

Е. В. ЦИНЗЕРЛИНГ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОСТИ И ХРУПКОСТИ КВАРЦА ЗОНАРНОГО И СЕКТОРИАЛЬНОГО СТРОЕНИЯ МЕТОДОМ ВДАВЛИВАНИЯ

(Представлено академиком Д. С. Белянкиным 27 III 1948)

В предыдущих работах автора (1, 2) было показано, что способность кварца двойниковаться при  $\beta \rightarrow \alpha \rightarrow \beta$ -превращении различна в одном и том же кристалле для различно окрашенных участков. В зонах и секторах, темноокрашенных по природе или темноокрашивающихся в результате облучения рентгеновыми лучами, процесс двойникования происходит труднее, чем в бесцветных или слабоокрашивающихся участках.

Чтобы выяснить причину этого явления, было предпринято несколько косвенных исследований для сопоставления некоторых свойств дымчатого кварца с бесцветным: было проведено сравнение некоторых механических свойств одного и того же кристалла, но для пирамид нарастания или их зон, физически заведомо различных. Объектами изучения были 12 образцов кварца зонарного и секториального строения различно окрашенного — естественно или в результате облучения рентгеновыми лучами.

Исследование было проведено на приборе, сконструированном М. М. Хрущевым и Е. С. Берковичем для определения микротвердости методом вдавливания. Использовались полированные плоскости (0001), (1120), (10 $\bar{1}$ 0), а также косые срезы. На каждом образце изучалось от 3 до 10 участков в 8—16 точках. Применялись нагрузки от 20 до 150 г, время действия нагрузки принималось всегда одно и то же и отсчитывалось по секундомеру: скорость спуска индентора 15 сек. и статическое действие полной нагрузки 5 сек. Учитывалась кристаллографическая ориентировка образца относительно вдавливаемых ребер алмазной пирамиды. Иногда одна и та же плоскость исследовалась при разных кристаллографических ориентировках по отношению к индентору.

Этот метод, имея меньшее значение для самостоятельного статистического применения, ценен в сочетании с другими исследованиями при уяснении внутренней морфологии микроучастков. Микротвердость следует отнести к свойствам структурно чувствительным.

Химическая и физическая неоднородность кварца в зависимости от генезиса, от условий роста общеизвестна. Следовательно, и микротвердость для разных кварцев а priori различна. Поскольку каждый кристалл любого минерала не является гомогенным, особенно кристаллы зонарного и секториального строения, то неоднородность наблюдается на одном и том же разрезе в различно окрашенных участках. Неоднородность отмечается разбросом величин отпечатков и разной степенью хрупкости. Исследование микротвердости кварца показало, что длина диагонали отпечатка (при одинаковых нагрузках и одном и том же

времени их действия) различна для дымчатых и бесцветных пирамид нарастания или их зон. Отпечатки, сделанные вблизи жидких или газообразных включений, отличаются большими размерами. Если давление индентора прикладывается на точку непосредственно над таким включением, то отпечаток постепенно на глазах деформируется, и участок кристалла разрушается. Этот процесс наблюдается после снятия нагрузки.

Сравнение величин отпечатков на разных гранях с целью установления анизотропии микротвердости можно проводить только на одном и том же кристалле, поскольку разные кварцы отличаются по своей микротвердости. Об этом можно судить по данным в табл. 1

Таблица 1

Средняя величина отпечатков для разных кварцев зонарного и секториального строения

Нагрузка в г	Грань	Темноокрашенные участки, длина диагонали отпечатка в $\mu$	Светлые участки, длина диагонали в $\mu$
150	(0001)	17,0—20,5	16,0—18,6
150	(11 $\bar{2}$ 0)	18,0—18,3	16,5—17,4
60	(0001)	11,4—12,0	10,6—11,4
60	(11 $\bar{2}$ 0)	10,6—12,0	9,6—11,7

диагоналей отпечатков на кварцах зонарного и секториального строения.

Из табл. 1 явствует, что величина диагонали отпечатка (предельные значения средних величин, вычисляемых из трехкратных измерений 8—16 отпечатков) всегда больше в темных, чем в светлых участках. Микротвердость  $H$  вычисляется по формуле:  $H = 1854 P/d^2$  кг/мм<sup>2</sup>, где  $P$  — нагрузка в г,  $d$  — длина в  $\mu$  диагонали отпечатка, который получается при вда-

вливанием индентором с четырехгранной алмазной пирамидой, у которой угол между противоположными гранями равен 136°.

Для вычисления твердости следует брать только такие отпечатки, которые не имеют трещин, иначе значение твердости получается несколько заниженным. Для дымчатых участков на грани (0001) при нагрузке в 60 г микротвердость равна от 772 до 856 кг/мм<sup>2</sup>, а в светлых участках она выше, достигая 990 кг/мм<sup>2</sup>. То же явление меньшей твердости в окрашенных участках наблюдается и на срезах, параллельных оси  $Z$ , а также и на косых срезах. Это вполне согласуется с данными травимости бесцветных и окрашенных секторов в кристаллах кварца, полученными Г. Г. Леммлейном (3). Окрашенные секторы протравливаются плавиковой кислотой гораздо интенсивнее, чем бесцветные, поэтому рельеф у первых глубже, чем у вторых, и фигуры травления на окрашенных участках крупнее, чем на бесцветных.

