

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛОГИИ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА Д.С. КОРЖИНСКОГО
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

РОССИЙСКОЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

**ХII ВСЕРОССИЙСКАЯ
ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ
МИНЕРАЛОГИЯ,
ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ»**

**посвященная 95-летию со дня рождения академика
В.А. Жарикова**

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ



26-27 октября 2021 г.

Черноголовка

ЯЧЕЙКА С АЛМАЗНЫМИ НАКОВАЛЬНЯМИ – ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЕЩЕСТВА ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Спивак А.В.¹, Черткова Н.В.¹, Литвин Ю.А.¹, Захарченко Е.С.¹

¹ИЭМ РАН (г. Черноголовка), spivak@iem.ac.ru

Ячейки с алмазными наковальнями (diamond anvil cells DAC), разработанные еще в конце 1950-х, представляют собой уникальное экспериментальное оборудование для исследований вещества при высоких давлениях. Ячейка с алмазными наковальнями способна создавать рабочее давление более 300 ГПа (3 Мбар), соответствующее давлению во внутреннем ядре Земли. Алмазные наковальни слабо поглощают фотоны в широком диапазоне энергий, включая оптическую и инфракрасную части спектра, и практически прозрачны для рентгеновских лучей. Эти особенности превращают алмазные наковальни в уникальный инструмент для изучения минеральных фаз глубоких недр Земли.

Существует большое число конструкций ячеек различного назначения, отличающихся размером, углом раскрытия и т.д. По конструкции ячейки делятся на три типа: рычажные, винтовые и мембранные ячейки. Основная функция ячейки – прижатие двух алмазных наковален с достаточным усилием (порядка 3-20 кН) при сохранении идеального взаимного расположения и параллельности наковален. Алмазные наковальни, как правило, это алмазы с огранкой и плоской колетой. Колета – грань, завершающая конически сходящуюся нижнюю часть наковальни и является рабочей поверхностью. Между рабочими поверхностями двух алмазных наковален размещается металлическая прокладка с отверстием для образца. Для того чтобы получить гидростатические условия в камере с алмазными наковальнями, используют среду для передачи давления. Эта среда заполняет отверстие в прокладке, занимая пространство вокруг образца. В качестве этой среды могут быть использованы жидкости (вода, смеси этанола, метанола и воды и др.), твердые среды (NaCl, KBr, MgO, Al₂O₃ и др.), газы (неон, аргон, гелий и др.).

Оценка давления в ячейке с алмазными наковальнями осуществляется по люминесцентным, КР и дифракционным стандартам. Наиболее распространенным методом определения давления используется шкала люминесценции рубина. Рубин, допированный хромом, имеет две очень сильные линии (R_1 и R_2). При увеличении давления линии люминесценции сдвигаются в сторону больших длин волн. Оценка давления в ячейке с алмазными наковальнями также зависит и от температуры, поэтому температурная поправка должна обязательно вноситься в высокотемпературных исследованиях.

Внешний резистивный нагрев и внутренний нагрев с помощью лазера являются наиболее распространенными методами нагрева образца в аппарате с алмазными наковальнями.

На базе Института экспериментальной минералогии им. Д.С. Коржинского РАН разработана и апробирована методика проведения оптических исследований образцов *in situ* в установке высокого давления с алмазными наковальнями и внешним нагревом (Рис. 1), позволяющая работать при давлениях до 10 ГПа и температурах до 700 °С [1, 2].

Метод лазерного нагрева охватывает широкое РТ поле: давление до 200 ГПа и выше, температура в интервале 1000-5000 °С. В настоящее время существует множество систем для лазерного нагрева в аппаратах с алмазными наковальнями, в том числе ряд примеров успешного применения системы лазерного нагрева с использованием синхротронного излучения. Система лазерного нагрева, которая используется в Институте экспериментальной минералогии им. Д.С. Коржинского РАН [3] представлена на рис. 2.

Основное направление применения ячеек с алмазными наковальнями в науках о Земле – изучение вещества при воздействии давления и температуры: изучение структурных особенностей геоматериалов, возможных фазовых трансформаций, измерение электропроводности, появление свойств проводника или полупроводника и др.

