

## Список литературы

1. Collerson K D et al. *Science* **288** 1215 (2000)
2. Пушаровский Ю М, Пушаровский Д Ю *Геотектоника* **33** (1) 3 (1999)
3. Dubrovinsky L S et al. *Nature* **388** 362 (1997)
4. Knittle E, Jeanloz R *Geophys. Res. Lett.* **13** 1541 (1986)
5. Dubrovinsky L et al. *Nature* **412** 527 (2001)
6. Mazin I I et al. *Am. Mineral.* **83** 451 (1998)
7. Dubrovinsky L S et al. *Eur. J. Mineral.* **13** 857 (2001)
8. Pasternak M P et al. *Phys. Rev. Lett.* **79** 5046 (1997)
9. Funamori N, Jeanloz R *Science* **278** 1109 (1997)
10. Helffrich G R, Wood B J *Nature* **412** 501 (2001)
11. Finger L W, Hazen R M *Acta Crystallogr. B* **47** 561 (1991)
12. Scott H P, Williams Q, Knittle E *Phys. Rev. Lett.* **88** 015506 (2002)
13. Стишов С М, Попова С В *Геохимия* (10) 837 (1961)
14. Hazen R, Finger L *Science* **201** 1122 (1978)
15. Fiquet G Z. *Kristallogr.* **216** 248 (2001)
16. Казанцев С С и др., в сб. *Тез. III Нац. конф. по применению рентгеновского, синхротронного излучений, нейтронов и электронов для исследования материалов (РСНЭ)*, Москва, 2001 (М.: Изд-во Института кристаллографии РАН, 2001) с. 83
17. Пушаровский Д Ю *Структурная минералогия силикатов и их синтетических аналогов* (М.: Недра, 1986)
18. Finger L W et al. *Nature* **341** 140 (1989)
19. Fleet M E, Henderson G S *Phys. Chem. Mineral.* **22** 383 (1995)
20. Fleet M E *Am. Mineral.* **83** 618 (1998)
21. Fleet M E *Am. Mineral.* **81** 1105 (1996)
22. Gasparik T et al. *Am. Mineral.* **80** 1269 (1995)

PACS number: 81.10.-h

## Гидротермальное выращивание стишовита (SiO<sub>2</sub>)

Н.А. Бенделиани

### 1. Введение

Монокристаллы стишовита выращены гидротермальным методом в системе SiO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O при давлении 9–9,5 ГПа в температурном интервале 1170–770 К. Получены хорошо ограниченные, прозрачные кристаллы призматического габитуса с гранями (110) и (111) и максимальным размером 500 × 500 × 2400 мкм<sup>3</sup>.

Успехи в получении и исследовании монокристаллов стишовита, достигнутые за 40 лет с момента открытия этого чрезвычайно важного для геофизики и планетологии объекта, были ограничены результатами трех экспериментальных работ [1–3]. На полученных случайным образом монокристаллических зернах размером 200–300 мкм измерены показатель преломления и микротвердость [1] и расшифрована кристаллическая структура [2]. В работе [3] исследовано внедрение водорода в решетку, и там же упоминаются игольчатые кристаллы длиной до 1000 мкм, но шириной всего 25 мкм. Неуклонно возрастающий интерес к свойствам стишовита привел к необходимости разработки достаточно простого и надежного способа получения более крупных и совершенных монокристаллов этой фазы. Такая задача была решена в отделе монокристаллов Института физики высоких давлений РАН [4].

### 2. Эксперимент

Для выращивания использована камера высокого давления типа "Конак" с автоматическим контролем нагрузки и программным управлением мощностью тока на нагревателе. Зависимость температуры от мощности была установлена в предварительном опыте. Схема ячейки

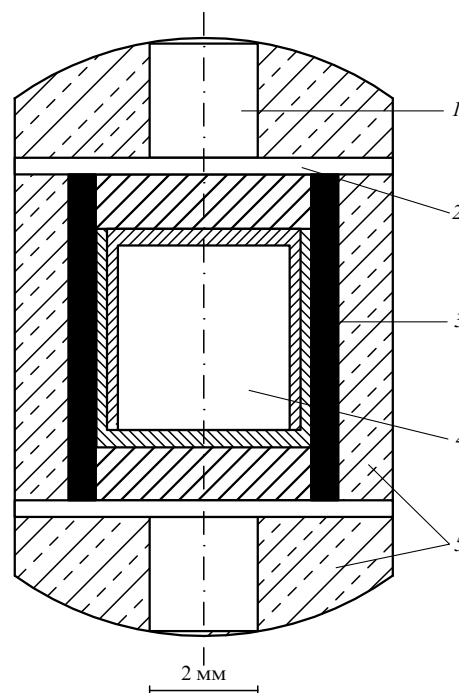


Рис. 1. Схема ячейки высокого давления. 1 — токовод, 2 — металлический диск, 3 — графитовый нагреватель, 4 — ампула, 5 — контейнер.

