

МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ДЕТЕКТОРЫ НА ОСНОВЕ ФТОРИСТОГО ЛИТИЯ

Фтористый литий в качестве термолуминофора для термолуминесцентной дозиметрии (ТЛД) используется уже более 30 лет. В настоящее время 70% детекторов, применяемых в ТЛД [1], изготавливаются на основе фтористого лития.

Основные требования к детекторам для ТЛД изложены в ряде работ [2—4] и обобщены в обзоре [5]. Однако, как нам представляется, параметры детекторов целесообразно анализировать в свете современных задач дозиметрии.

Во всех областях применения термолуминесцентной дозиметрии требуется обеспечение широкого диапазона детектируемых доз (10^{-5} — 10^2 Гр), энергий и мощностей доз, хорошая сохраняемость дозиметрической информации при хранении детекторов при температурах до $+50^\circ\text{C}$, высокая сходимость показаний детекторов при многократном использовании.

В связи с этим детектору — чувствительному элементу термолуминесцентного дозиметра — предъявляется большой комплекс требований: достаточно высокий выход термостимулированной люминесценции (ТСЛ); низкий уровень эквивалента собственного фона; соответствие спектра излучения детектора области максимальной чувствительности фотоприемника; постоянный выход ТСЛ в заданном диапазоне доз; узкий спектр энергий активаций центров захвата достаточной глубины; отсутствие зависимости выхода ТСЛ от мощности дозы; тканеэквивалентность — зависимость запасенной светосуммы от энергии излучения, подобная зависимости массового коэффициента поглощения для мягкой биологической ткани; высокая избирательность, или биоэквивалентность, при детектировании смешанного гамма-нейтронного излучения; совокупность физико-химических свойств: радиационная, термическая и химическая стойкость, нетоксичность и др.

Из анализа перечисленных параметров можно заключить, что наиболее полно дозиметрическому контролю удовлетворяют люминофоры на основе фтористого лития.

В большинстве случаев фтористый литий применяется в виде прессованных и поликристаллических таблеток, а также в виде изделий из тефлона (фторопласта) с диспергированным в нем порошком. Всем этим детекторам присущ общий недостаток — значительный фоновый сигнал, который определяется развитой поверхностью, соприкасающейся с окружающей атмосферой. Для уменьшения фонового сигнала измерительную камеру продувают азотом [7]. Поликристаллические таблетки ТЕЛДЕ Института физики АН ЛатвССР [3] для уменьшения фонового сигнала подвергают химической полировке, а при измерении малых доз также используют продувку блока термовысвечивания азотом.

В монокристаллических детекторах этот недостаток устраняется благодаря малой поверхности взаимодействия с атмосферой, прозрачности в широкой области спектра и, как следствие этих свойств, малым значениям фонового сигнала и увеличению чувствительности детектора.

Однако применение монокристаллических детекторов было ограничено трудностью получения однородных по чувствительности крупных монокристаллов фтористого лития [2, 3].

В Институте геохимии им. акад. А. П. Виноградова СО АН СССР разработаны монокристаллические детекторы (ДТГ-4) на основе LiF-Mg, Ti и способы выращивания однородных по чувствительности монокристаллов заданной конфигурации с разбросом по чувствительности, не превышающим $\pm 15\%$.

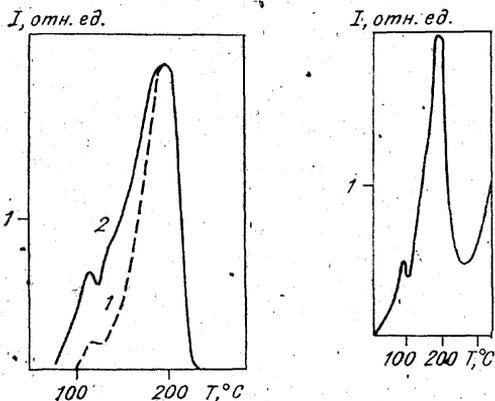


Рис. 1. Кривые ТСЛ кристаллов LiF-Mg (1) и LiF-Mg, Ti (2).

Рис. 2. Кривая ТСЛ детектора ДТГ-4 при дозе 10^{-5} Гр.

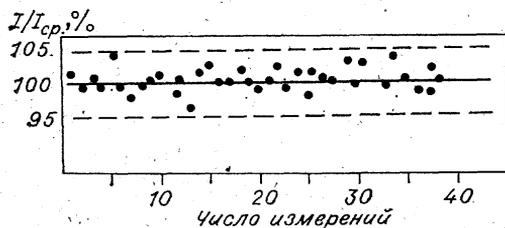


Рис. 3. Сходимость показаний детекторов при многократном применении.

