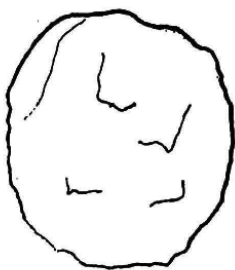


Рис. 4. Галька кварца

Дымчатый кварц отличается от горного хрусталя своей окраской. Густота окраски обычно увеличивается от основания кристалла к его «головке», тогда как трещиноватость, включения и другие пороки дымчатого кварца убывают от основания к головке. В достаточно тонком слое дымчатый кварц без трещин и включений кажется в про-

ходящем белом свете окрашенным в бурый цвет. Эта окраска совершенно пропадает в результате осторожного нагревания дымчатого кварца в электрической печи примерно до 350° . После обесцвечивания дымчатый кварц становится столь же прозрачным для видимых лучей света, как и горный хрусталь. Отсюда следует, что окраска кварца во многих случаях не может считаться пороком и во всяком случае не может идти в сравнение с механическими включениями; в одном же куске кварца, наоборот, более интенсивная окраска служит признаком большей однородности материала.

Морион отличается от дымчатого кварца еще большей интенсивностью окраски. В изломе он имеет смоляночерную окраску; все же пластинки мориона, даже толщиной в 10—15 мм, просвечивают бурой окраской при рассматривании в проходящем свете от дуговой лампы или сильной лампы накаливания. Блеск и глубокая чернота излома служат одним из внешних признаков достоинства материала.

Цитрином называют прозрачный кварц лимонножелтой окраски. Такая окраска встречается в естественных образцах цитрина или обра-

зуется в результате искусственного неполного обесцвечивания дымчатого кварца и аметиста.

А м е т и с т представляет собой кварц, обладающий естественной фиолетовой окраской. Как и в случае дымчатого кварца, густота окраски и однородность кристалла увеличиваются от основания кристалла к его головке.



Рис. 5. Большие (20—25 см) неоднородные кристаллы дымчатого кварца

Р о з о в ы й к в а р ц отличается от всех перечисленных разновидностей кварца не только своей розовой окраской, но и особым характером распределения в нем мельчайших включений. Повидимому, мы имеем в данном случае тончайшие волокна другого минерала, расположенные параллельно плоскости базиса в трех пересекающихся под углом в 120° направлениях. Эти включения делают кварц полупрозрачным и являются причиной астеризма (явление звезды), наблюдаемого при рассматривании через пластинку розового кварца удаленного (или точечного) источника света (рис. 6). Розовый кварц встречается обычно не в индивидуальных кристаллах, а в плотных крупнозернистых агрегатах, из которых иногда удается выделить одно-

кристалльные куски размером в несколько кубических сантиметров.

К в а р ц и т—это плотный полупрозрачный агрегат мелких кристаллов кварца неправильной формы. В зависимости от крупности зерна и окраски кварцит может быть использован как точильный или поделочный камень.

А г а т представляет собою агрегат тончайших параллельно ориентирован-

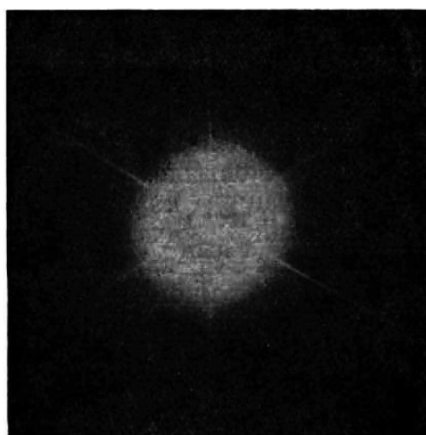


Рис. 6. Астеризм розового кварца



Рис. 7. Агат в разрезе

ных скрученных волокон кварца. Агат полупрозрачен, тверд и часто бывает достаточно однороден по своей структуре в объемах, измеряемых десятками кубических сантиметров. Во многих случаях является незаменимым для изготовления деталей к точным приборам. Красивая окраска.

агата, которую можно изменять искусственными приемами, делает агат особенно пригодным для художественных изделий (рис. 7).

Яшма состоит из чрезвычайно мелких зерен кварца с большим количеством разнообразных примесей. В отличие от агата яшма совершенно непрозрачна даже в тонких слоях порядка 1 мм. Красивая и разнообразная окраска яшмы в соединении с большой твердостью и механической прочностью, а также способность яшмы принимать полировку обуславливают широкое применение яшмы как поделочного и облицовочного камня.

