

Возможности ТЛД на основе кристаллофосфора LiF-Mg, Cu, P для дозиметрии нейтронов

А.Г. Алексеев

ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия

Н.А. Карпов

Московский государственный университет, Москва, Россия

Использование термолюминесцентных детекторов в смешанных гамма-нейтронных полях.

ТЛД используются уже длительное время для селективной регистрации нейтронов и гамма-излучения. При этом отклик ТЛД при облучении нейтронами может формироваться за счет различных радиационных процессов, происходящих как в самом материале детектора, так и вне его.

Детектирование нейтронов при радиационных процессах происходящих только в материале ТЛД. Собственная чувствительность ТЛД к нейтронам зависит как от элементного состава кристаллофосфора, так и от энергии нейтронов. Так, чувствительность ТЛД к тепловым нейтронам главным образом обусловлена мгновенным гамма-излучением реакции захвата тепловых нейтронов (n, γ) и β -излучением продуктов нейтронной активации. Для промежуточных и быстрых нейтронов чувствительность ТЛД будет определяться в основном ионизационными процессами, зависящими также и от ЛПЭ частиц. При этом чувствительность используемых в настоящее время ТЛД к тепловым нейтронам на несколько порядков выше, чем к быстрым нейтронам.

Особое место занимают ТЛД на основе фторида лития, обогащенные по одному из природных изотопов ${}^7\text{LiF}$ и ${}^6\text{LiF}$. Являясь практически тканезквивалентным материалом по отношению к фотонам, при облучении тепловыми нейтронами с высокой вероятностью (950 барн) проходит реакция ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$, в которой поглощение каждого теплового нейтрона вызывает образование α -частицы с энергией 2,06 МэВ и тритона с энергией 2,72 МэВ. При этом соотношение откликов ТЛД на основе ${}^6\text{LiF}$ и ${}^7\text{LiF}$ достигает 20–40 для тепловых нейтронов, при увеличении энергии нейтронов до 1 МэВ это соотношение составляет 5–10 и при росте до 10 МэВ приближается к единице.

Кроме этого, для детектирования быстрых нейтронов используются особенности кривой термовысвечивания ТЛД на основе фторида лития: зависимость чувствительности некоторых пиков термовысвечивания от ЛПЭ. В частности, используется повышенная чувствительность отклика пика ТВ при 260°C (пик 6) и 270°C (пик 7) к излучению с большим значением ЛПЭ (α -частицы, быстрые нейтроны и др.). Объясняют это различной кинетикой накопления электронно-дырочных центров захвата при малых и больших плотностях возбуждения в треках излучения [1]. Однако дозная чувствительность высокотемпературных пиков существенно различается для различных партий детекторов, что повлияло на практическую значимость этого метода. Такая нестабильность может быть связана с поверхностными эффектами, так как гидролизуясь на воздухе, фториды лития имеют избыточную поверхностную концентрацию ионов водорода. Поэтому при облучении быстрыми нейтронами образуются протоны отдачи, которые и обуславливают происходящие процессы. Это предположение объясняет также и идентичность КТВ при облучении детекторов на основе фторида лития быстрыми нейтронами и α -частицами. Можно предположить, что использование тонких детекторов (5–10 мг/см²) позволит решить возникшие трудности и приблизиться к практическому использованию этого метода.

Детектирование нейтронов при радиационных процессах, происходящих как во внешнем конвертере (радиаторе), так и в материале ТЛД.

Использование внешнего конвертера нейтронов увеличивает чувствительность ТЛД за счет вторичных процессов, происходящих в материале конвертера. В качестве внешнего конвертера нейтронов используется, например, кадмий (n- γ реакция на тепловых нейтронах до 0,5 эВ); водородсодержащие материалы (например, полиэтилен) используются как для замедления нейтронов, так и для образования протонов отдачи, которые регистрируются ТЛД. При этом последний процесс особенно важен, так как наибольший вклад в поглощенную дозу биологической ткани от быстрых нейтронов вносят протоны отдачи. Кроме этого в качестве конвертера могут быть использованы делящиеся при взаимодействии с нейтронами материалы.

Использование ТЛД на основе LiF-Mg, Cu, P в дозиметрии излучений.

Появление более 20 лет назад высокочувствительного детектора LiF-Mg, Cu, P послужило началом нового этапа в ТЛ-дозиметрии ионизирующего излучения, особенно в области ИДК и радиационного мониторинга окружающей среды. Обладая дозной чувствительностью, в 15-40 раз превышающей известный стандарт TLD-100 (Harshaw, США), этот детектор способен решить большинство задач радиационного мониторинга. Однако технологические особенности производства детектора LiF-Mg, Cu, P не сделали его пока столь популярным в практической дозиметрии. В настоящее время технологией его производства владеют в Китае (GR-200; GR-700; GR-600), в России (ТЛД-1011; ТЛД-7011; ТЛД-6011), в Польше (MCP-N) и в США (TLD-100H; TLD-700H; TLD-600H).