высокого давления изображена на рис. 1. Рабочий объем герметической платиновой ампулы составлял ~ 25 мм<sup>3</sup>. Температурный градиент по высоте ампулы не превышал 20 при 1200 К. В качестве исходных материалов использованы порошок природного кварца с размером зерна 10–20 мкм и дистиллированная вода. Количество воды в навеске оценивалось по соотношению объемов компонентов и ампулы.

### 3. Результаты и обсуждение

На примере кристаллов коэсита, менее плотной, чем стишовит, фазы высокого давления SiO<sub>2</sub>, ранее было показано, что классические способы гидротермального выращивания в модифицированном виде реализуются без особых сложностей и в условиях сильного сжатия [5]. Поэтому при наличии соответствующего оборудования решение задачи сводилось главным образом к определению растворимости стишовита в водном флюиде.

Давление 9–9,5 ГПа (фазовый переход в Sn), при котором проводилось выращивание, оказалось достаточным для того, чтобы в продолжение всего эксперимента (6–7 ч) система не выходила из области устойчивости стишовита. Положение ликвидуса при этом давлении для смеси раствор + стишовит на *T*–*x* диаграмме удалось оценить путем регистрации размеров зерна стишовита в опытах с различным соотношением компонентов при охлаждении от разных температур. Построенная на основе полученных данных нужная часть фазовой диаграммы (рис. 2), не являясь корректной в деталях, вполне пригодна для использования в качестве рабочей схемы. Температура плавления льда-VII на диаграмме взята из работы [6].

Наилучшие результаты получены с 6 мол. % SiO<sub>2</sub> в исходной смеси. Температура снижалась в интервале 1170–770 К при скорости охлаждения ~ 1 К мин<sup>-1</sup>. В

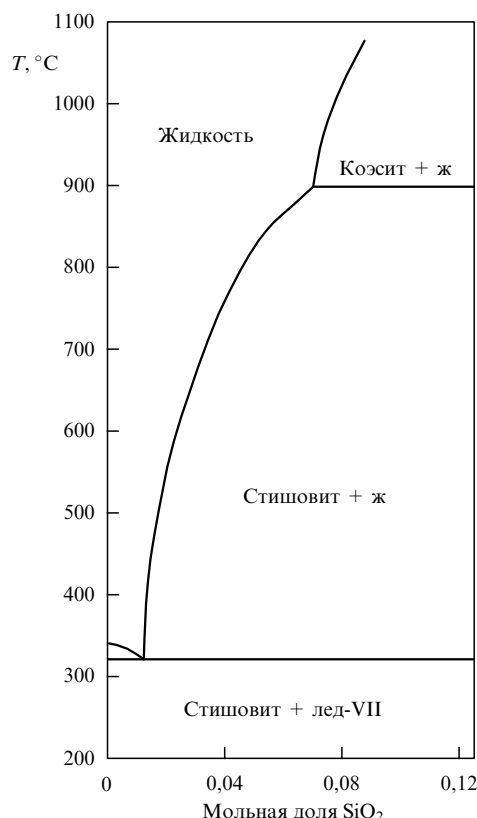


Рис. 2. Участок фазовой  $T$ - $x$ -диаграммы системы  $\text{SiO}_2$ - $\text{H}_2\text{O}$  при 9 ГПа.

