

Особый интерес представляют и агаты, выполняющие полости выщелачивания (83663) в силицифицированных (окремнелых) карбонатных породах, причем форма халцедонового (агатового) выполнения определяется в этом случае формой полости выщелачивания — иногда она сравнительно изометрична (83671), иногда весьма причудлива (83672, 83673). Превосходные агаты этого типа известны в окрестностях г. Голутвина (примерно в 120 км к юго-востоку от Москвы) (83679, 83677, 83732; рис. 17), д. Старая Ситня (83680). Некоторые из их месторождений отличаются обилием хорошо развитых псевдосталактитов (83675, 73498, 83674, 74020, 83636). Для этих агатов также установлены каналы (ОП 3413, 83669). Близки к описанным и агаты в силицифицированных карбонатах г. Кособа, Целиноградская область Казахстана (83750, 73751, 83749, 83748, 83746), где установлены также флюорит и псевдоморфозы облекания его халцедоном (83750).

Наконец, халцедон возникает в полостях коралловых построек при силицификации кораллов. Превосходные образцы этого типа известны на побережье Флориды (75349, 75348, 75351, 75347, ПДК 6387), причем их образование связывают с современным выделением кремнезема из воды океана. Известны и псевдоморфозы халцедона по кораллам (ПДК 4076), в том числе одиночным (ПДК 1270, 1019, 1278; рис. 18).

Кремнезем в больших массах высвобождается в корях выветривания, развивающихся, в частности, по ультраосновным породам. Вместо агата в этом случае, однако, образуются кахолонговые желваки (ПДК 6222), скопления полуопала, иногда полупрозрачные. С корой выветривания связано и образование прожилков в песчанике знаменитых австралийских месторождений благородного опала (30541, 82440).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Годовиков А.А., Рупинен О.И., Моторин С.Г.* Агаты. М.: Недра, 1987. 348 с.
2. *Слегов В.А.* Морфология кремнистых тел в карбонатных породах Подмосковья и их генезис // Новые данные о минералах СССР. 1978. Вып. 26. С. 112–119.
3. *Пилипенко П.П.* К вопросу о генезисе агатов // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1934. Т. 12 (2). С. 281–295.
4. *Heddlе M.F.* The mineralogy of Scotland. Edinburg: Douglas. 1901. Vol. 1. P. 58–84.
5. *Quick G.* The book of agates. Rander (Pa): Chilton. 1974. 232 p.

УДК 549.211

А.А. ГОДОВИКОВ

ПОСЛЕДНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ, ВЫПОЛНЕННЫЕ В НАЦИОНАЛЬНОМ ИНСТИТУТЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ЯПОНИИ (Обзор)

Во время поездки в сентябре 1984 г. в Японию мне представилась возможность ознакомиться с лабораторией высоких давлений Национального института для исследования неорганических материалов (NIRIM) Агентства науки и технологии Японии и с последними достижениями, полученными в ней. Поскольку эти работы могут представлять интерес для многих минералогов, кристаллохимиков, исследователей в области физики и химии твердого тела и других специалистов, ниже дается краткая их характеристика.

ИССЛЕДОВАНИЯ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ НА АЛМАЗНЫХ НАКОВАЛЬНЯХ

Для этих целей в группе была разработана усовершенствованная установка с алмазными наковальнями для рентгенодифрактометрических исследований до 250 кбар. Описаны схемы установки, монтаж наковален и приведены дифрактограммы GaAs (при 1 и

150 кбар) и кристаллического иода (при 206 кбар) [21]. Позже [22] было показано, что, если зависимость длины волны линии флюоресценции рубина для измерения температуры при высоком давлении от температуры линейна, давление (до 59 кбар) искажает эту монотонность, что необходимо учитывать в работе. В заключительной статье по этой методике [20] авторы сообщают, что в алмазной ячейке хорошие результаты по определению давления по R -линии рубина достигаются при использовании в качестве среды, передающей давление, смесей на основе спирта до 100 кбар, а жидкого азота до 200 кбар, тогда как температурные возможности ограничиваются 400°C , поскольку выше этой температуры интенсивность R -линии резко падает. Все эти работы носили оценочный характер относительно целесообразности использования указанной аппаратуры для экспериментальных работ. В настоящее время сотрудники группы оставили эти исследования, поскольку они дают материал лишь для теоретических построений и не ведут к синтезу значительных количеств вещества. Кроме того, они выполняются в той области давлений (до 200–250 кбар), которые пока еще недостижимы на аппаратуре, позволяющей использовать большие объемы, необходимые для синтеза сверхтвердых веществ и выращивания их кристаллов, которым посвящены основные усилия группы.

