

Коэффициент пропускания  $T$  образца  $Ga_2Se_3$  при длине волны 5 мкм в зависимости от температуры  $t$

60 °С. Для эффективного теплоотвода в процессе облучения образцы помещали в кварцевые ампулы, наполненные гелием. Фильтрацию медленных нейтронов проводили с помощью кадмевой фольги, в которую заворачивали ампулы. Измерения спектра пропускания пластин полуторного селенида галлия до и после указанного облучения выявили полное совпадение оптического пропускания. Таким образом, материал полуторного селенида галлия выдерживает без изменения прозрачности воздействие флюенса до  $10^{19}$  нейтр./см<sup>2</sup>.

Во время длительного облучения полуторного селенида галлия до  $10^{19}$  нейтр./см<sup>2</sup> в кварцевые ампулы с образцами проникла вода, в которую они были погружены. В результате на поверхности  $Ga_2Se_3$  появилась тонкая пленка окиси, которая привела к уменьшению пропускания образцов, хотя характер спектрального хода последних не изменился. После полирования пластин пропускание полностью восстановилось. Эти данные указывают на то, что в условиях радиации кристаллы  $Ga_2Se_3$  необходимо предохранять от воздействия воды.

Как показывают приведенные выше данные, в  $Ga_2Se_3$  после облучения в запрещенной зоне не возникает локальных уровней. Это согласуется с данными электрофизических измерений [2—4]. Эффект радиационной стойкости кристаллов с рыхлой решеткой описывается теорией

неустойчивых дефектов в подобных структурах, разработанной в работах [3, 6].

Благодаря термической стойкости оптического пропускания кристаллы  $Ga_2Se_3$  могут служить хорошим материалом для инфракрасных окон в приборах, находящихся в поле ионизирующего излучения. Нами было проведено исследование действия температуры на пропускание образцов  $Ga_2Se_3$ . Для этого образцы выдерживали при заданной температуре в течение часа. На рисунке приведены зависимости коэффициента пропускания образцов  $Ga_2Se_3$  от температуры в вакууме до  $10^{-2}$  мм рт. ст. (1 мм рт. ст. = 133,322 Па) (1) и на воздухе (2). Как видно из рисунка, пластины полуторного селенида галлия могут подвергаться нагреву в условиях эксплуатации на воздухе до 400 °С и не выше 550—600 °С в вакууме.

Полученные данные позволяют рекомендовать  $Ga_2Se_3$  в качестве материала с практически неограниченным радиационным ресурсом для оптических инфракрасных окон.

Авторы выражают благодарность В. Р. Гурьеву за участие в изготовлении образцов, Н. Н. Петрову и О. В. Комарову за участие в обсуждении результатов исследования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальчицкий Л. П. и др. — Физика твердого тела, 1972, т. 14, с. 646.
2. Гальчицкий Л. П. и др. — Электронная техника. Сер. материалы, 1975, вып. 10, с. 29.
3. Koshkin V. M. et al. — Rad. Effects, 1976, v. 29, № 1, p. 1.
4. Гальчицкий Л. П. и др. — Электронная техника. Сер. материалы, 1976, вып. 10, с. 72.
5. Кошкин В. М., Усоскин А. И., Кулаков В. М. — В кн.: Физика и химия кристаллов. Харьков, изд. ВНИИМонокристаллов, 1977, с. 48.
6. Кошкин В. М., Забродский Ю. Р. — Докл. АН СССР, 1976, т. 227, с. 1232.

Поступило в Редакцию 20.05.80

УДК 621.039.58

## Характер осаждения ядерного топлива на поверхности первого контура реактора с натриевым теплоносителем

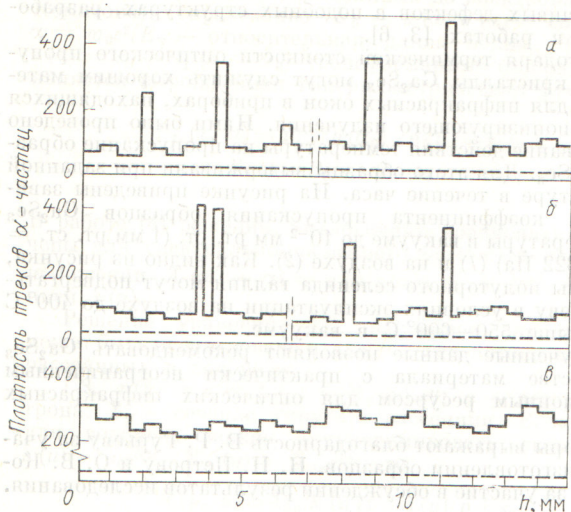
КОРОЛЕВА В. П., ОТСТАВНОВ П. С.

