

СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРОИЛИТА ИЗ ОБЫКНОВЕННОГО ХОНДРИТА ЧЕЛЯБИНСК ПО ДАННЫМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДИФРАКЦИИ

Дюндик С.С.¹, Петрова Е.В.², Максимова Е.М.¹, Наухацкий И.А.¹

¹Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Физико-технический институт, г. Симферополь, sgoncova@gmail.com

²Уральский федеральный университет, Физико-технологический институт, г. Екатеринбург, evgeniya.petrova@urfu.ru

Различие в физико-химических условиях конденсации вещества газопылевой туманности в разных ее участках на ранних этапах формирования Солнечной системы определило специфику и разнообразие состава хондритов, представителем которых является Челябинский метеорит (LL5, S4, W0). Исследование особенностей кристаллической структуры и химического состава его минеральных фаз позволяют получать информацию о механизмах их образования.

В настоящей работе методом рентгеновской дифрактометрии была изучена кристаллическая структура троилита – FeS, выделенного из фрагмента метеорита Челябинск светлой литологии вместе с металлическими частицами. Троилит является акцессорным минералом метеоритов разных типов [Rubin, 1996] и интересен своими уникальными физическими свойствами [Ricci, Bousquet, 2016].

Предварительно общий фазовый состав порошкового образца метеорита был исследован с помощью рентгеновского дифрактометра Bruker D8 Advance. В пробе присутствуют такие минералы, как оливин $(\text{Fe,Mg})_2\text{SiO}_4$, альбит $(\text{Na,Ca})(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$, тэнит $\gamma\text{-Fe}(\text{Ni,Co})$, камасит $\alpha\text{-Fe}(\text{Ni,Co})$, троилит FeS, хромит FeCr_2O_4 , ильменит FeTiO_3 и магнетит Fe_3O_4 .

Для выделения из исследованного порошка металлических фаз (Fe-Ni-металл), включая троилит FeS, была проведена магнитная сепарация с помощью сильного неодимового магнита.

Выделенные металлические включения были исследованы методом рентгеноструктурного анализа. На дифрактограмме (рис. 1) показано наличие в металлическом порошке троилита, камасита и тэнита. Параметры элементарной ячейки троилита были определены с помощью программы UnitCell [Holland, Redfern, 1997] и составили: $a=5.954(2) \text{ \AA}$, $c=11.517(1) \text{ \AA}$, $V=353.638(1) \text{ \AA}^3$. Отличие полученных параметров решетки от табличных значений может быть обусловлено дефицитом катионов железа в кристаллической решетке троилита, приводящему к нестехиометрическому составу Fe_{1-x}S . Значение параметра нестехиометрии $x=0.094$ для исследуемого троилита было рассчитано по методике, представленной в работах [Kruse, 1990; Oshtrakh et al., 2016].

В своей эволюции вещество метеорита Челябинск подвергалось термическому и ударному метаморфизму, приводящему к деформации троилита как на уровне макро-, так и микроструктуры. К микроструктуре относят величины микродеформаций $\varepsilon=\Delta d/d$, где d – величина межплоскостных расстояний в структуре минерала и размеры областей когерентного рассеяния – кристаллитов. Судить об их величине можно по ширине дифракционных пиков, измеренной на половине их высоты [Плясова, 2010]. Для этого в рентгенограмме были выделены пики троилита и произведена их аппроксимация (рис. 2).

Для выяснения природы уширения дифракционных пиков необходимо сравнить полуширины пиков β одной и той же серии плоскостей с разными порядками отражения. Для троилита – это пики (110) и (220), интенсивность которых при аппроксимации позволяет достаточно хорошо определить их на фоне шума. Исследование, проведенное по методике [Плясова, 2010] показало, что отношение $\beta_{220}/\beta_{110}=2.26$ ближе к отношению тангенсов углов расположения дифракционных пиков $\text{tg}\theta_{220}/\text{tg}\theta_{110}=2.38$, чем к обратному отношению косинусов $\cos\theta_{110}/\cos\theta_{220}=1.19$.