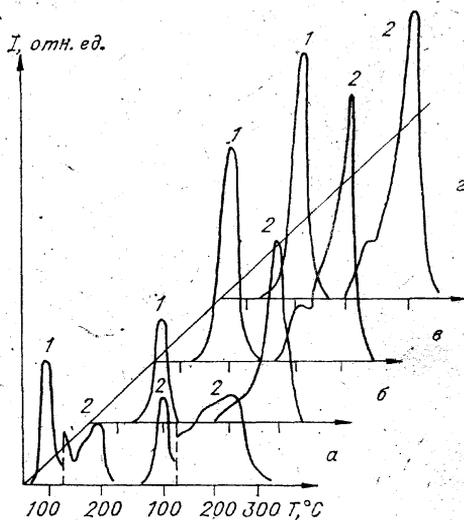


Рис. 4. Кривые ТСЛ детекторов ДТГ-4 «свежих» (1), после повторного облучения (2).

а — LiF-Mg из [7]; б — после хранения необлученных детекторов LiF-Mg в течение 11 лет (б), 8 лет (в); LiF-Mg, Ti в течение 3 лет (г).

Одной из основных характеристик термолюминесцентного детектора, определяющих области его возможного применения, является нижний предел детектируемой дозы (НПДД), который зависит от совокупности выхода ТСЛ, фонового сигнала детектора и от степени соответствия спектра излучения детектора области максимальной чувствительности ФЭУ.

Выход ТСЛ различных детекторов из LiF-Mg, Ti лежит в пределах $10^9 - 10^{10}$ квант·г⁻¹·сГр⁻¹ [3, 5]. Максимальное значение выхода ТСЛ, полученное нами для монокристаллических детекторов LiF-Mg, Ti, равно $3 \cdot 10^{10}$ квант·г⁻¹·сГр⁻¹, а оптимальными, по-видимому, являются значения в пределах $(0,5 - 1) \cdot 10^{10}$ квант·г⁻¹·сГр⁻¹. Выход ТСЛ практически не изменяется при варьировании концентрации магния от 0,03 до 0,5%. Увеличение же концентрации окиси титана приводит к значительному возрастанию низкотемпературных пиков (рис. 1). Это связано с тем, что за счет увеличения концентрации активаторных центров возрастает вклад прямых электронно-дырочных рекомбинаций на дырочных активаторных центрах, стабильных при этих температурах в низкотемпературные пики ТСЛ.

При выходе ТСЛ порядка 10^{10} квант·г⁻¹·сГр⁻¹ измерительные устройства на современной электронной базе, особенно при использовании метода счета фотонов, позволяют регистрировать с достаточной степенью точности дозы порядка 10^{-3} сГр и ниже, а спектр излучения детекторов на основе LiF-Mg, Ti соответствует области максимальной чувствительности фотоумножителей. Таким образом, НПДД будет ограничен уровнем собственного фонового сигнала детектора. Для монокристаллических детекторов значение уровня собственного фонового сигнала ниже 10^{-3} сГр и поэтому они позволяют детектировать с достаточной степенью точности дозы порядка 10^{-3} сГр и ниже (рис. 2).

Одной из основных эксплуатационных характеристик детектора является многократность его использования. Практически для всех известных детекторов на основе фтористого лития при их многократном применении необходимы специальные режимы дополнительной термической обработки.

При кратковременных режимах термообработки для повторного применения детекторов системы ТЕЛДЕ используется двухкратный нагрев до 260—370°C со скоростью 2—4 град/с и охлаждение со скоростью 1—2 град/с до комнатной температуры [6]. Общий недостаток кратковременных режимов термообработки — изменение чувствительности детекторов при их длительном хранении.

Широкое распространение получил режим Дж. Р. Камерона, заключающийся в отжиге детектора при 400°C в течение 1 ч, быстром охлаждении и последующей выдержке при 80°C в течение 20—24 ч [7]. Этот режим занимает слишком много времени и создает существенные неудобства в практике термолюминесцентной дозиметрии.

Для многократного использования детекторов ДТГ-4 не требуется дополнительной термообработки (рис. 3). Сходимость результатов измерений дозы одним детектором на приборах ТЕЛДЕ и Victoreen менее 3%. Многократность применения детекторов достигает 500 раз.

В отличие от авторов работы [8] мы не заметили изменения кривых термовысвечивания (КТВ) необлученных кристаллов после длительного хранения. Так, хранение кристаллов LiF-Mg в течение 10 лет и кристаллов LiF-Mg, Ti в течение нескольких лет (рис. 4, кривые б, в, г) не приводит к изменению КТВ. Если детекторы хранились достаточно большое время, пик 2 отсутствует.

Приведем основные дозиметрические характеристики монокристаллических детекторов LiF-Mg, Ti на основе LiF:

1. Удельная чувствительность детектора к излучению	не менее $6,6 \cdot 10^9$ квант. $\cdot \text{г}^{-1} \cdot \text{сГр}^{-1}$
2. Вклад низкотемпературных пиков в полную светосумму	6%
3. Дозовый эквивалент собственного фона	$1 \cdot 10^{-3}$ сГр
4. Сходимость величины чувствительности	$\pm 5\%$
5. Диапазон измерения поглощенной дозы	$3 \cdot 10^{-3}$ — $5 \cdot 10^3$ сГр
6. Изменение чувствительности детектора в диапазоне поглощенной дозы $3 \cdot 10^{-3}$ — $1 \cdot 10^3$ сГр	$\pm 15\%$
7. Детектор сохраняет свои характеристики в пределах $\pm 15\%$ после облучения дозой	$5 \cdot 10^4$ сГр
8. Многократность использования детекторов	500 раз
9. Потери запасенной светосуммы при хранении в течение года:	
— при температуре 20°C	—5%
— при температуре 40°C	—15%
10. Энергетическая зависимость в диапазоне энергий:	
— 30—100 кэВ, не более	35%
— 100—3000 кэВ, не более	$\pm 5\%$

