

## ПЕРВАЯ НАХОДКА ВЫСОКОБАРНОГО СИЛИКАТА $Mg_3Si_4(OH)NH_2O$ (10Å ФАЗА) В ВЕЩЕСТВЕ МАНТИИ

Хисина Н.Р. (ГЕОХИ РАН), Вирт Р. (Геологический центр, Потсдам)  
 khisina@geokhi.ru

Ключевые слова: наноминералогия, оливин, мантия, гидросиликаты, фазы высокого давления, 10Å фаза

10Å-фаза – высокоплотный слоистый гидросиликат магния – была синтезирована в ряде экспериментов при 500 0С, 30-90 кбар [1 – 10]. Химический состав 10Å-фазы соответствует формуле талька с избыточным содержанием воды,  $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$ , причем по данным разных исследователей содержание воды в 10Å-фазе варьирует:  $n = 0.65$  [3],  $n = 2$  [7],  $n = 1$  [1]. 10Å фаза наряду с другими фазами DHMS, синтезированных в системе  $MgO-SiO_2-H_2O$ , является фазой высокого давления и рассматривается как возможный минерал – носитель воды в мантии. Однако в природе фазы DHMS (за исключением клиногумита) не обнаружены.

Реакции образования и поле стабильности 10Å-фазы изучались в работах [3,4,9,10]. Экспериментально 10 Å фаза получена в результате следующих реакций:

- |     |                                  |   |           |
|-----|----------------------------------|---|-----------|
| (1) | Серпентин                        | → форстерит + 10Å фаза + H <sub>2</sub> O | [8,]      |
| (2) | MgO + SiO <sub>2</sub> (гели)    | → 10 Å фаза                               | [3]       |
| (3) | Тальк + H <sub>2</sub> O         | → 10 Å фаза                               | [4,5,7,9] |
| (4) | Брусит + SiO <sub>2</sub> (гель) | → 10 Å фаза                               | [6]       |

10Å фаза впервые обнаружена нами при электронно-микроскопическом изучении оливиновых нодулей и мегакристов из кимберлитов [11]. 10Å фаза наблюдается в двух морфологических формах. 1. Нановключения в оливиновой матрице, имеющие форму негативного кристалла, с преимущественным удлинением вдоль направления *c* оливина. Размер включений составляет сотни нанометров. 10Å фаза заполняет экваториальную часть включений, тогда как полюса включений представляют собой пустоты, предположительно заполненные водным флюидом и граничащие с оливином по плоскостям (100). 2. Залеченные микротрещины в оливине, вдоль которых развивается 10Å фаза. Ширина развития по микротрещинам 10Å фазы составляет сотни нанометров. Во всех наблюдаемых случаях 10Å фаза и оливин-хозяин имеют строгие ориентационные соотношения друг с другом.

Идентификация 10Å фазы и продуктов ее изменения (серпентина и талька) выполнена на основе данных о химическом составе, наличии воды, величин межплоскостных расстояний структуры; все эти данные получены в просвечивающем электронном микроскопе. Дополнительным свидетельством присутствия в образцах 10Å фазы, серпентина и талька служили данные инфракрасной спектроскопии [11].

На основе полученных данных предложены следующие реакции образования 10Å фазы:

- (i) Оливин → гидрооливин  $(Mg,Fe)_{2-x}SiO_4H_{2x} \rightarrow 10Å \text{ фаза} + H_2O$  (нановключения)
- (ii) Оливин  $(Mg_{2-x}Fe_x)_2SiO_4 + O_2 \rightarrow$  нестехиометричный оливин  $Mg_{2-x}SiO_{4-x}$  + гематит;  
 нестехиометричный оливин  $Mg_{2-x}SiO_{4-x} \rightarrow 10Å \text{ фаза} + \text{форстерит}$  (микротрещины)

Детальное изучение продуктов последующего преобразования 10Å фазы: серпентина (лизардит) и талька - показало, что реакции преобразования 10Å фазы различны для микротрещин и нановключений. В первом случае это открытая система, и реакция дегидратации 10Å фазы протекает с образованием талька в соответствии с обратным направлением реакции (3). Реликты 10Å фазы наблюдаются при этом на контакте с оливином, тогда как по осевой линии микротрещин происходит замещение 10Å фазы на тальк.

