

УДК 535.37:535.34

ДЕТЕКТОРЫ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ И ОКСИДОВ АЛЮМИНИЯ И КРЕМНИЯ

© 2022 г. Н. Л. Алукер¹, *, А. С. Артамонов²

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования “Кемеровский государственный университет”, Кемерово, Россия

²Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва, Россия

*E-mail: naluker@gmail.com

Поступила в редакцию 14.02.2022 г.

После доработки 28.02.2022 г.

Принята к публикации 23.03.2022 г.

Исследованы оптико-физические характеристики оксидных материалов и нитрида алюминия, позволяющие осуществлять целенаправленный подход при выработке критериев оценки дозиметрических перспектив материалов. Предложено использование серийных оксидных термолюминесцентных детекторов и керамических материалов на основе AlN и Al₂O₃ в дозиметрии слабо проникающих излучений высокой интенсивности.

DOI: 10.31857/S0367676522070067

ВВЕДЕНИЕ

Материалы на основе оксидов кремния и алюминия относятся к радиационно-стойким материалам, имеют широкие запрещенные зоны ~9 эВ, многообразное техническое и бытовое применение, широко распространены в окружающей среде. Нитрид алюминия — довольно широко зонный материал (6.2 эВ), является в настоящее время одним из наиболее перспективных материалов в электронике.

Энергии смещения ионов алюминия, кремния и кислорода в междоузлия велики, поэтому их облучение ионизирующим излучением (ИИ) ниже пороговых энергий не приводит к созданию стабильных собственных дефектов в регулярной решетке, что обуславливает их радиационную стойкость [1, 2]. Возбуждение электронной подсистемы при ионизирующем воздействии, несомненно, осуществляется, приводя к созданию нестабильных, не разделенных пар дефектов релаксирующих, с восстановлением регулярных узлов решетки. В щелочно-галогидных кристаллах (ЩГК), благодаря автолокализации дырочной компоненты пары в виде V_k центра, осуществляется разделение и стабилизация в решетке дефектов, созданных за счет электронных возбуждений [2].

Однако многие оксидные материалы хорошо люминесцируют под воздействием света и ионизирующих излучений и на основе этих материалов изготовлены эффективные высокочувствительные термолюминесцентные (ТЛ) детекторы

ИИ [3–8]. Это означает, что возбуждение видоизменяет существующую в материале дефектную и примесную структуру, а люминесцентная считка позволяет фиксировать эти изменения на уровне очень незначительных дозовых воздействий ~2 мкГр (ТЛД-500 (αAl₂O₃)) [5, 6]. Линейный характер термолюминесцентного отклика сохраняется в очень широком диапазоне доз до 2 кГр (ТЛД-К (SiO₂)) [7, 8]. Обеспечение блестящих дозиметрических характеристик материалов выполняется за счет специальных условий синтеза, предусматривающих создание в материалах больших концентраций устойчивых ростовых дефектов в виде кислородных вакансий в разных зарядовых состояниях [3, 5, 6]. При нагреве кристалла в восстановительных условиях в присутствии углерода обеспечивается диффундирование атомов решеточного кислорода в газовую фазу, создавая дефицит кислорода в анионной подрешетке с образованием вакансий V_o⁺⁺, которые захватив электроны, становятся стабильными центрами F-типа. Созданные таким путем F-центры устойчивы до температуры 1600 К. В спектре термолюминесценции (рекомбинационный процесс) при 450 К (глубина ловушки ~1.1 эВ) проявляется внутрицентровая люминесценция F и F⁺ центров. Следовательно, возбуждение внутрицентральной люминесценции осуществляется в рекомбинационном процессе при термическом размо- раживании ловушек (~1.1 эВ), как дырочной, так и электронной природы, т.к. сами центры явля-

ются глубокими ловушками и при такой температуре стабильны. Наличие эффективной ТЛ детекторных материалов при облучении энергиями существенно более низкими, чем пороговые и светом свидетельствует о том, что после облучения они переходят в новое метастабильное состояние, обусловленное перезарядкой существующих в решетке ростовых и примесных дефектов. Примеси играют, скорее, второстепенную роль (роль компенсаторов заряда) в этих процессах, так как конечным этапом рекомбинационного взаимодействия в ТЛ является возбуждение и внутрицентровая люминесценция собственных дефектов анионной природы F и F⁺-центров. Однако ряд примесей с переменной валентностью (Cr, Mn, Ce и др.) обладающих люминесценцией в нужном временном диапазоне также, зачастую, вносят вклад в формирование ТЛ сигнала.

