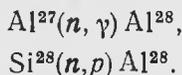


Ю. Л. ОРЛОВ, П. Н. КОДОЧИГОВ, А. Д. КУРИНОВ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ АЛЮМИНИЯ И КРЕМНИЯ
В АЛМАЗАХ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННЫМ МЕТОДОМ**

При проведении полуколичественных эмиссионных анализов среди примесей посторонних элементов, присутствующих в алмазах, постоянно фиксируются кремний и алюминий. С помощью нейтронно-активационного анализа (Кодочигов и др., 1966, 1967; Орлов и др., 1968) уже были выполнены точные количественные измерения для многих элементов-примесей, кроме кремния и алюминия. В данной работе применена специальная методика, позволяющая раздельно установить количества активности короткоживущего радиоизотопа Al^{28} , которые получаются при активации алюминия и кремния, присутствующих в алмазах. Использовались следующие реакции.



Реакции $(n\gamma)$ и (n, p) осуществлялись при облучении нейтронами кристаллов алмазов без кадмиевого экрана и в кадмиевом экране (последний снижает эффективность активации Al в 65,5 раза). Одновременно в одинаковых условиях с алмазами облучались эталоны алюминия и кремния известной массы. Облучение проводилось на реакторе ВВР-Ц в канале с пневмопочтой при потоке тепловых нейтронов $f_{т.н.} = 2 \cdot 10^{12}$ нейтр/см²сек и быстрых $f_{б.н.} = 1,8 \cdot 10^{11}$ нейтр/см²сек. После каждого облучения кристаллы алмазов промывались разбавленным раствором азотной кислоты и водой для удаления внешних загрязнений. Исследования проводились по γ -излучению Al^{28} с помощью сцинтилляционного спектрометра типа Р-4050 с четырьмя параллельными датчиками, имеющими кристаллы NaI (Tl) размером 70·70 мм.

Сначала кристаллы алмазов и эталоны Al и Si облучались в Cd-экране в течение 10 мин, затем измерялись γ -спектры за 2 мин. После полного распада Al^{28} кристаллы алмазов и эталоны алюминия и кремния облучались вторично, но без экрана в идентичных условиях в течение 10 мин, и для них измерялись γ -спектры также за 2 мин.

Все расчеты выполнены по следующей системе уравнений:

$$A_{\text{без экр.}} = A_{Al} + A_{Si}, \tag{1}$$

$$A_{\text{Cd-экр}} = A_{Al}/K_{Cd} + A_{Si}, \tag{2}$$

где $A_{\text{без экр.}}$ и $A_{\text{Cd-экр.}}$ — экспериментально измеренные за 2 мин значения количества импульсов в фотопике γ -спектра Al^{28} для кристаллов, облученных без кадмиевого экрана и с кадмиевым экраном; A_{Al} и A_{Si} — вклад импульсов в фотопике за счет активации соответственно Al и Si; K_{Cd} — кадмиевое отношение для алюминия, равное 65,5.

Согласно уравнениям (1) и (2), количество импульсов за счет активации Si по (n, p) реакции определяется соотношением:

$$A_{Si} = \frac{K_{Cd} \cdot A_{с Cd-экp.} - A_{без экp.}}{K_{Cd} - 1} \quad (3)$$

и за счет активации Al по (n, γ) реакции определяется соотношением:

$$A_{Al} = \frac{K_{Cd} (A_{без экp.} - A_{с Cd-экp.})}{K_{Cd}} \quad (4)$$

Результаты измерения и расчета приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Результаты измерения эталонов Al и Si, облученных и измеренных в одинаковых условиях с кристаллами алмазов