Условия образования горного хрусталя в природе

Выделение вещества в той или иной кристаллической модификации зависит прежде всего от термодинамических условий — температуры, давления и концентраций различных веществ, входящих в расплав или раствор, из которого исследуемое вещество выкристаллизовывается. Величина выделяющихся кристаллов, их габитус, чистота зависят также и от других факторов: 1) скорости кристаллизации, 2) наличия в жидкой фазе механических примесей, 3) ее вязкости, 4) расположения кристалла и т. д.

Большие однородные кристаллы горного хрусталя образуются в природе в трещинах и пустотах («погребах»), в которые проникают растворы, содержащие кремнезем, выщелачиваемый из окружающих силикатовых пород (гранитов, гнейсов, сланцев и т. д.). Химический состав этих растворов, очевидно, может варьировать в известных пределах в зависимости от состава пород. Наиболее благоприятной температурой для образования хороших кристаллов горного хрусталя считают 300—400°, что отвечает давлению не меньше чем в 200—250 атмосфер. Напомним, что для чистой воды критическая температура равна 374°, а критическое давление — 225 атмосфер. Относительно скорости кристаллизации горного хрусталя в природе и факторов, оказывающих влияние на процесс кристаллизации, мы знаем до сих пор очень мало.

Указанные условия образования горного хрусталя в природе подтверждаются опытами Спеца и других, показавших, что однородные кристаллы кварца в несколько кубических сантиметров можно получить в течение нескольких месяцев из водных растворов жидкого стекла (Na_2SiO_3) с примесью поваренной соли (NaCl) или хлористого магния (MgCl_2) и хлористого аммония (NH_4Cl) при температуре от 170 до 450° и соответствующем давлении.

Известные месторождения горного хрусталя прозрачного и дымчатого находятся в Швейцарии, Бразилии, Мадагаскаре, Монголии, Японии, а у нас — на Урале (северном, среднем и южном), на Волыни, в Средней Азии, на Кавказе и в Забайкалье.

Плотность кварца

Из всех модификаций кремнезема β -кварц имеет наибольшую плотность и, следовательно, наименьший удельный объем, как это видно из табл. 2.

Влияние температуры на плотность кварца

Как и большинство тел, кварц при нагревании расширяется, следовательно, его плотность убывает. При температуре превращения β -модификации в α -кварц (573°) кривая плотности (удельного объема) претерпевает резкое

Таблица 2

Плотность и удельный объем кремнезема при 0° С и атмосферном давлении		
Модификация	Плотность	Удельный объем
β -кварц	2.65	0.377
Тридимит (низкий) . . .	2.26	0.442
Кристобалит (низкий) . .	2.32	0.431
Аморфный кварц	2.20	0.454

изменение. Соответствующие величины приведены в табл. 3 и на рис. 8. Выше температуры 870° данные таблицы относятся к α -кварцу в не устойчивом состоянии.

Из приведенных данных можно видеть, что 1 кг β -кварца при переходе в α -модификацию увеличивается в объеме на 3.25 см³, или на 0.86% от первоначального объема.

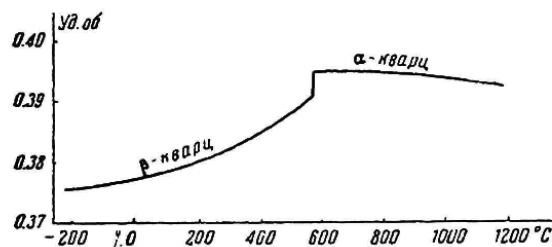


Рис. 8. Температурная зависимость удельного объема α - и β -кварца

Таблица 3

Изменение плотности d кварца с температурой

t °C	d	t °C	d	t °C	d
-250	2.665	200	2.630	573	2.533
-200	2.664	250	2.623	600	2.533
-150	2.662	300	2.616	700	2.534
-100	2.659	350	2.609	750	2.535
-50	2.655	400	2.601	900	2.537
0	2.651	450	2.591	1000	2.541
50	2.646	500	2.581	1100	2.543
100	2.641	550	2.564	1200	2.546
150	2.636	573	2.554		

Коэффициент кубического расширения кварца

Истинным кубическим или объемным коэффициентом теплового расширения тела называется величина

$$\alpha = \frac{dv}{dt} = \frac{dV}{dt} \cdot \frac{1}{V},$$

где dv — приращение удельного объема тела, вызванное бесконечно малым изменением температуры dt ; V — объем тела; dV — изменение объема. Объемный коэффициент расширения кварца претерпевает значительное изменение при нагревании, как это показано в табл. 4 и на рис. 9.