Знание распределения топлива, вышедшего из разгерметизированных твэлов и находящегося в теплоносителе или осевшего на стенках трубопровода контура, необходимо не только для изучения радиационной обстановки, особенно при ремонтных работах и в аварийных ситуациях, но и для теоретических исследований его поведения. Как следует из результатов работ [1—4], важную роль при потере топлива за счет отщепления его кусочков играют осколки деления. Освобождаемая последними кинетическая энергия вызывает отрыв от поверхности большого числа атомов. В настоящей работе экспериментально исследован характер осаждения топлива из двуокиси плутония на стенках контура натриевого теплоносителя БР-10 [5] и определены размеры аномальных скоплений атомов по интенсивности излучения  $\alpha$ -частиц.

Интенсивность  $\alpha$ -излучения регистрировали твердыми трековыми детекторами [6] из нитроцеллюлозы (основа рентгеновской пленки марки РФ-5) толщиной 0,12 мм, плотно прикреплявшейся на внутренней поверхности сдублированного контура. Химическая обработка нитроцеллюлозы и подсчет треков  $\alpha$ -частиц аналогичны описан-

ному в работе [6]. Выбранный режим травления позволил наблюдать частицы размером не менее 10 мкм (размер трека), поэтому конгломераты с малым числом атомов топлива и размером < 10 мкм неразличимы.

Были исследованы три различных участка трубопровода, на каждом из которых устанавливали по несколько образцов нитроцеллюлозы размером  $1 \times 3$  см<sup>2</sup> (см. рисунок). Всего было экспонировано и просмотрено под микроскопом ~60 см<sup>2</sup> пленки. При этом площадь 1 микрополя составляла 0,17 мм<sup>2</sup>. Оказалось, что для двух серий пленок нитроцеллюлозы, относящихся к двум участкам трубопровода контура, близкая картина распределения треков: на фоне сравнительно малой равномерно распределенной плотности обнаружены вкрапления аномально большой плотности треков, соответствующих скоплениям частиц топлива концентрацией, отличной от концентрации в соседних участках в 4—7 раз. Наблюдаемые под микроскопом скопления, расстояние между которыми достигали 1 см и более, были круглыми с четкими краями, реже в виде растаянувших полос. В большинстве случаев размер первых из них составлял ~0,2 мм в диаметре. Для вытя-



Распределение плотности треков  $\alpha$ -частиц на образцах нитроцеллюлозы: а, б, в — 1, 2, 3 участка трубопровода соответственно; — — — фон, обусловленный естественной  $\alpha$ -активностью радиоактивных примесей в нитроцеллюлозе

нутых скоплений протяженность изменялась от 0,2 до 5 мм. На третьем участке не замечены ярко выраженные аномальные скопления, вероятно, вследствие того, что общая плотность осажденных частиц здесь в несколько раз ( $\sim 7$  раз) выше, чем на первых двух участках, и достаточна, чтобы более или менее равномерно покрыть поверхность трубопровода.

Исследование пробы натриевого теплоносителя первого контура показало малое содержание в нем топлива (на уровне фоновых  $\alpha$ -частиц нитроцеллюлозы), и поэтому какой-либо очевидной неоднородности не обнаружено.

Все попавшее в теплоноситель топливо обычно осаждается на стенках контура [7]. Логично предположить,

что в первую очередь будут осаждаться крупные кусочки топлива. Наблюдаемая на двух участках контура аномальная концентрация атомов (рис. 1, а, б), по-видимому, является следствием суммарного эффекта воздействия разных факторов. С одной стороны, это коррозия, отщепление частиц, химические соединения, а также возможное загрязнение внешней поверхности оболочек твэлов при их изготовлении, с другой — наличие в теплоносителе и на стенках контура сорбционных центров. Кусочки топлива, находящиеся в нейтронном поле реактора, будут размельчаться за счет делений в них.