ИССЛЕДОВАНИЯ НА АППАРАТАХ ТИПА БЕЛТ¹

Группа высоких давлений практически с момента своего создания проводит исследование по синтезу алмаза и других сверхтвердых материалов, их спеканию, выращиванию кристаллов алмаза. Так, ей удалось вырастить кристаллы алмаза до 5 мм в ребре², исследовать особенности морфологии кристаллов алмаза, скульптуру поверхности их граней [5, 12–16], изучить условия спекания алмаза [5], $c\text{BN}$ ³, композиций алмаза и $c\text{BN}$, $c\text{BN}$ и $h\text{BN}$. Особое внимание было обращено на условия синтеза $c\text{BN}$ из $h\text{BN}$ с использованием в качестве флюса $\text{Ca}_3\text{B}_2\text{N}_4$ [8, 18]. Была изучена соответствующая фазовая диаграмма, выяснены некоторые детали механизма роста, в частности образование тонкой промежуточной пленки.

Цикл экспериментальных и теоретических исследований был посвящен изучению фазовых переходов оксидов $A_xB_yO_z$ под высоким давлением [10]. На этих результатах следует остановиться подробнее, поскольку авторами были установлены общие правила фазовых переходов в тройных оксидах под высоким давлением, имеющие как общетеоретическое значение, в том числе для предсказания кристаллических структур оксидов, так и определенное значение для разработки научной (естественной) систематики оксидов и, в частности, соответствующих минералов.

В качестве основных параметров, с которыми авторы связывали изменение структуры при изменении P – T условий, были выбраны $K = r_A/r_B$ и $t = r_C/r_O$, где r_A , r_B , r_O – ионные радиусы (по [19]) катионов групп A , B и аниона кислорода соответственно, а $r_C = (x r_A + y r_B)/(x + y)$, где x и y – формульные единицы при катионах A и B , т.е. r_C является средним катионным радиусом.

Эмпирически было установлено, что графики зависимости K от t позволяют лучше классифицировать рассматриваемые оксиды и установить последовательность смены отдельных структурных типов при повышении давления, чем это удавалось до сих пор. При этом ось t на графиках отвечает увеличению плотности упаковки, увеличению давления, при котором устойчив данный полиморф.

Наиболее подробно были рассмотрены оксиды типа ABO_4 . Имеющиеся данные о фазовых переходах под давлением авторы обобщили в виде таблицы (табл. 1) и схематического рисунка изменения структур и координационного числа (КЧ) в этих оксидах в

¹ Краткая характеристика использованной аппаратуры и некоторые методические особенности экспериментов описаны в последнем разделе.

² Мне демонстрировали двойниковый сросток такого размера, в основной массе черный, не прозрачный и лишь в отдельных местах (доли миллиметра) бесцветный и прозрачный.

³ Индексами c и h при BN обозначены кубическая и гексагональная модификация соответственно.

Т а б л и ц а 1

Фазовые переходы под давлением в оксидах ABO_4 [9, 10]

Вещество	Тип устойчивой структуры	
	нормальное давление	высокое давление
$BPO_4, BaSO_4$	<i>H</i> -кварцалита	<i>L</i> -кварца
$AlAsO_4$	<i>L</i> -кварца	Рутила
$AlPO_4$	<i>L</i> -кварца	$CrVO_4$
$CrVO_4$	$CrVO_4$	Рутила
$CdCrO_4$	$CrVO_4$	Шеелита
$LnAsO_4$ ($Ln = Sm-Lu, Sc$)	Циркона	Шеелита
$LnVO_4$ ($Ln = Pr-Lu, Sc$)		
$CeVO_4$	Циркона	Монацита
$PrAsO_4, NdAsO_4$	Монацита	Шеелита
$BaWO_4, PbWO_4$	Шеелита	$BaWO_4$ -II
$InSbO_4$	Рутила	α - PbO_2
$FeTaO_4$	Рутила	Вольфрамита
$AMoO_4$ ($A = Ni, Co, Mn, Mg$)	α - $MnMoO_4$	Вольфрамита
$ASeO_4$ ($A = Mn, Mg, Co, Cu, Zn$)	$ZnSO_4$	$CrVO_4$