Таблица 4

Истинный коэффициент теплового объема расширения кварца при различных температурах

t °C	$10^6 \alpha$	t °C	$10^6 \alpha$
-200	12.0	250	50.4
-150	19.0	300	54.9
-100	25.2	400	67.4
-50	29.8	500	100.0
0	33.6	550	141.0
50	36.8	600	0.0
100	40.0	800	-4.0
150	43.3	1000	-12.0
200	46.6		

Обращает на себя внимание разрыв кривой в точке превращения α -кварца в β -кварц, изменение знака коэффициента α и нулевое значение его при температуре, близкой к 573°.

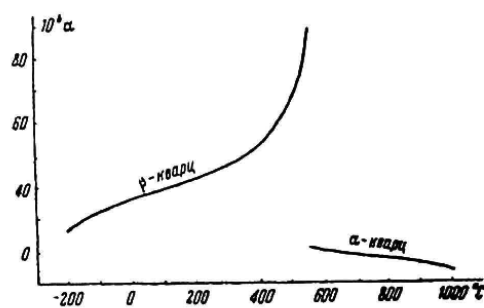
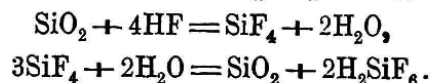


Рис. 9. Температурная зависимость коэффициента кубического расширения α - и β -кварца

Отношение кварца к химическим реактивам

При обыкновенной температуре кварц практически нерастворим в воде и кислотах — соляной, серной, азотной. При продолжительном нагревании в тех же реагентах наблюдается заметное растворение кварца. Еще более растворяется кварц в щелочах, растворе жидкого стекла (Na_2SiO_3), особенно при нагревании.

Наилучшим «растворителем» для кварца служит водный раствор фтористого водорода (HF), т. е. плавиковая кислота. В результате действия последней на кварц возникает кремнефтористоводородная кислота (H_2SiF_6), растворимая в воде. Для полного разрушения одной весовой единицы кварца теоретически достаточно 4.5 весовых единиц 30% плавиковой кислоты. При действии плавиковой кислоты на кварц происходят следующие реакции:



Два сорта кварца в отношении действия на него плавиковой кислоты

Опыты растворения кусков кварца в плавиковой кислоте показали со всей очевидностью, что в одних случаях растворение идет постепенно с поверхности куска, причем последний в течение всего опыта (ряд месяцев) сохраняет свою прозрачность и все присущие кварцу физические свойства; в других же случаях плавиковая кислота проникает внутрь кристалла, который уже через день становится мутнобелым, непрозрачным и негодным для изделий. Надо полагать, что проникновение плавиковой кислоты внутрь куска происходит либо по невидимым невооруженным глазом каналам, либо по слабым местам «разрыхления» кристаллической решетки. Интересно, что расположение в кристалле таких слабых мест подчиняется определенным закономерностям, к которым мы вернемся при описании опытов растворения шаров кварца.

Теплота растворения кварца в плавиковой кислоте

Теплота растворения кварца в плавиковой кислоте может рассматриваться как алгебраическая сумма теплот составляющих элементарных процессов: теплоты образования H_2SiF_6 , теплоты растворения H_2SiF_6 и т. д. При растворении одного моля (60.06 г) кварца в 30% HF выделяется 33.53 ккал (больших калорий) тепла или на 1 г кварца — 0.58 ккал. Если для растворения взята 20% HF, то соответствующие числа будут: 29.81 ккал и 0.496 ккал.

Теплоемкость кварца и скрытая теплота α — β -превращения

Теплоемкость кварца имеет обычный для твердых тел температурный ход, стремясь к нулю при температуре абсолютного нуля и к некоторой

Таблица 5

Теплоемкость C_p кварца в малых калориях (при 20°C) на грамм при нормальном давлении					
t °C	$10^3 C_p$	t °C	$10^3 C_p$	t °C	$10^3 C_p$
—250	5.4	100	201.3	573	340(?) ¹
—243	9.4	150	219.4	600	270.9
—238	16.0	200	232.7	700	274.0
—228	23.5	250	244.4	800	276.7
—200	41.0	300	254.3	900	279.3
—150	77.4	350	262.7	1000	281.7
—100	111.2	400	270.0	1100	283.8
—50	141.2	450	278.0	1200	285.5
0	166.4	500	291.0	1300	287.5
50	187.0	550	316.0	1400	290.0