Большой разброс величин отпечатков в окрашенных участках свидетельствует о неоднородности кристаллической решетки дымчатого кварца. В табл. 2 приведены наибольшие и наименьшие значения величины отпечатков, найденные при нагрузке в 60 г в темных и светлых участках кварца секториального и зонарного строения.

Если сравнить максимальные и минимальные величины отпечатков в темных

Таблица 2

Максимальные и минимальные величины отпечатков в различно окрашенных участках кварца

Грань	Максимальная длина диагонали отпечатка в $\mu$		Минимальная длина диагонали отпечатка в $\mu$	
	темный участок	светлый участок	темный участок	светлый участок
(0001)	13,0	11,8	10,1	9,6
(11 $\bar{2}$ 0)	13,8	12,1	10,6	10,0

участках со светлыми участками кварца зонарного и секториального строения, то меньшая микротвердость (величина, обратная длине диагонали отпечатка) наблюдается для решетки, загрязненной примесями.

Разброс величины отпечатков является признаком неоднородности данного участка. Разброс для дымчатых участков (3,0  $\mu$ ) больше, чем для бесцветных (2,0  $\mu$ ).

Еще бóльшая неоднородность наблюдается в свилеватом кварце: вдоль границы свилей кварца разброс в величине отпечатков достигает 7  $\mu$ . Для пластинок из свилеватого кварца показательна аномальная двуосность.

Дымчатые и бесцветные участки различны в отношении хрупкости. Хрупкость, наблюдаемая на микроучастках, определяется той наименьшей нагрузкой, при которой возникают трещины около отпечатка. Хрупкость характеризуется количеством трещин, направлением трещин, временем их появления и скоростью их роста; большая твердость с одновременной большой хрупкостью общеизвестна для закаленных стекол.

В одном и том же кристалле кварца микрохрупкость в дымчатых участках больше, чем в бесцветных, т. е. трещины появляются в темных участках при более низких нагрузках, чем в бесцветных. Трещины в дымчатых участках крупнее и количество их больше. В табл. 3 приведены минимальные нагрузки, при которых появляются трещины в одном и том же кристалле, но в различно окрашенных участках.

Анизотропия кварца резко сказывается на хрупкости. На грани (11 $\bar{2}$ 0) трещины появляются уже при действии нагрузки в 30 г в темных участках и при 40 г в светлых участках.

Время появления трещин различно. При больших и быстро действующих нагрузках трещины появляются, видимо, во время вдавливания (наблюдение доступно только через 5—10 сек. после снятия нагрузки).

При меньших и медленно действующих нагрузках трещины появляются около отпечатков через разное время: одни трещины через 10—20—30 сек., другие (у того же отпечатка) через несколько минут и даже через несколько часов. Некоторые из появившихся трещин исчезают через один или несколько часов. Длина трещин, полученных около отпечатков в темных участках кварца при нагрузке в 60 г и времени действия нагрузки в 25 сек. (15 сек. спуск индентора, 10 сек. статическое действие нагрузки), от 3,0 до 12,2  $\mu$ . Одни трещины заканчивают свой рост в 40 сек., другие в 1—3 мин. Средняя скорость роста трещины 7  $\mu$  в 1 мин. \*. Доминирующее направление трещин параллельно ромбоэдру, но встречаются трещины, параллельные и перпендикулярные главной оси Z. Трещины обычно прямолинейны, но на срезах (10 $\bar{1}$ 0) наблюдаются серповидные, полукруглые, иногда замыкающиеся до круга трещины. Свилеватый кварц более хрупок, чем кварц без свилей. Его травимость в HF, так же

Таблица 3  
Наименьшие нагрузки, при которых появляются трещины в одном и том же кристалле

№ кристалла	Грань	Нагрузка в г	
		темный участок	светлый участок
1	(0001)	110	120
2	(0001)	60	100
3	(0001)	70	80
4	(11 $\bar{2}$ 0)	30	40

\* Рост трещины наблюдался в отраженном свете. Позднее выяснилось, что рост трещины отчетливее наблюдается в проходящем свете, который был применен автором для исследования хрупкости напряженных участков стекла на том же приборе.

как у дымчатого кварца, протекает интенсивнее, чем у кварца с бездефектной решеткой.

Повышенная хрупкость наблюдается на границе пирамид нарастания, а также в регенерированных частях кристалла.

Вывод. Темноокрашенные и способные окрашиваться рентгеновыми лучами участки кристалла кварца, трудно поддающиеся процессу двойникования при  $\beta \rightarrow \alpha \rightarrow \beta$ -превращении, отличаются меньшей микротвердостью и большей неоднородностью и хрупкостью, чем бесцветные и слабо окрашивающиеся участки.

Институт кристаллографии  
Академии Наук СССР

Поступило  
26 III 1948

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Е. В. Цинзерлинг, ДАН, **33**, № 5 (1941). <sup>2</sup> Е. В. Цинзерлинг, ДАН, **57**, № 4 (1947). <sup>3</sup> Г. Г. Леммлейн, ДАН, **56**, № 8 (1947).