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов А. Д. Состояние и проблемы применения термолюминофоров в индивидуальных дозиметрах. — В кн.: Тезисы докладов на Всесоюзном совещании «Синтез, свойства, исследования и технология люминофоров для отображения информации». Ставрополь: изд. ВНИИ Люминофоров, 1982, с. 61.
2. Метод дозиметрии ИКС/Бочвар И. А., Гимадова Т. И., Кеирим-Маркус И. Б. и др. М.: Атомиздат, 1977. 224 с.
3. Термолюминесцентная дозиметрия/Шварц К. К., Грант З. А., Меж. Т. К., Грубе М. М. Рига: Зинатне, 1968. 183 с.
4. Франк М., Штольц В. Твердотельная дозиметрия ионизирующего излучения. М.: Атомиздат, 1973. 248 с.
5. Кронгауз В. Г., Шавер И. Х. Люминофоров для термолюминесцентной дозиметрии. М.: изд. НИИТЭхим, 1978. 35 с.
6. Грубе М. М., Грант З. А. Влияние термической обработки на термолюминесценцию фтористого лития. — Изв. АН ЛатвССР. Сер. физ. и техн. наук, 1968, с. 40—46.

7. Cameron J. R., Sutaralingam N., Cenny G. N. Thermoluminescent dosimetry. Madison, Univ. Wisconsin, 1968. 223 p.
8. Парфианович И. А., Алексеева Е. П., Соцердотова Г. В. Влияние «старения» фторида лития на его дозиметрические свойства: — В кн.: Материалы III Всесоюзного симпозиума по люминесцентным приемникам и преобразователям рентгеновского излучения. Ставрополь: изд. ВНИИЛюминофоров, 1980, с. 106.

Г. И. Хютт, А. В. Смирнов, А. Н. Молодых

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

В последнее десятилетие за рубежом все большее применение находит термолюминесцентная (ТЛ) дозиметрия как наиболее простой, дешевый и точный метод оценки малых интегральных доз излучения [1—3].

В СССР накоплен значительный опыт по разработке и использованию дозиметрических систем на основе стекол ИКС и LiF [4, 5], однако проблема измерения малых доз в связи с отсутствием стандартной высокочувствительной аппаратуры и недостаточной чувствительности указанных дозиметров требует дополнительных исследований.

В Институте геологии АН ЭССР разработан высокочувствительный термолюминесцентный дозиметрический комплекс (ТДК), опробованный в комплексе с дозиметрами на основе $\text{CaSO}_4\text{-Dy}$, приготовленными в Тартуском государственном университете [6], для оценки естественного радиационного фона окружающей среды (ОС).

Измерительная аппаратура. Структурная схема установки представлена на рис. 1, а, а общий вид лабораторной модели — на рис. 2. Детекторы нагреваются в камере, позволяющей за один цикл измерить термолюминесценцию восьми образцов в обычной, инертной атмосферах или в вакууме, а также проконтролировать чувствительность системы с помощью светового источника постоянного действия. Режим линейного нагрева ($2,5\text{—}24$ град·с⁻¹) осуществляется блоком равномерного нагрева в интервале температуры $20\text{—}400^\circ\text{C}$. Для повышения светосбора использован кварцевый световод, находящийся непосредственно под малоинерционным нагревателем. С целью детектирования особо малых доз (<10 мкГр) предусмотрена возможность регистрации сигналов в режиме счета фотонов.

Институтом геологии АН ЭССР совместно с СКБ АН ЭССР спроектирован новый вариант — ТДК-2 — с развитыми функциональными возможностями, выполненный на базе интегральных микросхем. Электронный блок прибора включает все необходимые элементы, обеспечивающие питание фотоэлектронного умножителя, управление процессами измерения сигналов, их обработку и индикацию результатов измерения ряда величин на шестидекадном цифровом табло.

Структурная схема прибора ТДК-2 приведена на рис. 1, б.

Основные технические данные прибора следующие:

- число размещаемых детекторов — 16;
 - максимальная скорость нагрева — $12,5$ град·с⁻¹;
 - максимальная температура нагревателя — $+500^\circ\text{C}$;
 - тип фотоэлектронного умножителя — ФЭУ-106;
 - предусмотрена продувка инертным газом, режимы нагрева:
- а) изотермический, б) линейный — от $+20$ до $+500^\circ\text{C}$;
- температура в изотермическом режиме — $20\text{—}500^\circ\text{C}$ с шагом 1°C ;
 - стабильность изотермического режима — $\pm 1^\circ\text{C}$;
 - скорость линейного нагрева — $2,5; 5; 7,5; 10$ и $12,5$ град·с⁻¹;
 - воспроизводимость режима нагрева — не ниже 3%;
 - нелинейность температурной характеристики — 5%;