указанном режиме растут прозрачные бесцветные, иногда светло-янтарные кристаллы призматического габитуса характерного размера  $600 \times 600 \times 1200 \text{ мкм}^3$ . Как правило, в каждом опыте одновременно с тремя-четырьмя такими кристаллами или их сростками (рис. 3) наблюдаются кристаллы большего или меньшего размеров, т.е. реализуется ситуация, неизбежная при спонтанной кристаллизации. Все кристаллы имеют одинаковый габитус, но различаются отношением ширины к длине, например,  $750 \times 750 \times 1000 \text{ мкм}^3$  и  $500 \times 500 \times 2400 \text{ мкм}^3$ . Параметры элементарной ячейки,  $a = 4,177 \pm 0,004 \text{ Å}$ ,  $c = 2,666 \pm 0,003 \text{ Å}$ , практически идентичны табличным значениям [1, 2]. Полный структурный анализ, выполнен-

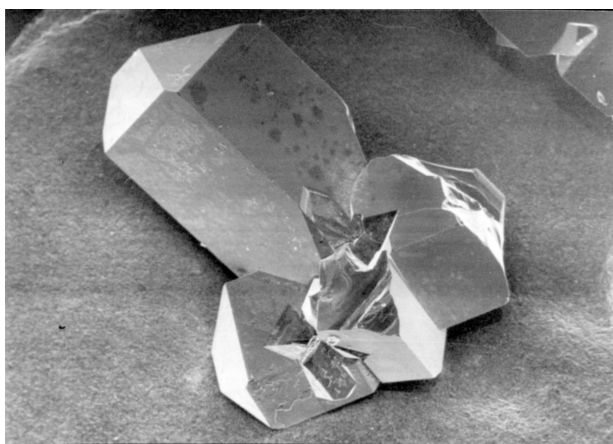


Рис. 3. Сросток кристаллов стишовита.

ный с использованием монокристалльного дифрактометра РЭД-4, воспроизвел в пределах погрешности значения структурных и тепловых параметров, фигурирующих в работе [2].

Индексы граней определены путем рентгеновской дифракции оптически ориентированных кристаллов в прецессионной камере Бургера. Как и следовало ожидать, габитус кристаллов формируют наиболее плотно заселенные грани (110) и (111) (рис. 4).

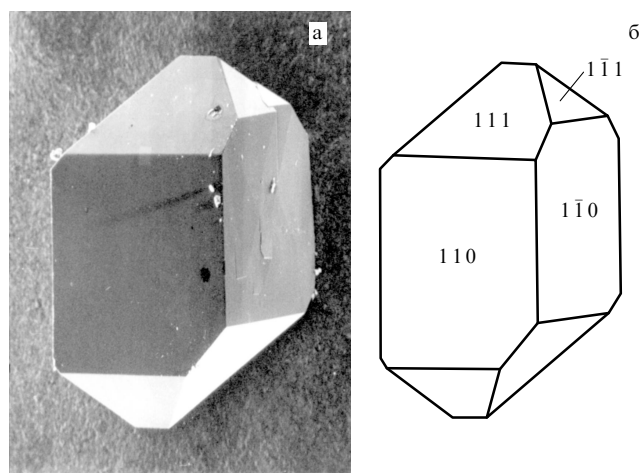


Рис. 4. Морфология кристалла стишовита: реальный кристалл (а), символы граней (б).

Некоторые указания на роль примесей в появлении янтарной окраски кристаллов получены в опытах с растворителем в виде 1 М раствора  $\text{NaOH}$  при тех же значениях остальных параметров выращивания. Обнаруженный в осадке оксалат натрия ( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) позволил предположить, что происхождение центров окраски каким-то образом связано с диффузией углерода из нагревателя в ампулу.

### Список литературы

1. Стишов С М, Попова С В *Геохимия* (10) 837 (1961)
2. Sinclair W, Ringwood A E *Nature* **272** 714 (1978)
3. Ramley A R, McMillan P F, Holloway J R *Science* **261** 1024 (1993)
4. Lityagina L M et al. *J. Cryst. Growth* **222** 627 (2001)
5. Дюжева Т И и др. *Кристаллография* **43** 554 (1998)
6. Pistorius C W et al. *J. Chem. Phys.* **38** 600 (1963)

PACS numbers: 61.43.Er, 81.30.Hd

## Твердофазная аморфизация стишовита при нагревании

С.В. Попова, В.В. Бражкин,  
Р.Н. Волошин, М. Гримсдич

То обстоятельство, что кремнезем является одним из основных породообразующих минералов Земли, определило особый интерес к интенсивному изучению ( $P$ ,  $T$ )-условий его образования. Эти исследования призваны были ответить на вопросы, связанные с нахождением разных фаз (кварца, коэсита, стишовита) в природе и об интервалах глубин в мантии Земли, в которых эти фазы устойчивы.