Исследования показали, что топливо не только осаждается неоднородно по отдельным участкам трубопровода, но и в пределах одного участка имеются значительные различия в плотности и размере скоплений атомов. Такой характер осаднения необходимо учитывать при определении загрязнения оборудования и первого контура реактора.

Авторы благодарны М. П. Никулину за содействие в проведении эксперимента и обсуждение результатов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rogers M., Adam J. — J. Nucl. Mat., 1962, v. 6, p. 182.
2. Rogers M. — J. Nucl. Mat., 1964, v. 12, p. 332; 1965, v. 15, p. 65; 1965, v. 16, p. 298.
3. Biersack J., Finik D., Mertens P. — Ibid., 1974, v. 53, p. 194.
4. Бессонов В. А. и др. — Атомная энергия, 1976, т. 40, вып. 5, с. 395.
5. Аристархов Н. Н. и др. — В кн.: Труды II симп. СЭВ «Состояние и перспективы работ по созданию АЭС с реакторами на быстрых нейтронах». Т. I. Обнинск, изд. ФЭИ, 1975, с. 374.
6. Королева В. П. и др. — Атомная энергия, 1979, т. 46, вып. 2, с. 125.
7. Hart R. Distribution of fission product contamination in the SRE. NAA-SR-6890. North American Aviation, 1961.

Поступило в Редакцию 29.05.80

УДК 543.52:543.51/53

## Гамма-спектрометрический метод определения урана в породах с нарушенным радиоактивным равновесием

ФАМ ЗУИ ХИЕН, НГУЕН ТАТ ТО, НГУЕН ВАН ДО (ИНСТИТУТ ФИЗИКИ, СРВ)

Большинство интенсивных фотопиков  $\gamma$ -спектра урансодержащих пород принадлежит дочерним продуктам распада  $^{222}\text{Rn}$ . Для определения содержания урана измеряют слабые фотопики нуклидов, находящихся в радиоактивном равновесии с ураном (63 кэВ  $^{234}\text{Th}$  [1] или 1001 кэВ  $^{234}\text{Pa}$  [2]). Невысокая чувствительность определения урана по фотопику 1001 кэВ связана с низким выходом  $\gamma$ -квантов данной энергии ( $8 \cdot 10^{-3}$   $\gamma$ -квант/распад  $^{238}\text{U}$ ). Для регистрации низкоэнергетических  $\gamma$ -квантов энергией 63 кэВ предпочтительнее использовать полупроводниковый детектор малого объема, однако и в этом случае чувствительность анализа недостаточна вследствие сильного самопоглощения  $\gamma$ -излучения в образце.

Среди фотопиков урана и элементов, находящихся с ним в равновесии, наиболее сильным является фотопик 185,7 кэВ  $^{235}\text{U}$ . В  $\gamma$ -спектре образца из  $\text{U}_3\text{O}_8$ , определенном с помощью полупроводникового детектора объемом 64 см<sup>3</sup>, интенсивность этого фотопика в 13 раз больше, чем интенсивность фотопика 1001 кэВ  $^{234}\text{Pa}$ . Однако

в спектре урансодержащих пород он сливается с фотопиком 186,2 кэВ  $^{226}\text{Ra}$ , поэтому для определения урана необходимо правильно учесть вклад  $^{226}\text{Ra}$  в общий пик 186 кэВ (при радиоактивном равновесии между ураном и радием этот вклад составляет 59% [1]). В настоящей работе указанный вклад и концентрацию  $^{226}\text{Ra}$  определяли по  $\gamma$ -линиям дочерних продуктов распада  $^{222}\text{Rn}$ , а радиоактивное равновесие между Ra и Rn обеспечивали путем герметизации образца. Для этого необходимо заранее знать отношение интенсивности фотопиков  $^{226}\text{Ra}$  (186,2 кэВ) и дочерних продуктов распада  $^{222}\text{Rn}$  (например, 609 кэВ) при равновесии между радием и радием для радийсодержащего образца. Для экспериментов был изготовлен образец из карбонатных пород, наличие радия в которых обусловлено абсорбцией геотермальной воды, содержащей радий. Концентрация радия в образце в 63 раза превышала значение, соответствующее равновесию с ураном ( $1,4 \cdot 10^{-7}$  мас. % Ra и  $5 \cdot 10^{-5}$  мас. % U). Оценка с использованием данных работы [1] показала, что небольшая