

Экспериментальное исследование токообразования в детекторах прямой зарядки с эмиттером из родия

В. И. МИТИН, В. Ф. ШИКАЛОВ, С. А. ЦИМБАЛОВ

УДК 539.1.074.8

Исследование свойств детекторов прямой зарядки (ДПЗ) показало [1—3], что их можно с успехом применять в качестве датчиков нейтронного потока при построении систем внутриреакторного контроля. Однако возросшие требования к точности измерений, быстрейшему и другим параметрам привели к необходимости более детального изучения механизма токообразования ДПЗ в условиях реакторного излучения. Цель настоящей работы — изучение влияния γ -излучения реактора на показания ДПЗ и уточнение кинетических параметров ДПЗ с эмиттером из родия.

Для исследования использовались датчики ДПЗ-1П с эмиттером из родия, изготовленные во Всесоюзном научно-исследовательском институте источников тока. Длина датчиков была равна 50 и 100 мм; диаметр эмиттера составлял 0,8 мм. Измерения проводились в вытеснителе рабочего канала реактора МР ИАЭ им. И. В. Курчатова [4]. В вытеснитель помещали сухой измерительный канал внутренним диаметром 6 мм. Внешний диаметр датчиков с чехлом из нержавеющей стали был равен 4 мм. Такая конструкция позволяла быстро перемещать датчик по высоте активной зоны.

Для регистрации токов ДПЗ использовали измерительный стенд, состоящий из полупроводниковых электродетекторных усилителей ПЭМУ-3, плейфного осциллографа К-107 и самопишущего потенциометра КСП-4. Связь детекторов с измерительным стендом (длиной 16 м) осуществлялась с помощью кабеля АВКЭ-1 с двойным экраном.

Перед началом измерений ДПЗ помещали в канал на расстоянии 50 см выше верхнего края активной зоны. По стартовому сигналу он приблизительно за 0,2 сек опускался в определенную точку активной зоны, выдерживался там около 4 сек, затем быстро возвращался в первоначальное положение. Соответствующие записи токов ДПЗ и фона I_{ϕ} приведены на рис. 1 (I — ток эмиттера и линия связи).

Динамические характеристики ДПЗ. Зависимость тока ДПЗ, определяемая активацией и β -распадом родия, описывается системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} I(t) &= k\lambda_1 N_1(t); \\ \frac{dN_1(t)}{dt} &= -\lambda_1 N_1(t) + \lambda_2 N_2(t) + \sigma_1 N\Phi(t); \\ \frac{dN_2(t)}{dt} &= -\lambda_2 N_2(t) + \sigma_2 N\Phi(t), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где λ_1 и λ_2 — постоянные распада; $N_1(t)$ и $N_2(t)$ — количество ядер; σ_1 и σ_2 — сечения образования изотопов для Rh^{104} и Rh^{104m} соответственно; N — количество ядер Rh^{103} ; $\Phi(t)$ — поток нейтронов.

Из решения системы уравнений (1) находим, что при мгновенном извлечении ДПЗ из активной зоны после предварительной выдержки ДПЗ в потоке нейтронов до достижения тока насыщения по обоим изотопам Rh^{104} и Rh^{104m} зависимость его тока от времени

будет иметь вид

$$I(t) = k \left[(\sigma_1 + \sigma_2) N\Phi e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} \sigma_2 N\Phi (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t}) \right],$$

а при мгновенном введении в стационарный нейтронный поток при нулевых начальных условиях

$$I(t) = k \left[(\sigma_1 + \sigma_2) N\Phi (1 - e^{-\lambda_1 t}) - \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} \sigma_2 N\Phi (e^{-\lambda_2 t} - e^{-\lambda_1 t}) \right].$$

На рис. 2 приведена кривая изменения тока ДПЗ при быстром извлечении его из активной зоны и достаточно продолжительном остывании.

Из записей переходных процессов (см. рис. 1, 2) видно, что ток ДПЗ состоит из мгновенной и запаздывающей компонент, причем изменение во времени запаздывающей компоненты совпадает с приведенными выше зависимостями. Многократные измерения в различных точках активной зоны с малым γ -фоном показали, что мгновенная составляющая равна $(7,3 \pm 0,5)\%$ полного тока ДПЗ.