Т а б л и ц а 2

Изменение КЧ катионов и приведенного объема элементарной ячейки (V/Z , в \AA^3) для различных модификаций $FeVO_4$ [9]

Модификация	I	II	III	IV	V
Тип структуры	Триклинная	$CrVO_4$	Рутила	α - PbO_2	Вольфрамита
КЧ у Fe^{3+}	5,6	6	6	6	6
КЧ у V^{5+}	4	4	6	6	6
V/Z	78,2	71,9	67,8	61,3	60,4
Изменение объема					

координатах K и t (рис. 1), причем последняя из них в общем случае отвечает увеличению плотности упаковки, т.е. увеличению давления.

Из оксидов ABO_4 более подробно был рассмотрен $FeVO_4$, для которого установлено 5 полиморфов (рис. 2) с общим изменением объема при переходе от модификации I к модификации V, составляющим 23% (табл. 2). При этом было установлено, что последовательность смены структур $FeVO_4$ в зависимости от T и P хорошо соответствует общей последовательности изменения структур оксидов ABO_4 в координатах K и t (см. рис. 1).

Исходя из изложенного, О. Фукунага и С. Ямаока приходят к выводу, что они получили не только классификационную диаграмму для оксидов ABO_4 , распределяющую их по различным структурным типам в зависимости от кристаллохимических параметров K и t , но и диаграмму изменения структур полиморфных модификаций веществ указанного типа в зависимости от T и P .

Особого внимания здесь заслуживает то обстоятельство, что диаграмма, показанная на рис. 1, имеет большое сходство с диаграммой зависимости структур соединений типа $2AO_2 \rightarrow ABO_4 \rightarrow M [TO_4]$ от таких фундаментальных свойств элементов, как их сило-

