

**ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ НА ДИФФУЗИЮ АЗОТА В АЛМАЗАХ: ЭКСПЕРИМЕНТ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИЯХ****Ширяев А.А.** (ИК, РАН; Bayerisches Geoinstitut, Bayreuth, Germany),**Frost D. J.** (Bayerisches Geoinstitut, Bayreuth, Germany),**Langenhorst F.** (Bayerisches Geoinstitut, Bayreuth, Germany; Institut für Geowissenschaften, Jena, Germany)*shiryayev@ns.crys.ras.ru*; Факс: +7 (495) 135-10-11

Азот является основной примесью в алмазах. В синтетических кристаллах выращенных из металлических расплавах азот присутствует в виде одиночных замещающих атомов (С-дефект). Диффузия в процессе отжига приводит к образованию пар (А-дефект) и более сложных образований – В-дефектов, возможно, состоящих из комплекса 4N+V. Несмотря на ряд проведенных экспериментальных исследований кинетика процесса азотной агрегации остается дискуссионной. Степень агрегированности азота используется для получения информации об условиях пост-ростового отжига в мантии Земли. Хотя во многих случаях результаты являются достаточно надежными, времена отжига, полученные для некоторых природных кристаллов на основании изучения азотных дефектов, превышают возраст Земли. Очевидно, что некоторые физические процессы влияют на диффузию азота, замедляя или ускоряя ее. Так как подавляющее большинство природных алмазов подвергалось пластической деформации, то выяснение влияния деформации на диффузию азота представляет значительный интерес. Диффузия примесей в твердых телах тесно связана с микроструктурой. Изучение микроструктуры деформированных алмазов представляет значительный фундаментальный и прикладной интерес. Алмаз хрупок при низких температурах, однако при нагреве пластическая деформация становится возможной.

Скорость диффузии практически всех примесей в алмазе крайне низка. Поэтому единственным способом изучения влияния деформации на диффузию является изучение трансформации точечных дефектов в объеме образца. В настоящей работе мы сравнивали степень агрегации азота в недеформированных кристаллах, отожженных в квазигидростатических условиях, с дефектами в кристаллах деформированных при таких же РТ. Этот подход позволил изучить влияние напряжений на кинетику агрегации одиночных атомов азота в пары (т.е. С→А).

Эксперименты при высоких давлениях были проведены с использованием многопуансонного аппарата на 1000 и 1200 тонных прессах в ВГИ. Алмазный образец помещался в рениевую капсулу вместе с различными средами, передающими давлениями. С целью создания различных типов напряжений. Для создания квазигидростатических условий применялся порошок MgO. Для создания очень высоких напряжений алмазы окружались порошком SiC или алмаза. Также использовались твердые силикаты (оливин, гранат), иногда в смеси с порошком SiC. Эксперименты продолжительностью 4 часа проводились при 1600 °С и 6.5 ГПа.

**Результаты**

*Микроструктура.* Алмазы в исходном состоянии обладали высокой степенью совершенства решетки (данные электронной микроскопии и рентгеновской топографии). Показано, что микроструктура деформированных кристаллов сильно зависит от среды, передающей давление. При использовании MgO отжиг не приводит к значительным изменениям качества решетки. Отжиг в SiC или алмазном порошке приводит к исключительно высоким напряжениям. По данным электронной микроскопии плотность дислокаций в деформированных кристаллах достигает  $2 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$ . Все дислокации имеют вектор Бюргерса  $b = \langle 110 \rangle$ . Дислокации распределены крайне неоднородно на микронном уровне. Некоторые из алмазных частиц обладают крайне высокой плотностью дислокаций, в то время как другие довольно совершенны. Отжиг в смеси твердых силикатов приводит к совершенно другой микроструктуре: плотность наведенных дислокаций сравнительно невысока, но присутствует значительное количество механических двойников и ошибок упаковки в плоскостях (111). Рентгеновская топография указывает на ротационную пластичность и на значительное увеличение мозаичности кристаллов.

*Дефекты.* Степень агрегации азота оценивалась с помощью инфракрасной микроспектроскопии. Для каждого алмаза проводилось сравнение результатов отжига в MgO и в более твердых средах. Доля азота в форме А-дефектов после отжига не превышала 30%. Несмотря на сильную зависимость микроструктуры алмазов от среды, передающей давление, влияние деформации на диффузию азота не столь однозначно. В то время как для некоторых образцов степень агрегации была выше в «деформационных» экспериментах, в других образцах ощутимой разницы не наблюдалось. Однако в образце, отожженном в смеси карбида кремния и твердых силикатов, степень агрегации была выше, чем в контрольном образце.

В некоторых образцах отжиг приводит к появлению сильных полос между 800 и 1000  $\text{cm}^{-1}$ . Эти полосы могут представлять колебания связей металл-углерод (комплекс  $\text{MeC}_4$ ). В некоторых сильно деформированных алмазах в однофононной части спектра появляется сильная полоса в районе 1200-1220  $\text{cm}^{-1}$ . Подобные полосы наблюдались в алмазах с большим содержанием лондсдейлита. Происхождение данной полосы остается не до конца объясненным, но вероятно, что она появляется вследствие локального нарушения симметрии решетки из-за деформации. Данные малоуглового рассеяния нейтронов и рентгеновских лучей поддерживают предположение об образовании планарных примесных выделений в деформированных алмазах.

*Работа поддержана фондом им. Гумбольдта (ААШ)*

---

*Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(24) 2006*

*Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2004 года (ЕСЭМПГ-2006)*

*URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2006/informbul-1\\_2006/term-15.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2006/informbul-1_2006/term-15.pdf)*

*Опубликовано 1 июля 2006 г*

*© Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2006*

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