Во втором случае (система закрытая) происходит взаимодействие нановключения с окружающей оливиновой матрицей с образованием серпентина и талька (реакция автосерпентинизации). Эта реакция протекает путем кооперативного взаимодействия с оливином 10Å фазы, заполняющей экваториальную часть включения, и водного флюида, содержащегося в приграничных с оливином полостях включения:

10Å фаза (включение) + H<sub>2</sub>O(включение) + оливин (матрица) = серпентин + тальк

Водный флюид, заполнявший первоначально полости во включениях, расходуется в ходе реакции с оливином, и полости становятся пустым поровым пространством. 10Å фаза преимущественно замещается тальком, а образующийся серпентин интенсивно развивается по вмещающему оливину: включение “разрастается”.

Проведенные исследования позволили впервые установить существование 10Å фазы в природе. Предложенные на основе полученных результатов реакции образования 10Å фазы, наблюдаемой в форме нановыделений в оливиновых нодулях и мегакристаллах из кимберлитов, отличаются от реакций экспериментального синтеза 10Å фазы. Анализ полученных результатов приводит к заключению о том, что в образовании нановыделений 10Å фазы основополагающую роль играли точечные дефекты кристаллической решетки оливина-хозяина и деформационные процессы. Опираясь на существующие данные о поле стабильности 10Å фазы на *PT*-диаграмме по отношению к фазовым ассоциациям тальк + H<sub>2</sub>O и энстатит+коэсит+H<sub>2</sub>O [4], с одной стороны, и по отношению к серпентину [8,9], с другой, можно с уверенностью заключить, что формирование 10Å фазы в исследованных нодулях и мегакристаллах происходило при давлениях не ниже 30-40 кбар, что отвечает условиям верхней мантии. Направление реакций указывает на процессы образования и последующего замещения 10Å фазы в верхней мантии в условиях декомпрессии при подъеме к поверхности захваченных кимберлитовой магмой мантийных нодулей.

### Литература

1. *Bauer J.F., Sclar C.B.* 10 Å Phase in the system MgO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O // *Amer. Mineral.*, 1981. 66. PP. 576-585.
2. *Sclar C.B., Morzenti S.P.* High-pressure synthesis and geophysical significance of a new hydrous phase in the system MgO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O // *GSA, Abstracts with Programs*, 1971. 3. P. 698.
3. *Wunder B., Schreyer W.* Metastability of the 10 Å Phase in the system MgO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O (MSH). What about hydrous MSH phases in subduction zones // *J. of Petrology*, 1992. 33. PP. 877-889.
4. *Chinnery N.J., Pawley A.R., Clark S.M.* In situ observation of 10 Å Phase from talk + H<sub>2</sub>O at mantle pressures and temperatures // *Science*, 1999, 286. PP. 940-942.
5. *Sclar C.B., Carrison L.C.* High-pressure reactions and shear strength of serpentinized dunite // *Science*, 1966, 153. PP. 1285 – 1286.
6. *Sclar C.B., Carrison L.C., Schwartz C.M.* High-pressure synthesis and stability of a new hydronium-bearing layer silicate in the system MgO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O // *Am. Geophys. Union Trans.*, 1965, 46. P.184.
7. *Yamamoto K, Akimoto S.-I.* High pressure and high temperature investigations in the system MgO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O // *Solid State Chem. J.*, 1974, 9. PP. 187-195.
8. *Khodyrev O.Y., Agoshkov V.M.* Phase transitions in serpentine in the MgO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O system at 40-80 kbar // *Geochem. Int.* 1986, 23(7). PP. 47-52.
9. *Pawley A.R., Wood B.J.* The high-pressure stability of talk and 10 Å phase: potential storage for H<sub>2</sub>O in subduction zones // *Am. Mineral.*, 1995, 80. PP. 998-1003.
10. *Wunder B., Schreyer W.* Antigorite: high-pressure stability in the system MgO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O (MSH) // *Lithos*, 1997, 41. PP. 213-227.
11. *Khisina N.R., Wirth R., Andrut M., Ukhanov A.V.* Extrinsic and intrinsic mode of hydrogen occurrence in natural olivines: FTIR and TEM investigation // *Phys. Chem. Minerals*, 2001, 28. PP. 291-301.

---

*Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(22) 2004*

*Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2004 года (ЕСЭМПП-2004)*

*URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2004/informbul-1/term-9.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2004/informbul-1/term-9.pdf)*

*Опубликовано 1 июля 2004 г*

© *Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2004*

*При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на "Вестник Отделения наук о Земле РАН" обязательна*