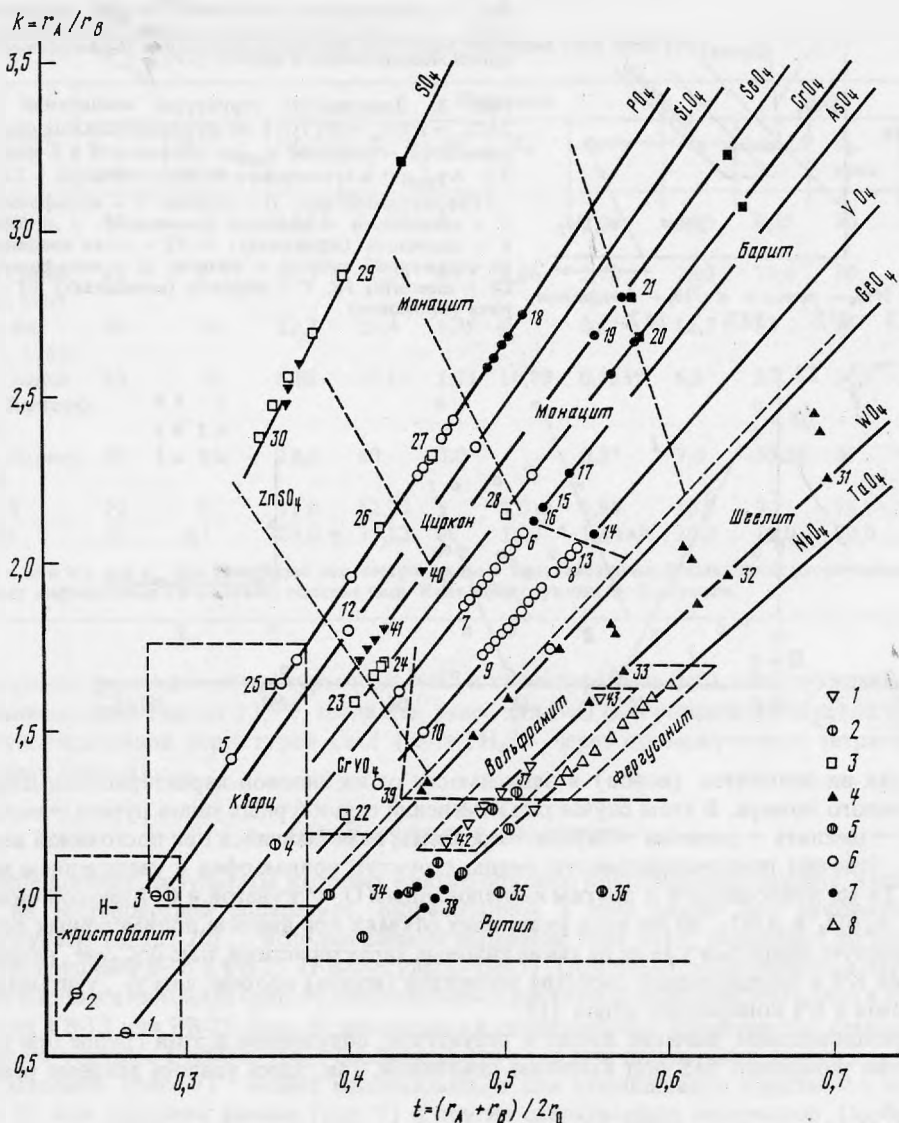


Рис. 1. Распределение оксидов ABO_4 по структурным типам в зависимости от параметров $k = r_A / r_B$ и $t = (r_A + r_B) / 2r_0$ [9]

Структурный тип: 1 – вольфрамита, 2 – кварца, 3 – барита, 4 – шеелита, 5 – рутила, 6 – циркона, 7 – монацита, 8 – фергусонита; цифры отвечают: 1 – $BAsO_4$; 2 – BPO_4 ; 3 – SiO_4 ; 4 – $AlAsO_4$; 5 – $AlPO_4$; 6 – $SmAsO_4$; 7 – $LuAsO_4$; 8 – $PrVO_4$; 9 – $LuVO_4$; 10 – $ScVO_4$; 11 – $ScAsO_4$; 12 – $ZrSiO_4$; 13 – $CeVO_4$; 14 – $LaVO_4$; 15 – $PrAsO_4$; 16 – $NdAsO_4$; 17 – $LaAsO_4$; 18 – $LaPO_4$; 19 – $SrSeO_4$; 20 – $PbCrO_4$; 21 – $PbSeO_4$; 22 – $CrVO_4$; 23 – $NiCrO_4$; 24 – $ZnCrO_4$; 25 – $CrPO_4$; 26 – $InPO_4$; 27 – $TiPO_4$; 28 – $CdCrO_4$; 29 – $MnSO_4$; 30 – $NiSO_4$; 31 – $BaWO_4$; 32 – $PbWO_4$; 33 – $CaWO_4$; 34 – TiO_2 ; 35 – SnO_2 ; 36 – PbO_2 ; 37 – $InSbO_4$; 38 – $FeTaO_4$; 39 – $FeVO_4$; 40 – $MnSeO_4$; 41 – $ZnSeO_4$; 42 – $NiWO_4$; 43 – $CaWO_4$, $CdWO_4$

вые характеристики $\Delta\gamma_{орбн+}$ [2] и атомные номера ΣZ (рис. 3), построенной для выявления основ систематики оксидов, установления их принципиальной связи с оксоосолями в ряду простые оксиды \rightarrow сложные оксиды \rightarrow оксоосоли [3]. Все это представляется особо важным, поскольку позволяет подойти к предсказанию возможных структур полиморфов исходя не из характеристик самих этих структур, а лишь из свойств обра-

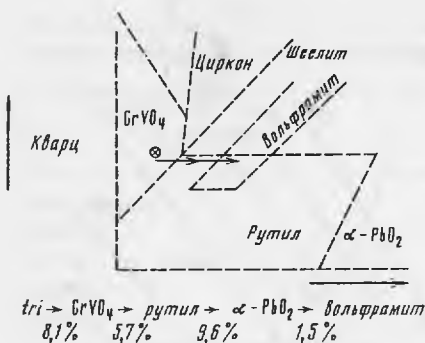
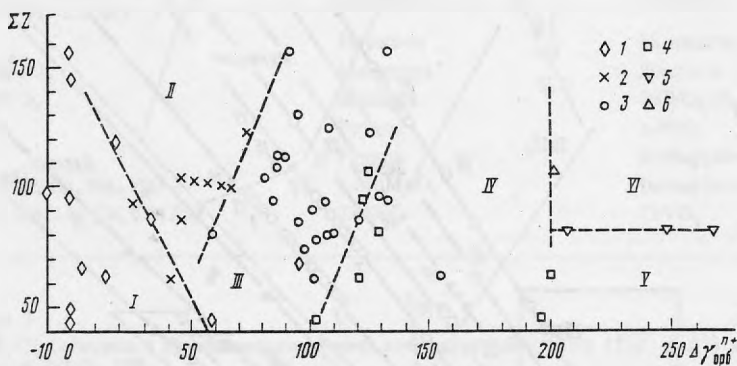