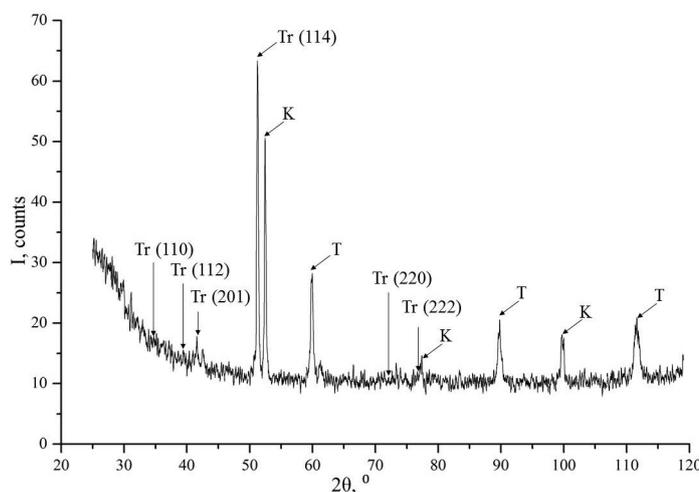


Рис. 1. Дифрактограмма выделенных металлических частиц из метеорита Челябинск (Tr – троилит, K – камасит, T – тэнит)

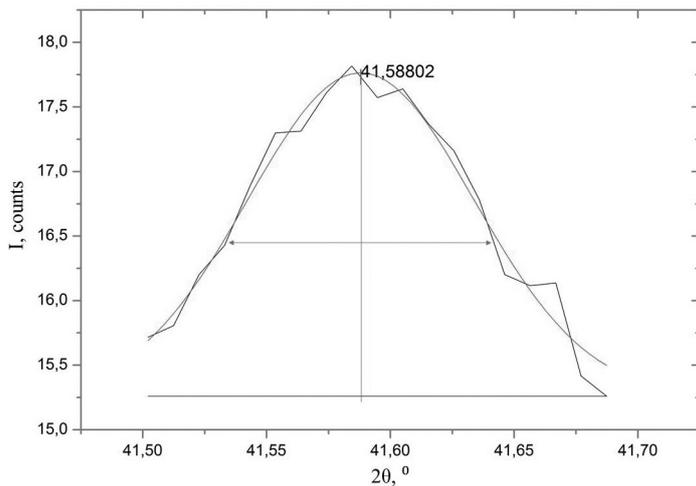


Рис. 2. Полуширина пика троилита (201), аппроксимированного функцией PostVoigt1 (суперпозицией функций Лоренца и Гаусса) в пакете программы численного анализа и графики Origin 8

Следовательно, основной вклад в параметры структуры троилита вносят микродеформации ϵ , средняя величина которых была рассчитана по формуле Уилсона-Стокса:

$$\epsilon = \beta_{hkl} / 4 \cdot \operatorname{tg} \theta$$

и составила $\epsilon = 8.87 \cdot 10^{-4}$.

Определение особенностей структуры минеральных фаз метеоритов, а также величины микроструктурных деформаций служит источником информации о процессах, происходивших с веществом начиная с момента формирования их кристаллов. Полученные значения деформации для структуры кристаллов троилита свидетельствуют о преимущественном влиянии микродеформаций, вызванных дефектами катионной подрешетки кристаллов троилита, на общую дефектность его кристаллической

структуры. Что, в свою очередь, согласуется с изученной эволюционной историей вещества хондрита Челябинск LL5.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-35-50075 мол_нр, Проекта № 0836-2020-0059, Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, и Акта 211 Правительства Российской Федерации, Соглашение № 02.А03.21.0006.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плясова Л.М. Введение в рентгенографию катализаторов. М.: МГУ, 2010. 235 с.
2. Holland T.J.B., Redfern S.A.T. Unit cell refinement from powder diffraction data; the use of regression diagnostics // Mineralogical Magazine. 1997. V. 61 (1), P. 65–77.
3. Kruse O. Mössbauer and X-ray study of the effects of vacancy concentration in synthetic hexagonal pyrrhotites // American Mineralogist. 1990. V. 75. P. 755–763.
4. Oshtrakh M.I., Klencsár Z., Petrova E.V., Grokhovsky V.I., Chukin A.V., Shtoltz A.K., Maksimova A.A., Felner I., Kuzmann E., Homonnay Z., Semionkin V.A. Iron sulfide (troilite) inclusion extracted from Sikhote-Alin iron meteorite: Composition, structure and magnetic properties // Materials Chemistry and Physics. 2016. V. 174. P. 100-111.
5. Ricci F., Bousquet E. Unveiling the Room-Temperature Magnetoelectricity of Troilite FeS // Physical Review Letters. 2016. V. 116. P. 227601.
6. Rubin A.E. Mineralogy of meteorite groups // Meteoritics & Planetary Science. 1997. V. 32. P. 231–247.