Мгновенная составляющая тока ДПЗ с эмиттером из родия. В настоящей работе определению природы мгновенной составляющей тока особое внимание уделялось в связи с тем, что в литературе отсутствует достаточно четкое объяснение этого явления. В работе [2] его объясняют «выбиванием электронов из эмиттера за счет захватного γ -излучения в серебре», а в работе [3] — влиянием γ -излучения реактора на материал эмиттера.

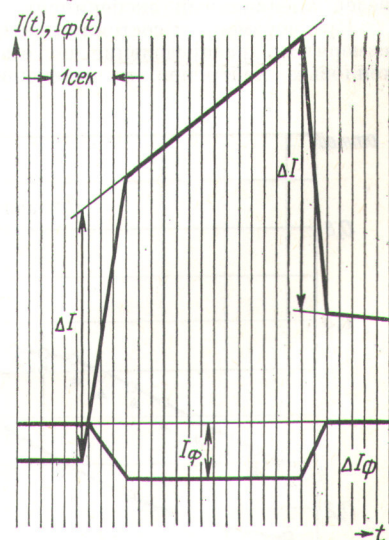


Рис. 1. Ток ДПЗ и фоновый ток при введении ДПЗ в активную зону (осциллограмма).

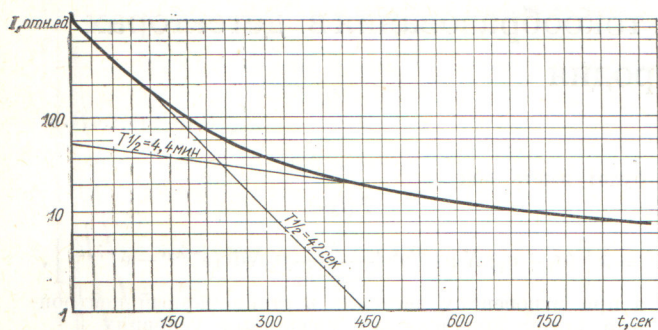
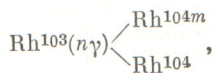


Рис. 2. Ток ДПЗ после быстрого извлечения его из активной зоны.

Наиболее вероятным было предположить, что в образовании мгновенной составляющей тока ДПЗ с эмиттером из родия участвует два процесса. С одной стороны, первая стадия реакции



в которой переход компаунд-ядра $\text{Rh}^{103} + n$ в состояние Rh^{104} или Rh^{104m} сопровождается испусканием γ -квантов и конверсионных электронов разных энергий [5]. При этом конверсионные электроны, а также электроны, покинувшие эмиттер в результате взаимодействия с γ -квантами перехода (комpton-эффект, фотоэффект), создают мгновенную составляющую тока ДПЗ. С другой стороны, γ -кванты реакции деления, захватного излучения материалов, окружающих датчик, взаимодействуя с материалами датчика, создают мгновенный поток заряженных частиц, которые вносят свой вклад в ток датчика. Чтобы выяснить, какой из этих двух механизмов оказывает большее влияние на образование мгновенной составляющей, был проведен специальный эксперимент.

При неизменном состоянии активной зоны реактора измерялось распределение по высоте канала потока тепловых нейтронов и интенсивности γ -излучения.

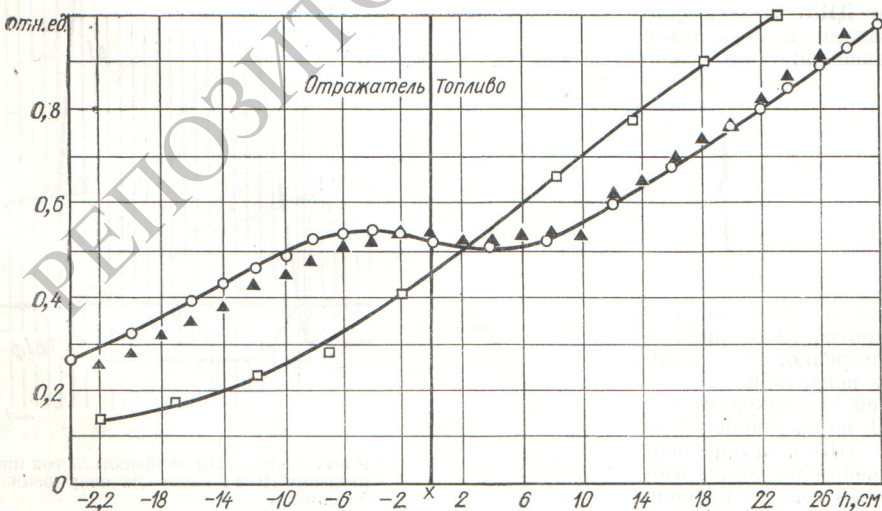


Рис. 3. Результат измерений на границе активной зоны — отражатель:

□ — ток γ -камеры КНТ-11; ○ — активация медной проволоки; ▲ — ток ДПЗ (мгновенная составляющая совпадает со статистическим измерением).