Рис. 2. Модификации высокого давления соединения FeVO₄ и увеличение плотности (в %) при переходе от одной модификации к другой [10]

Рис. 3. Зависимость структуры соединений типа 2AO₂ → AVO₄ → M[TO₄] от фундаментальных свойств элементов — разности $\gamma_{орб^{n+}}$ катионов А и В или М и Т — $\Delta\gamma_{орб^{n+}}$ и суммарного атомного номера — ΣZ [3]

Структурный тип: 1 — рутила, 2 — вольфрамита; 3 — шеелита, 4 — циркона (монацита), 5 — барита, 6 — англезита (крокоита); I—VI — поля соединений со структурой типа: I — рутила; II — вольфрамита; III — шеелита; IV, V — циркона (монацита); VI — барита (крокоита)



зующих их элементов (ионов) в зависимости от их силовой характеристики $\Delta\gamma_{орб^{n+}}$ и атомного номера. В этом случае ряд изменений структурных типов рутила → вольфрамита → шеелита → циркона → барита → крокоита, намечающийся при постоянной величине ΣZ , отвечает последовательности смены структур полиморфов с увеличением давления. То же приложимо и к другим исследованным О. Фукунагой и С. Ямаокой оксидам типа A_2BO_4 и ABO_3 , но во всех указанных случаях при анализе полиморфных переходов следует опираться уже не на такие силовые характеристики, как $\Delta\gamma_{орб^{n+}}$, не зависящие от КЧ и определяющие свойства элементов (ионов) вообще, а на γ_i , учитывающие различия в КЧ конкретных ионов [1].

Принципиальное значение имеют и результаты, полученные в этой группе при исследовании поведения BaS под высоким давлением. Так, здесь удалось впервые реализо-

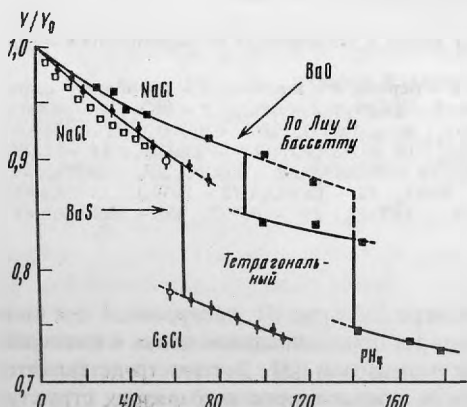


Рис. 4. Кривые сжимаемости BaS и BaO

Залитые и светлые кружки с указанными ошибками измерений — по С. Ямаока и др. [22, 23]; светлые квадраты — по П.В. Бриджмену для BaS [7]; залитые квадратики — по Л.Лиу и В.А. Бассетту [17]

Т а б л и ц а 3

Геометрические параметры аппаратов высокого давления типа Белт [10]

Авторы	Параметр										
	θ_c , град	ϕ_c , град	d_c	l_c	m	R_c	l_c/d_c	d_a	l_a	ϕ_a , град	l_a/d_a
Х.Т. Холл, 1960	83	11	10,16	24,23	0		2,39	8,89	6,35	30	0,714
К.В. Склар и др., 1963	86	4	12,7	21,66	0	4,06	1,70	7,62	10,6	30	1,39
А.П. Янг и др., 1963	90	35	12,7	25,4	6,35	0	0,5*	12,7	13	35	1,02
Ф.П. Банди, Р.Х. Венторф, 1963	83	38	5,02	23,15	1,77	16,83	0,353*	6,5	23	27,5	3,54
Р.Ф. Лоренц, 1973	40	35	10,0	60	3,0		0,3*	7,0	33,28	35	4,75
FB-13	72	0	13,0	12,22	5	6,0	0,94	10,0	9,2	16,7	0,92
FB-25	72	7	25,0	35,12	0	16,0	1,40	20,0	19,0	20,0	0,95

П р и м е ч а н и е. Все линейные параметры даны в мм; звездочкой выделены рассчитанные величины; маркировка FB означает аппарат типа Белт конструкции О. Фукунаги.

