

# ДИФфуЗИОННЫЙ (НЕРАСПЛАВНЫЙ) МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ЖИДКОГО УГЛЕРОДА

Шумилова Т.Г.<sup>1,2</sup>, Исаенко С.И.<sup>1</sup>, Ткачев С.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБУН Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия;

<sup>2</sup>Research Faculty, Hawaii Institute of Geophysics & Planetology University of Hawaii,  
Honolulu, Hawaii USA;

<sup>3</sup>Advanced Photon Source, Argonne National Laboratory, Argonne IL, USA)

e-mail: shumilova@geo.komisc.ru

Плавление вещества представляет собой переход из твердого агрегатного состояния в жидкое, является фазовым переходом первого рода, происходит при поглощении тепла, каждый материал имеет свою определенную температуру

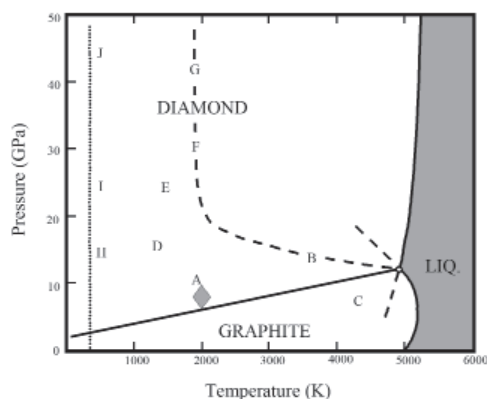


Рис. 1. Диаграмма фазового состояния углерода по Банди [3], область жидкого углерода показана серым цветом, условия экспериментального синтеза с образованием метастабильного жидкого углерода обозначены серым ромбом

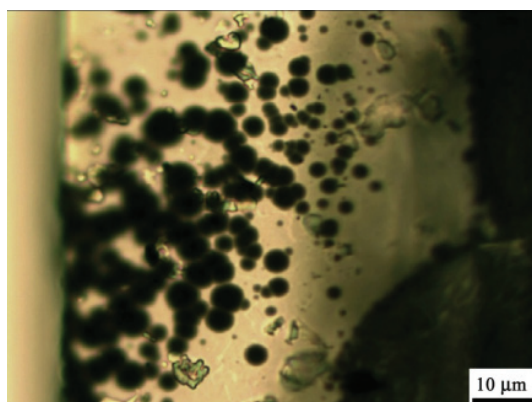


Рис. 2. Оптическое изображение фрагмента кристалла алмаза с включениями деформированных глобул стеклоподобного углерода (черное), проходящий свет, фокус изображения находится в глубине кристалла алмаза

плавления. Углерод является самым тугоплавким веществом, его плавление происходит при температуре 3800–5000К [1]. Такие высокие температуры весьма сложно достижимы с технологической точки зрения. В ходе экспериментального моделирования природных процессов алмазообразования нами получены свидетельства возможности возникновения метастабильного жидкого углерода при температуре на 2000–3000 К ниже температуры плавления углерода [2].

Синтез проводился в растворе углерода графита в карбонатном многокомпонентном расплаве системы  $K_2O-Na_2O-CaO-MgO-FeO-CO_2$  близ линии равновесия графит-алмаз (давление около 8 ГПа, температура около 2000 К, рис. 1) в аппарате высокого давления торроидального типа «наковальня с ункой», синтез произведен в ИЭМ РАН, г. Черноголовка. В качестве исходного углеродного материала был использован природный термически модифицированный графит Кумдыкольского месторождения (Северный Казахстан). Полученные продукты синтеза были выделены из пеков посредством обработки водным раствором соляной кислоты. Исходный

графит, выделенные кристаллы алмазов и сопутствующих углеродных фаз были

подвергнуты детальному анализу с применением комплекса высокоразрешающих методов.

В результате исследований в кристаллах алмаза нами обнаружены многочисленные глобулярные включения стеклоподобного углерода (рис. 2) и глобулярное строение непосредственно самих кристаллов алмаза. На основе детального анализа косвенных признаков – морфологических особенностей, спектроскопических и структурных характеристик кристаллов алмаза и сопутствующих углеродных фаз доказывається образование жидкого состояния углерода путем собирательной диффузии, формированием несмешивающихся жидкостей по типу ликвации.

На основе полученных результатов предложен механизм формирования метастабильного жидкого углерода диффузионным путем в карбонатном расплаве, который может быть основой для разработки новых технологий получения сверхтугоплавких материалов при существенно более низких температурах.

*Авторы выражают благодарность Ю.А. Литвину за помощь в проведении экспериментальных исследований.*

*Комплекс микроскопических и спектроскопических исследований продуктов синтеза проведен в ЦКП «Геонаука» (ИГ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия), структурные исследования выполнены в Аргоннской Национальной Лаборатории (APS, Argonne National Laboratory, Argonne, IL, USA).*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Savvatimskiy A.** Carbon at high temperatures. Springer Series in Materials Science. 2015. V. 134. 257 p. DOI:10.1007/978-3-319-21350-7.
2. **Shumilova T.G., Isaenko S.I., Tkachev S.N.** // Diamond & Related Materials. 2016. V. 62. P. 42–48. DOI:10.1016/j.diamond.2015.12.015.
3. **Bundy F.P., Bessett W.A., Weathers M.S. et al.** // Carbon. 1996. V. 34 (2). P. 141–153.