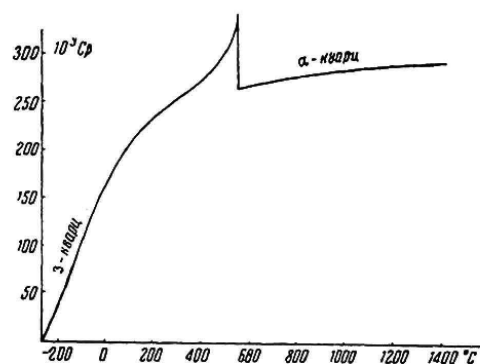


Рис. 10. Температурная зависимость теплоемкости α - и β -кварца

¹ Теплоемкость β -кварца при температуре превращения его в α -кварц определена приближенно.

предельной постоянной величине $C_{p_{max}}$, определяемой по закону Дюлонга и Пти из равенства

$$C_{p_{max}} = \frac{6.4 \cdot N}{M} = 320 \text{ ккал},$$

где N — число атомов в молекуле (для кварца $N = 3$), M — молекулярный вес (для кварца $M = 60.06$). Экспериментальные значения теплоемкости кварца даны в табл. 5 и на рис. 10. Из этих данных мы видим, что кривая теплоемкости α -кварца расположена ниже кривой β -кварца.

При переходе β -модификации в α -кварц поглощается 2.5 ккал на моль кварца (60.06 г).

Коэффициент сжатия кварца

Истинным коэффициентом объемного сжатия называется величина.

$$\beta = \frac{1}{v_0} \cdot \frac{dv}{dp},$$

Таблица 6

Истинный и средний коэффициенты объемного сжатия кварца

p в мегабарах	$10^6 \cdot \beta$	$10^6 \cdot \beta_m$
0	2.76	2.76
2000	2.65	2.71
4000	2.53	2.65
6000	2.42	2.59
8000	2.33	2.54
10000	2.25	2.49
12000	2.18	2.44

где v_0 — первоначальный объем сжимаемого тела; dv — изменение объема, отвечающее бесконечно малому изменению давления dp . Средним коэффициентом сжатия называют величину

$$\beta_m = \frac{1}{v_0} \cdot \frac{v_0 - v}{p},$$

где v — новый объем, определяемый приложенным давлением p . В приведенной табл. 6 даны значения β и β_m для различных давлений, выраженных в мегабарах (миллионах дин на 1 см^2 ; один мегабар почти равен одной атмосфере).

МОРФОЛОГИЯ И СТРУКТУРА КРИСТАЛЛОВ КВАРЦА

Формы роста природных кристаллов кварца

Кристаллы кварца, как и кристаллы любого другого вещества, могут отличаться друг от друга своей величиной, числом граней и ребер и формой граней. Наблюдая разнообразные формы кристаллов кварца, датский ученый Николай Стенон в 1669 г. заметил, что все кристаллы могут быть приведены в такое положение, при котором несколько граней одного кристалла станут в параллельное положение с гранями других кристаллов. В этом

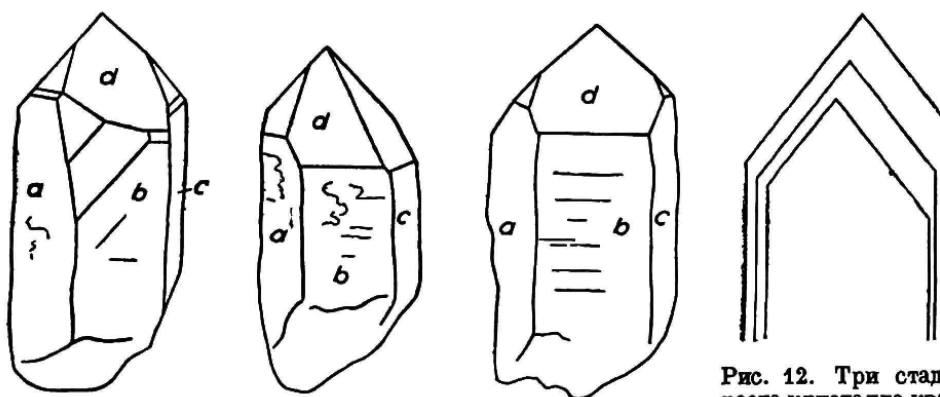


Рис. 11. Кристаллы кварца. Грани, обозначенные одинаковыми буквами, параллельны

Рис. 12. Три стадии роста кристалла кварца. Грани передвигаются параллельно самим себе

и состоит закон постоянства углов. На рис. 11 изображены три кристалла кварца в параллельном положении; параллельные грани обозначены одинаковыми буквами.