вать прямой переход от структуры типа NaCl к структуре типа CsCl, сопровождающийся уменьшением объема на 13,7%, тогда как ранее для BaO был установлен переход к фазе с разупорядоченной структурой CsCl (типа Pn_4I) через промежуточную тетрагональную фазу (рис. 4).

АППАРАТУРНЫЕ РАЗРАБОТКИ

Исследования, результаты которых кратко описаны в предыдущем разделе, выполнялись на нестандартной аппаратуре, разработанной в этой группе под руководством О. Фукунаги [6, 11, 20], с использованием аппаратов типа Белт, названных по руководителю группы FB-13 и FB-25 (FB-Фукунага-Белт). Основные геометрические параметры их поршня и цилиндра (рис. 5) сопоставлены с другими аппаратами этого типа в табл. 3. Аппарат FB-13 или FB-25 (рис. 6) помещался в подштамповое пространство стандартного пресса усилием 14000 т [16]. В зависимости от задачи стандартная ячейка для высоких давлений (рис. 7) может использоваться для выращивания кристаллов алмаза (рис. 8) или спекания алмаза (рис. 9) и других сверхтвердых материалов. Особой заслугой является широкое использование в качестве среды, передающей давление, NaCl. В то же время это не чистый NaCl, как это можно понять из различных публикаций соотрудников, а с примесью до 15–20% порошка ZrO_2 .

Цилиндр аппарата FB-25 выдерживал около 200 опытов в условиях высоких температур и давлений, прежде чем требовалась замена сердечника из материала на основе карбида вольфрама. Мелкие же волосяные трещины, параллельные оси нагружения, развиваются постепенно после 100 опытов. Поршень оказался более стоек, чему способствовала, очевидно, закалка во время опытов.

Кроме отмеченных выше аппаратурных разработок, в специальном здании NIRIM (корпус 11) заканчивается монтаж пресса усилием до 30 000 т, для которого разработан крупный аппарат типа Белт [4]. Сам пресс имеет основание $3,8 \times 2,2$ м, высоту около 8 м и общую массу около 160 т. Столь небольшие его габариты¹ были достигнуты

¹ О. Фукунага [4] подчеркивает, что этот пресс усилием в 30 000 т примерно в 30 раз меньше по массе пресса на 50 000 т, установленного в Институте физики высоких давлений АН СССР.

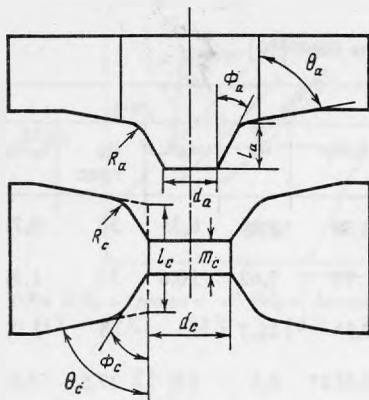


Рис. 5. Геометрические параметры поршня и цилиндра аппаратов типа Белт [9]

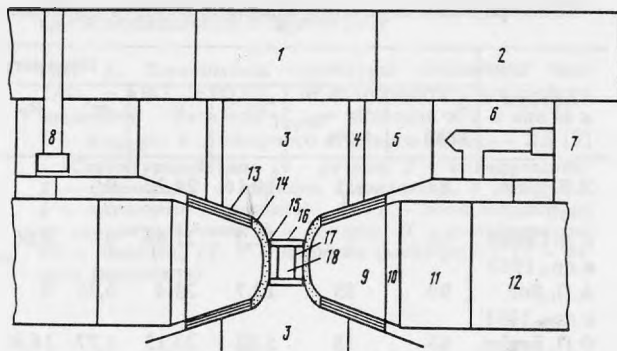


Рис. 6. Схематическое сечение усовершенствованного аппарата типа Белт FB-25

1 — опорная плита из WC; 2 — стальное кольцо; 3 — поршень из WC; 4 — прокладка; 5, 6 — стальные кольца; 7 — ввод холодной воды; 8 — стягивающий болт; 9 — цилиндр из WC; 10 — прокладка; 11, 12 — стальные кольца; 13 — бумажное уплотнение; 14 — пиррофиллитовое уплотнение; 15 — стальное кольцо; 16 — изолятор; 17 — графитовый нагреватель; 18 — пространство для образца [16]