Распределение потока тепловых нейтронов определяли по активации медной проволоки, а интенсивность γ -излучения — с помощью γ -камеры КНТ-11 без покрытия при высоте чувствительной части 50 мм и диаметре 4 мм. Затем измеряли распределение по высоте канала тока родиевого ДПЗ. Время выдержки датчика в точках измерения составляло не менее 15 мин. В этих же точках путем быстрого извлечения определяли величину мгновенной составляющей тока ДПЗ и одновременно фиксировали величину фонового тока. Результаты измерений приведены на рис. 3. Особенно показательными являются результаты измерений в районе верхнего отражателя, поскольку здесь наблюдается резкое расхождение тока γ -камеры и активности медной проволоки. Этого и следовало ожидать, так как на границе топливо — отражатель поток тепловых нейтронов в сторону отражателя увеличивается, а интенсивность γ -излучения уменьшается. Распределение по высоте тока насыщения ДПЗ хорошо совпадает с распределением активности медной проволоки. Некоторое расхождение в районе отражателя и выше объясняется разной спектральной чувствительностью меди и родия, причем спектр нейтронов в этом месте реактора смягчается. Поскольку распределение мгновенной составляющей тока ДПЗ совпало с распределением тока насыщения ДПЗ с погрешностью не более 1% в каждой точке измерения, можно утверждать, что в образовании мгновенной составляющей тока родиевого ДПЗ основную роль играет первая стадия реакции

$\text{Rh}^{103}(n\gamma) \rightarrow \text{Rh}^{104}$. Вклад γ -излучения в образование мгновенной составляющей тока ДПЗ незначителен.

Таким образом, во всех точках измерения распределение мгновенной составляющей тока ДПЗ пропорционально распределению тока насыщения ДПЗ с погрешностью не больше 1%. Это указывает на нейтронную природу мгновенной составляющей, так как в районе отражателя, где потоки нейтронов и γ -излучения имеют различное распределение, распределение мгновенной составляющей пропорционально распределению нейтронов, а не γ -излучения.

Кроме того, учитывая совпадение коэффициента пропорциональности между мгновенной составляющей и током насыщения ДПЗ с погрешностью $\sim 1\%$, мож-

но сделать вывод, что вклад γ -излучения в ток ДПЗ незначителен.

Следовательно, можно считать, что ток ДПЗ, с одной стороны, обусловлен β -частицами Rh^{104} , образовавшимися как в результате реакции $Rh^{103}(n\gamma)Rh^{104}$, так и в результате γ -перехода Rh^{104} в Rh^{104} . Эта составляющая, которую можно назвать активационной, обуславливает 92,7% тока ДПЗ. С другой стороны, в ток вносят свой вклад электроны, образующиеся в первой («мгновенной») стадии реакции захвата нейтронов родием. Доля мгновенной составляющей в общем токе ДПЗ составляет ~7,3%.

В заключение авторы считают своим долгом выразить благодарность Л. И. Фирсову и В. В. Семаку за участие в подготовке и проведении измерений, а также А. А. Воронину и Е. Н. Бабулевичу за постоянное сотрудничество и внимание к работе.

Поступило в Редакцию 12/VI 1972 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Д. Розенблюм и др. «Атомная энергия», 10, 72 (1961).
2. И. Я. Емельянов и др. «Атомная энергия», 27, 230 (1969).
3. I. Nilbogn. Nucleonics, 22, No. 2, 69 (1964).
4. В. В. Гончаров и др. III Женевская конференция (1971), доклад 323 (СССР).
5. Г. А. Бартоломью и др. Сборник результатов измерений гамма-излучений, возникающих при захвате тепловых нейтронов. Ч. I (Z=46). М., Атомиздат, 1969.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ имени Ф. СКОРИНЫ