Природные кристаллы кварца образовывались постепенно — росли. Мы знаем теперь, что не все кристаллы во время своего роста обязаны иметь многогранную форму, но те кристаллы, которые в настоящее время имеют такую форму, наверное имели ее хотя бы в последних стадиях роста. Если закон постоянства углов верен для различных кристаллов кварца, то он тем более должен быть верен для одного кристалла в различные моменты его роста, а это значит, что во время роста грани кристалла перемещаются параллельно самим себе. На рис. 12 изображено сечение кристалла кварца плоскостью, перпендикулярной к граням *d* и *b* (рис. 11) в различных стадиях роста. Из рисунка мы видим, что скорости роста различных граней по перпендикулярным к ним направлениям вообще различны и могут меняться во время роста в зависимости от различных обстоятельств: большего или меньшего притока пересыщенного раствора к данной грани, изменения температуры, химического состава маточной среды и т. д. Часто случается, что во время роста кристалла на его гранях периодически отлагаются посторонние меха-

нические примеси или слои, окрашенные в другой цвет. В разрезе такой кристалл будет очень похож на наш рисунок. Изучая разрез, можно прочесть на нем всю историю развития кристалла и проверить правильность



закон постоянства углов. Одновременно мы приходим к заключению, что всякий кристалл можно рассматривать как совокупность концентрических многогранных оболочек, минимальная толщина которых, очевидно, равна толщине одного молекулярного слоя. Мы видим, таким образом, что закон постоянства углов имеет отношение не только к внешней форме, но и к внутреннему строению кристаллов. На рис. 13 дана фотография пластинки кварца, внутри которой видны слои, строго параллельные одной из естественных граней (ромбоэдр) кристалла.

Идеальная форма кристаллов кварца

Рис. 13. Полированная с обеих сторон пластинка кварца, в которой видны слои, параллельные грани ромбоэдра кристалла

От наблюдаемых в действительности, реальных форм кристаллов кварца следует отличать формы идеальные. Мы называем идеальными такие формы,

которые должны возникать тогда, когда все грани кристалла поставлены в одинаковые условия роста. В этих случаях относительное развитие граней определяется не разницей в условиях их «питания», а их структурой и свойствами кристаллизационной среды. Это значит, что идеальная форма кристаллов того или иного вещества полностью определяется термодинами-

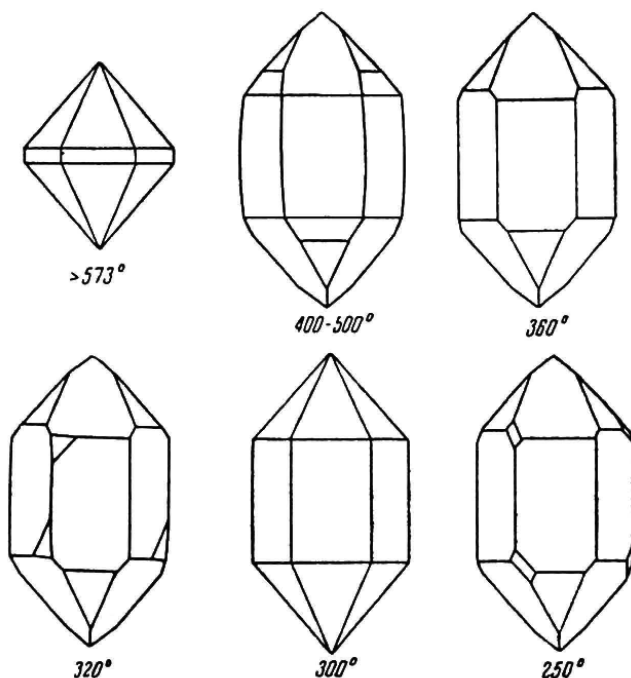


Рис. 14. Типичные идеальные формы кристаллов кварца. Каждой форме отвечают определенные термодинамические условия роста. На рисунке указаны приблизительно температуры образования каждой формы

ческими условиями, в которых кристаллы вырастают, т. е. температурой, давлением и концентрациями входящих в кристаллизационную среду веществ (компонентов).

Так как термодинамические условия могут изменяться постепенно, то идеальных форм, как и реальных, может существовать бесконечное