

ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИКА ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ

ТИПИЧНЫЕ ДАВЛЕНИЯ

- Футбольный мяч — 1 бар
- Автошины — 2–15 бар
- Кислородный баллон — 150 бар
- Дно Марианской впадины — 1100 бар
- Ледовая бомба (замерзшая в замкнутом сосуде вода) — 2000 бар
- Центр Земли — 4 Мбар (4 000 000 бар)

ЕДИНИЦЫ ДАВЛЕНИЯ

Долгое время в физике стандартной единицей давления был бар. Бар почти совпадает с обычной технической атмосферой, 1 бар = 0,987 атм. Диапазон доступных сейчас в лаборатории давлений простирается до нескольких мегабар, то есть миллионов атмосфер. В последние годы наука под давлением мировой метрологии перешла на систему СИ, здесь единица давления — паскаль. Паскаль неудобный, маленький, один бар — это 100 000 паскалей. Типичная для физики высоких давлений величина гигапаскаль (1 ГПа), то есть миллиард паскалей, составляет 10 000 бар.

ЛАБОРАТОРНЫЕ АППАРАТЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Физические камеры высокого давления можно разделить на три группы.

1. Камеры поршень-цилиндр. Это что-то вроде велосипедного насоса, только сделано из хороших материалов. Достоинство таких камер — довольно большой рабочий объем. Но зато диапазон давлений невелик, до 2 ГПа (20 кбар).
2. Камеры открытого типа. Обычно это два пуансона, между которыми закладывают исследуемый образец, и далее все это сдавливается прессом (в многопуансонных камерах сдавливание происходит не сверху-снизу, а с нескольких сторон). Важное значение имеет не только материал пуансонов, но и форма его профиля. Она должна обеспечить надежность работы запирающей прокладки (чтобы образец не «убежал» наружу), равномерность распределения давления в образце и т. п. Одна из самых распространенных и эффективных камер — тороид — разработана в ИФВД РАН (см. рис. 1). Диапазон давлений таких камер, в зависимости от конструкции, до 15–20 ГПа (150–200 кбар).
3. Все, что выше одной-двух сотен килобар, исследуется в алмазных наковальнях. В сущности, это два алмаза, между которыми сдавливается микроскопических размеров образец. Хотя, конечно, здесь масса технологических тонкостей — форма алмазов, обработка их поверхностей, снятие информации с образца через прозрачный алмаз. Сейчас существуют алмазные наковальни, в которых достижимо давление до 700 ГПа (7 Мбар).

Кстати, из пластиковых бутылок алмазы получаются гораздо легче, чем из прочих органических соединений. Обычно, чтобы синтезировать алмаз таким способом (этот метод называется HPHT — High Pressures High Temperatures), необходимо поднять температуру до 2000 К или вести процесс при меньших температурах, но больших временных выдержках. Например, наименьшая зафиксированная температура синтеза алмазов в системе CO-H₂O-графит — 1500 К, однако время синтеза займет часы. В нашем случае процесс занимает несколько секунд.

Благоприятные условия синтеза микроалмазов при рекордно низких температурах 1370–1470 К из PET мы связываем с тем, что водород и кислород в его молекуле содержатся в соотношении, точно отвечающему составу молекулы воды H₂O, а в его структуре имеются фрагменты sp² (бензольные кольца) и sp³ (алифатические цепочки) углерода. По-видимому, образование молекул воды стимулирует разрыв связей C-H и C-O, а «сшивка» углеродных фрагментов sp³ в процессе карбонизации PET может способствовать образованию зародышей алмаза. При этом образование алмазных зародышей будет облегчено в присутствии графеновых «подложек» — продуктов полимеризации бензольных колец.