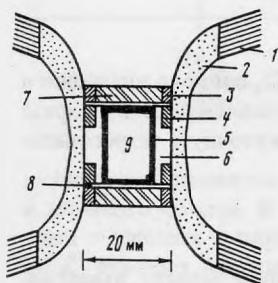


Рис. 7

Рис. 7. Схематический разрез ячейки аппарата высокого давления

1 — бумажное уплотнение; 2 — пиррофиллитовое уплотнение; 3 — тоководное подводящее кольцо; 4 — стальное кольцо; 5 — графитовый нагреватель; 6 — смесь NaCl и ZrO_2 ; 7 — ZrO_2 ; 8 — пластины Mo; 9 — пространство для выращивания алмаза [13]

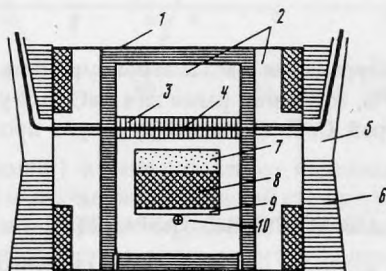


Рис. 8

Рис. 8. Ячейка для выращивания алмаза методом температурного перепада

1 — графитовый нагреватель; 2 — плотный порошок NaCl; 3 — пластина из нитрида бора; 4 — Pt-Rh-термопара; 5 — специальный цемент; 6 — пиррофиллит; 7 — источник углерода; 8 — никелевый род; 9 — платиновая фольга; 10 — затравочный кристалл [15]

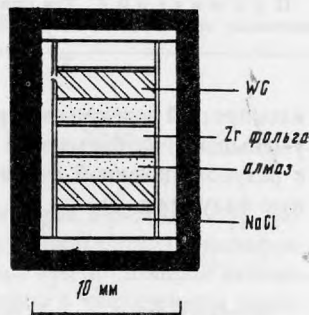


Рис. 9

Рис. 9. Ячейка для спекания алмаза под высоким давлением [5]

благодаря намотке по его внешнему периметру около 400 км холоднотянутой струнной проволоки из высокопрочной стали (предел текучести стали 160 кг/мм^2) с натяжением около 100 кг/мм^2 . Эта проволока имела сечение $6 \times 1,5 \text{ мм}$ и укладывалась в желоб шириной 900 и глубиной 200 мм. Намотка проволоки на станину выполнялась непосредственно на месте установки пресса с помощью специального приспособления¹.

Для этого же пресса разработан аппарат высокого давления типа Белт FB-120. Его цилиндр трехслойный. Внутренняя гильза изготовлена из твердого сплава — быстрорежущей стали SKH-9 ($HRC \sim 64$) — и охлаждается водой во время работы до 200°C . Следующее кольцо изготовлено из стали SKD-61, а наружное — из SKT-4. Каждое из колец имеет коническую поверхность и запрессовывается в предыдущее с использованием в качестве смазки порошка MoS_2 . Диаметр рабочего отверстия камеры 120 мм. Поршень

¹ Было израсходовано 27 т проволоки, подаваемой с барабанов по 250 кг.

аппарата FB-120 двухслойный. Внутренняя его часть изготовлена также из стали SKH-9 и посажена в натяг на конус во внешнее кольцо из стали JIS. Диаметр рабочей части поршня 150 мм. Аппарат FB-120 рассчитан на достижение давления до 60 кбар и температуры до 1600°С в рабочей ячейке объемом около 1000 см³.

Во время моего посещения NIRIM аппарат FB-120 был уже полностью готов. К концу года намечалось закончить монтаж пресса на 30 000 т и приступить к первым экспериментам на нем с аппаратом FB-120. В качестве первоочередных исследований предполагается изучение условий выращивания кристаллов алмаза, пригодных прежде всего для технических целей (полупроводниковые алмазы, высокоэффективные теллостоки и т.п.). Имеется план выращивания кристаллов алмаза массой до 20 карат и более.