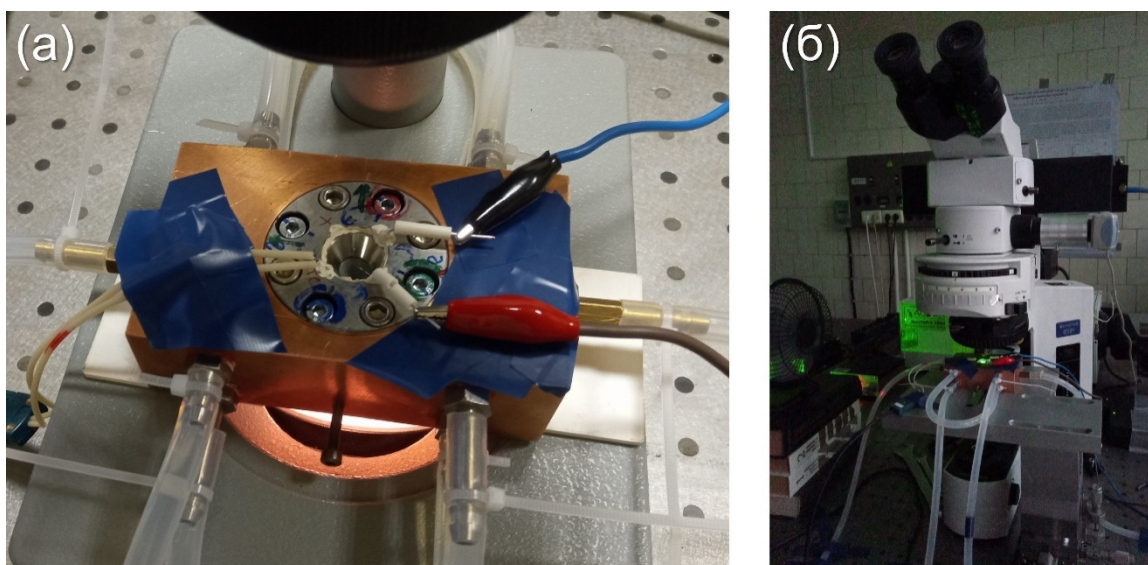


Рис. 1. Фотографии (а) ячейки с алмазными наковальнями, помещенной в блок охлаждения перед экспериментом, и (б) общий вид экспериментальной установки под микроскопом во время нагрева (б).

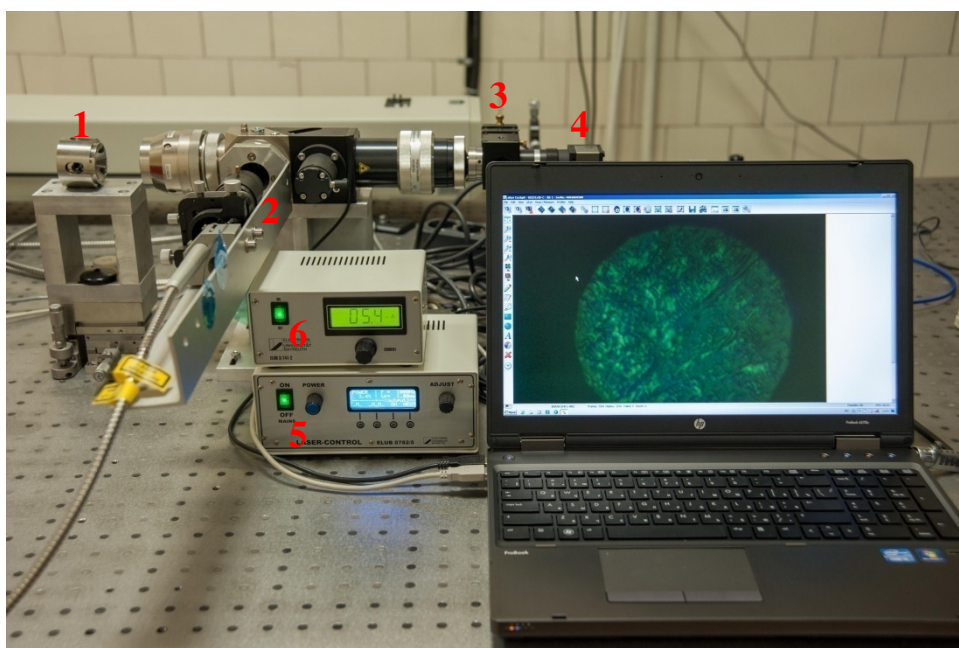


Рис. 2. Система лазерного нагрева (UniHead) в ИЭМ РАН:

- 1 – ячейка с алмазными наковальнями,
- 2 – соединение с лазером SPI100 π -shaper,
- 3 – модуль для спектроскопических измерений соединенный с UniHead со спектрометром (Ocean Optics Inc.),
- 4 – цифровая камера GigE uEye для *in situ* наблюдения за образцом во время эксперимента,
- 5 – блок управления мощностью лазера SPI100,
- 6 – блок управления мощностью освещения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-77-00079) и частично в рамках государственного задания АААА-А18-118020590140-7 Института экспериментальной минералогии имени академика Д.С. Коржинского РАН.

Литература

1. Чертова Н.В., Спивак А.В., Захарченко Е.С., Литвин Ю.А., Сафонов О.Г., Новиков А.П., Ефимченко В.С., Мелетов К.П. (2021) Установка высокого давления с внешним нагревом для *in situ* исследований фазовых переходов. *Приб. техн. эксперим.* (3), 158-160.
2. Чертова Н.В., Литвин Ю.А., Ефимченко В.С., Спивак А.В., Захарченко Е.С., Сафонов О.Г., Мелетов К.П., Бурова А.И. Применение *in situ* методов эксперимента для изучения полей стабильности водород-содержащих фаз при высоких давлениях. *Геохимия* (в печати).
3. Spivak A.V., Zakharchenko E.S., Limanov E.V., Bulatov K.M., Bykov A.A., Ismailova L.S., Zinin P.V., Safonov O.G., Litvin Yu A. (2018) Investigation at 25 - 45 GPa of solid solutions of the lowermantle ferrobridgmanite (Mg,Fe)SiO₃ in a diamond anvil cell with laser heating. *Experiment in GeoSciences*, с. 101-104