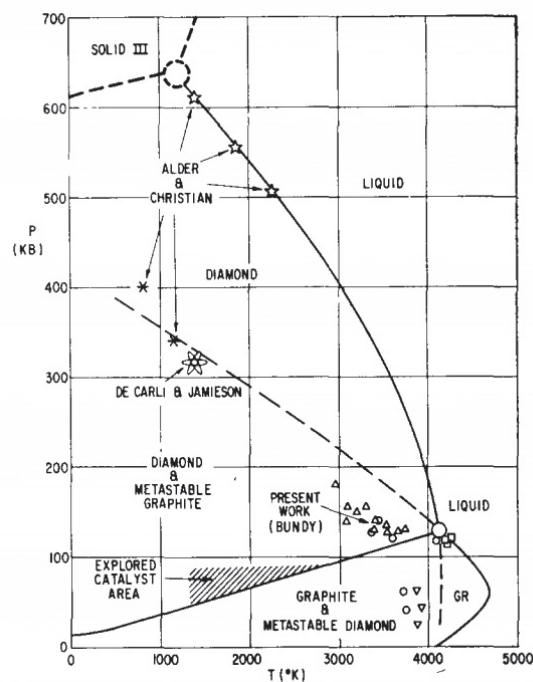
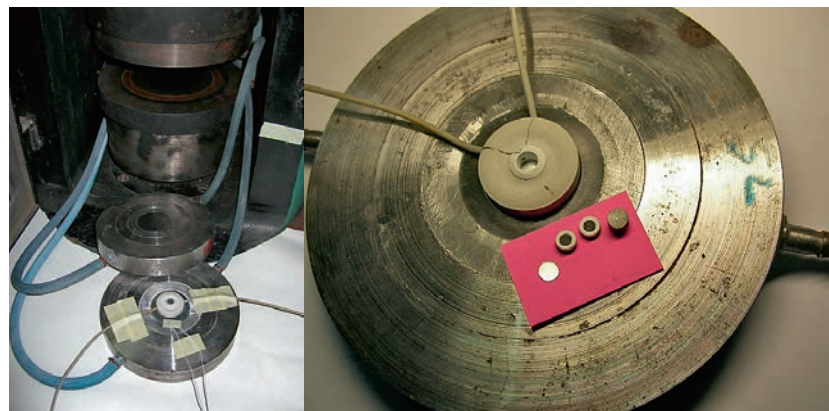
Полученные алмазы имеют размер до 10 микрон (рис. 3) и могут быть использованы для изготовления термостойкого абразивного или однокристалльного микроинструмента, востребованного в связи с развитием нанотехнологий.

Если снизить параметры синтеза, например до 2–3 ГПа и температуры 700 К, то в эксперименте будет получен графитоподобный углерод (рис. 4). Оптимизация параметров термобарической обработки PET в камерах высокого давления с получением безвредного графитоподобного углерода — задача ближайших исследований. По результатам исследований станет ясно, можно ли создать сосуд высокого давления для промышленной переработки PET при статических давлениях. Нельзя исключить, что более перспективным может оказаться использование взрывных технологий создания высоких давлений и температур для переработки PET; в этом случае ограничений по объемам перерабатываемого PET не возникает, попутно решается задача утилизации взрывчатых веществ.

КСЕНИЯ КОНДРИНА, 11-й физико-математический класс, лицей города Троицка;
Институт физики высоких давлений РАН

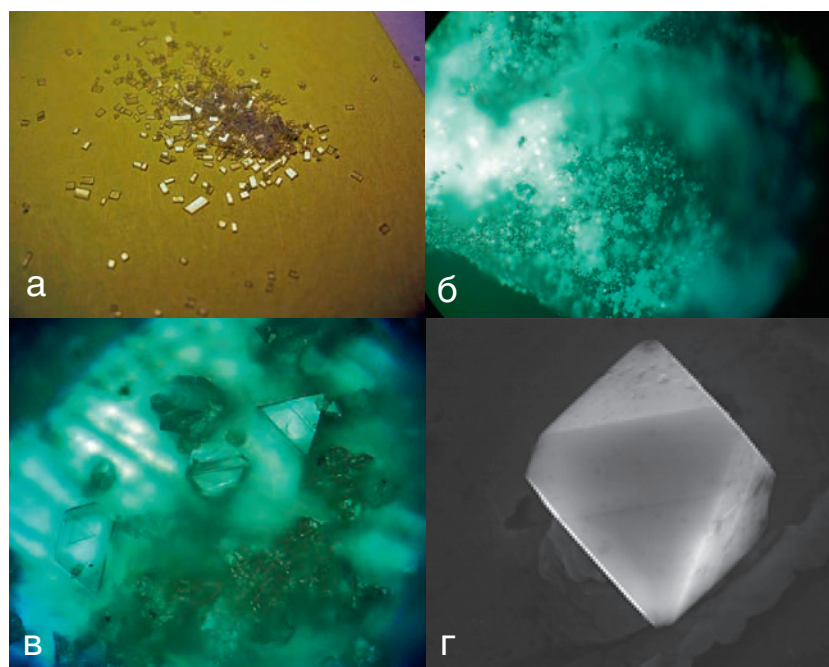
ЕВГЕНИЙ ЕКИМОВ, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт физики высоких давлений РАН

__Рис. 1. Пресс, камера высокого давления тороид-15 и элементы контейнера



__Рис. 2. Диаграмма состояния углерода, 10кВ=1ГПа. Источник: F.P. Bundy, Direct conversion of graphite to diamond in static pressure apparatus, J. Chem. Phys. 38, 631 (1963)

__Рис. 3. Кусочки пластиковой бутылки из PET (а) и синтезированные микроалмазы: фотографии (б, в) и электронной микроскопии (г).



__Рис. 4. Графитоподобный углерод, полученный при разложении PET при давлении 2-3 ГПа и температурах 700 К