Кроме того, аппарат FB-120 предполагается использовать также для получения спеченных сверхтвердых материалов большого размера, обработки более дешевой технологии производства кубического нитрида бора для абразивного инструмента, совершенствования оборудования для формовки крупных керамических изделий, исследования новых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Годовиков А.А. Химические основы систематики минералов. М.: Недра, 1979. 304 с.
2. Годовиков А.А. Периодическая система Д.И. Менделеева и силовые характеристики элементов. Новосибирск: Наука, 1981. 94 с.
3. Годовиков А.А. Минералогия. 2-е изд. М.: Недра, 1983. 647 с.
4. Фукунага О. Разработка установки для создания высокого давления с рабочей камерой большого объема. Сэрамиккусу, 1984. Т. 19, № 8. С. 637–643. На яп. яз.
5. Akaishi M., Kanda H., Sato Y., Setaka N., Ohsawa T., Fukunaga O. Sintering behaviour of the diamond-cobalt system at high temperature and pressure // J. Mater. Sci. 1982. Vol. 17. P. 193–198.
6. Akaishi M., Sato Y., Setaka N., Tsutsumi M., Ohsawa T., Fukunaga O. Effect of additive graphite on sintering of diamond // Amer. Ceram. Soc. Bull. 1983. Vol. 62, N 6. P. 689–694.
7. Bridgman P.W. The measurements of hydrostatic pressure to 30,000 kg/cm² // Proc. Amer. Acad. Arts and Sci. 1940. Vol. 74. P. 1–21.
8. Endo T., Fukunaga O., Iwata M. The synthesis of cBN using Ca₃B₂N₄ // J. Mater. Sci. 1981. Vol. 16. P. 2227–2232.
9. Fukunaga O., Yamaoka S. Phase transformations in ABO₄ type compounds under high pressure // Phys. and Chem. Miner. 1979. Vol. 5. P. 167–177.
10. Fukunaga O., Yamaoka S. A comprehensive rule of pressure induced phase transformations in ternary oxides // High pressure science and technology. N.Y.: Pergamon press, 1980. P. 407–413.
11. Fukunaga O., Yamaoka S., Endo T., Akaishi M., Kanda H. Modification of belt-like high-pressure apparatus // Ibid. N.Y.: Plenum Publ. Corp., 1979. Vol. 1. P. 846–852.
12. Kanda H., Akaishi M., Setaka N., Yamaoka S., Fukunaga O. Surface structures of synthetic diamonds // J. Mater. Sci. 1980. Vol. 15. P. 2743–2748.
13. Kanda H., Fukunaga O. Growth of large diamond crystals // Advances in Earth and Planetary sciences. 1982. Vol. 12: High-pressure research in geophysics. P. 525–535.
14. Kanda H., Setaka N., Ohsama T., Fukunaga O. Asymmetries of the crystal shapes of synthetic diamonds // J. Cryst. Growth. 1981. Vol. 51. P. 629–631.
15. Kanda H., Setaka N., Ohsama T., Fukunaga O. Growth condition for the dodecahedral form of synthetic diamonds // Ibid. 1982. Vol. 60. P. 441–444.
16. Kanda H., Setaka N., Ohsawa T., Fukunaga O. Impurity effect on morphology of synthetic diamond // Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 1984. Vol. 22. P. 209–212.
17. Liu L., Bassett W.A. Effect of pressure on the crystal structure and lattice parameters of BaO // J. Geophys. Res. 1972. Vol. 77. P. 4934–4937.
18. Sato T., Endo T., Kashima S., Fukunaga O., Iwata M. Formation mechanisms of cBN crystals under isothermal conditions in the system BN–Ca₃B₂N₄ // J. Mater. Sci. 1983. Vol. 18. P. 3054–3062.
19. Shannon R.D., Prewitt C.T. Revised values of effective ionic radii // Acta crystallogr. 1970. Vol. 1326. P. 1046–1048.
20. Shimomura O., Yamaoka S., Nakazawa H., Fukunaga O. Application of a diamond-anvil cell to high-temperature and high-pressure experiments // Advances in Earth and Planetary sciences. 1982. Vol. 12: High-pressure research in geophysics. P. 49–60.
21. Takemura K., Shimomura O., Tsuji K., Minomura S. Diamond-anvil pressure cell for X-ray diffraction with SSD and PSPC system // Techn. Rep. ISSP. A. 1979. N 973. P. 1–17.
22. Yamaoka S., Shimomura O., Fukunaga O. Simultaneous measurements of temperature and pressure by the ruby fluorescence line // Proc. Jap. Acad. B. 1980. Vol. 56, N 3. P. 103–107.
23. Yamaoka S., Shimomura O., Nakazawa H., Fukunaga O. Pressure-induced phase transformation in BaS // Solid. State Commun. 1980. Vol. 33. P. 87–89.