В табл. 1 приведено сравнение основных характеристик выпускаемых в России ТЛД на основе фторида лития и TLD-100.

Таблица 1: Основные характеристики ТЛД на основе фторида лития

Производитель	TLD-100 Harshaw TLD, США	ДТГ-4 Ангарск, Россия	ТЛД-1011 НТЦ «Практика», Москва, Россия
Материал	LiF-Mg,Ti	LiF-Mg,Ti	LiF-Mg,Cu,P
Дозная чувствительность (^{60}Co), отн.	1,0	1,0	15-20
Ход с жесткостью (30кэВ/ ^{60}Co)	1,25	1,25	0,98
Диапазон линейной зависимости	10 mGy – 10 Gy	10 mGy – 10 Gy	1 mGy – 10 Gy
Фединг	5% в год	5% в год	не обнаружен

Детектор ТЛД-1011 выпускается в России уже более 8 лет и прошел тестирование в ГНЦ РФ Институте Биофизики, НПО «Радон», ФНЦ ИФВЭ и других организациях. В настоящее время заканчивается его Государственная метрологическая аттестация. НТЦ «Практика» в настоящее время разработал тонкие детекторы (5–10 мг/см²) для дозиметрии кожи, а также выпускает детекторы ТЛД-7011 и ТЛД-6011 для дозиметрии нейтронов. Использование детекторов ТЛД-7011 и ТЛД-6011 для дозиметрии тепловых нейтронов показало их высокую эффективность [2]. В табл. 2 приведены сравнительные результаты использования различных ТЛД для дозиметрии тепловых нейтронов.

Таблица 2: Нижний порог регистрации дозового эквивалента нейтронов (H_f) для различных детекторов.

Тип детектора	Пассивный радиационный мониторинг, H_f , mSv	Альбедный дозиметр, H_f , mSv
TLD-600, TLD-700	0,04-0,06	0,16-0,5
ДТГ-4-6, ДТГ-4-7	0,015-0,02	0,06-0,2
ТЛД-6011, ТЛД-7011	0,004-0,006	0,016-0,05

Таким образом, детекторы ТЛД-7011 и ТЛД-6011 вполне отвечают задачам радиационного контроля для дозиметрии тепловых нейтронов в соответствии с НРБ-96. Вместе с тем проблема радиационного мониторинга для быстрых нейтронов требует дальнейших исследований.

Как выше отмечалось, развитие дозиметрии быстрых нейтронов в настоящее время идет в следующих направлениях:

- усовершенствование альбедных дозиметров;
- использование зависимости чувствительности высокотемпературных пиков ТВ от ЛПЭ;
- использование пороговых конвертеров и эффективных замедлителей.

Следует отметить, что высокая чувствительность ТЛД на основе LiF-Mg, Cu, P уже позволяет решить ряд проблем в этой области. В частности, снижен порог регистрации доз для альбедных дозиметров. Однако в смешанных n-g-полях эти преимущества не столь очевидны, особенно если потоки γ -квантов существенно превышают потоки нейтронов. Появившиеся в последнее время тонкие детекторы (5–10 мг/см²) на основе LiF-Mg, Cu, P являются перспективными для решения стоящих задач. Так, при использовании ряда конвертеров и замедлителей, вторичной частицей (воздействующей непосредственно на ТЛД) являются тяжелые заряженные частицы. Их взаимодействие с детектором ограничивается только поверхностью ТЛД. Для обычных детекторов (толщина 150–200 мг/см²) такой радиационно-чувствительный слой составляет 1–3 от общей массы детектора. Поэтому в смешанных полях эффективность регистрации вторичных частиц от конвертера невелика. В случае использования тонких детекторов радиационно-чувствительный слой для тяжелых частиц будет составлять уже 50% и более. Таким образом, селективность регистрации быстрых нейтронов может быть повышена в 10–20 раз.

Проведенный эксперимент по моделированию этих процессов в α – γ -полях подтверждает перспективность использования тонких детекторов. Кроме этого, тонкие ТЛД на основе LiF-Mg, Cu, P позволяют проводить измерение КТВ до 300 °С. Для обычных детекторов максимальная температура нагревания составляла 240°С, что не позволяло исследовать чувствительность высокотемпературных пиков ТВ от ЛПЭ-излучения. Поэтому тонкие детекторы являются перспективными и в этом направлении исследований.

В настоящее время для этого разрабатывается специальная программа обработки КТВ на индивидуальные составляющие. Таким образом, проводимые в настоящее время исследования по использованию ТЛД на основе LiF-Mg, Cu, P для дозиметрии нейтронов позволят существенно снизить порог регистрации тепловых нейтронов, а также в перспективе позволят повысить надежность регистрации быстрых нейтронов.

Список литературы

- [1] Рогалев Б.И. Научный доклад на соискание уч. степ. канд. физ.-мат. наук. — Иркутск, 1992, 36 с.
- [2] Alexeev A.G., Karpov N.A. FSC IHEP, Preprint 94-130, Protvino, 1994, p.8.