№ датчика и эталона	Эталон	Вес эталона, г	Экран	Время от облучения до измерения, мин	Поправка на распад $2\Delta t/T$	Сумма импульсов в фотопике с учетом поправки на распад
1	Si	$1,00 \cdot 10^{-3}$	Cd-экран	9	15	171 000
2		$1,58 \cdot 10^{-3}$	То же	9	15	318 000
3		$1,35 \cdot 10^{-3}$	» »	9	15	264 000
4		$1,73 \cdot 10^{-3}$	» »	9	15	165 000
1	Al	$3,78 \cdot 10^{-5}$	Cd-экран	14	67,2	248 000
		$3,78 \cdot 10^{-5}$	Без экрана	14	67,2	16 200 000
2		$3,78 \cdot 10^{-5}$	То же	20	420	20 400 000
3		$3,78 \cdot 10^{-5}$	» »	17	170	15 780 000
4		$3,78 \cdot 10^{-5}$	» »	23	1024	12 650 000

Примечание. $f_{T, H} = 2 \cdot 10^{12}$ нейтр/см² сек, $f_{\beta, H} = 1,8 \cdot 10^{11}$ нейтр/см² сек; время облучения 10 мин, время измерения 2 мин.

Таблица 2

Установленная концентрация примесей Al и Si в кристаллах природных алмазов

№ датчика и алмаза	Вес алмаза, г	Число импульсов в фотопике за 2 мин с учетом поправки на распад				Концентрация примесей в кристаллах алмазов, вес. %	
		$A_{без экp.}$	$A_{с Cd экp.}$	за счет A_{Al}	за счет A_{Si}	Al	Si
1	0,0131	6 730	285	6 555	185	$1,17 \cdot 10^{-4}$	0,0083
2	0,0212	38 300	780	38 200	195	$3,36 \cdot 10^{-4}$	0,0046
3	0,0337	23 400	730	23 020	378	$1,64 \cdot 10^{-4}$	0,0058
4	0,0625	37 000	1150	36 405	595	$1,74 \cdot 10^{-4}$	0,0100

Примечание. Для всех четырех датчиков и алмазов время измерения 2 мин, поправка на распад $2\Delta t/T = 2,46$, время облучения до измерения $\Delta t = 3$ мин.

Четыре алмаза, отобранных для исследования, представлены различными кристаллами. Первый (вес 0,0131 г) из россыпи Приленской алмазоносной области, он имеет форму сложно деформированного, сильно уплощенного кубоида, окрашенного в ярко-желтый цвет. Второй образец (вес 0,0212 г) из этой же области — осколок бесцветного додекаэдра. Третий алмаз (вес 0,0337 г) из трубки «Мир» — бесцветный изометричный октаэдр. Четвертый образец (вес 0,0625 г) из африканского месторождения имеет комбинационную форму октаэдра, ромбододекаэдра и куба и относится к разновидности алмазов с оболочками (coated diamond).

Как видно из табл. 2, все четыре образца алмаза характеризуются близким содержанием примесей алюминия и кремния. Известно, что в алмазах с оболочками в наружной зоне имеется большое количество ультрамикроскопических включений, основным элементом которых является кремний (Seal, 1966). Это дает основание полагать, что в алмазах данной разновидности будут устанавливаться сравнительно более высокие содержания кремния, чем в обычных алмазах.

В нашем случае в алмазе с оболочкой установлено 0,01% кремния, что заметно выше среднего его содержания для трех других кристаллов алмаза обычного типа. Возможно, что дальнейшие исследования статистически подтвердят вывод о том, что в алмазах с оболочками содержание кремния относительно выше, чем в обычных алмазах, и пропорционально количеству микровключений, влияющих на образование оболочек с шестовато-волоконистой структурой.

ЛИТЕРАТУРА

- Кодочигов П. Н., Глазунов М. П., Меднис И. В., Спицын В. И. Определение примесей в естественных алмазах активационным методом. — В кн. «Нейтронно-активационный анализ». Рига, изд-во «Зинатне», 1966.
- Кодочигов П. Н., Глазунов М. П., Орлов Ю. Л., Спицын В. И. Зональное распределение примесей в кристаллах алмаза. — Докл. АН СССР, серия геол., 1967, 172, № 1.
- Орлов Ю. Л., Кодочигов П. Н., Глазунов М. П. и др. Радиоактивационное определение примесей в алмазах. — В кн. «Новые данные о минералах СССР». Вып. 18. Изд-во «Наука», 1968.
- Seal M. Nature of diamond coat. — Phil. Mag., 1966, 13, № 123.