Проведенные в работе исследования материалов на основе оксидов и нитрида кремния имели практическую цель, а именно, оценку возможности применения исследованных материалов, для регистрации слабо проникающего излучения, в том числе высокой плотности и интенсивности, с необходимой минимизацией размеров детекторов до приемлемого минимума и подбору материалов подложек для них. Важно, что исследованные материалы обладают физико-химическими характеристиками эквивалентными материалам микроэлектроники и серийно выпускаются.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ. МЕТОДЫ И ОБРАЗЦЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методы исследования

Исследование спектров оптического поглощения проводилось в спектральном диапазоне 190–3000 нм (Shimadzu-1700 и Shimadzu-3600 с интегрирующей сферой для измерения рассеяния), спектров возбуждения, люминесценции, кинетики люминесценции при фотовозбуждении микросекундными импульсами (Флюорат-02-Панорама). Для ТЛ исследований использовался прибор ДТУ-01М, обеспечивающего регистрацию сигнала в температурном диапазоне до 450°C с возможностью изменения скорости нагрева от 1 до 20°C/с и ДВГ-2ТМ. Для облучения материалов небольшими дозами подпороговых энергий использовался импульсный рентгеновский аппарат АРИНА с максимальной энергией 250 кэВ; для облучения в области доз >0.1 кГр – γ -излучение ⁶⁰Со (установка РХМ- γ -20). В качестве источника ультрафиолета была использована ртутная газоразрядная лампа низкого давления с кварцевой колбой (ОУФД-01), диапазон излучения от 205 до 315 нм, максимум на 253.7 нм. Элементный состав, оценивался с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM – 6390 LV с

энерго дисперсионным анализатором JED 2300. С помощью микроскопа получены также фото поверхностей образцов. Для оценки структурных характеристик керамики использовался порошковый рентгеновский дифрактометр Bruker D8 Advance A25, рентгеновское излучение CuK α (40 кВ на 40 мА), $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$, Ni-фильтр на вторичном пучке. Для анализа использован банк данных рентгенограмм соединений PDF-2 и литературные данные [9].

Образцы для исследования

Объектами исследования были образцы α -Al₂O₃: монокристаллические детекторы ТЛД-500, чистые и легированные примесями монокристаллы, а также порошкообразные и керамические образцы. В качестве объектов исследования монокристаллического и аморфного SiO₂ изучались: термолюминесцентные детекторы ТЛД-К (натрий силикатная стеклокерамика); образцы стекла не обладающие ТЛ сигналом (формально с аналогичным элементным составом, но другой технологией синтеза); образцы монокристаллов кварца. В качестве образцов исследования нитридов исследовались серийно выпускаемые подложки из керамического AlN китайского производства.

Для исследования термолюминесценции керамики из керамических пластин методом лазерной резки были подготовлены образцы (детекторы) размером 3 × 3 мм, соответствующие размерам и толщине (0.5 мм) детекторов ТЛД-К. Детектор ТЛД-500 отличался по размерам: диаметр 5 мм, толщина 1 мм, и имел более высокую прозрачность (монокристалл со шлифованной поверхностью). Для сравнения чувствительностей материалов к воздействию излучения интенсивности сигнала в максимуме ТЛ приводились к массе детекторов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Структура и чистота образцов

В пределах точности метода керамика AlN является однофазным соединением со структурой вюрцита, с высокой степенью монокристалличности и незначительным возможным присутствием других фаз (оксида алюминия, алюмоитриевого граната и др.) (рис. 1а). Керамика из Al₂O₃ не полностью соответствует рефлексам монокристалла α -Al₂O₃ и, по-видимому, содержит другие фазы корунда (рис. 1б). По результатам качественного рентгеноспектрального анализа образцы керамики AlN и Al₂O₃ содержат микропримеси Y (до 10⁻¹% в AlN), Ca, K, Cu, Fe, Mn, Cr, Ti (10⁻²–10⁻⁴%).

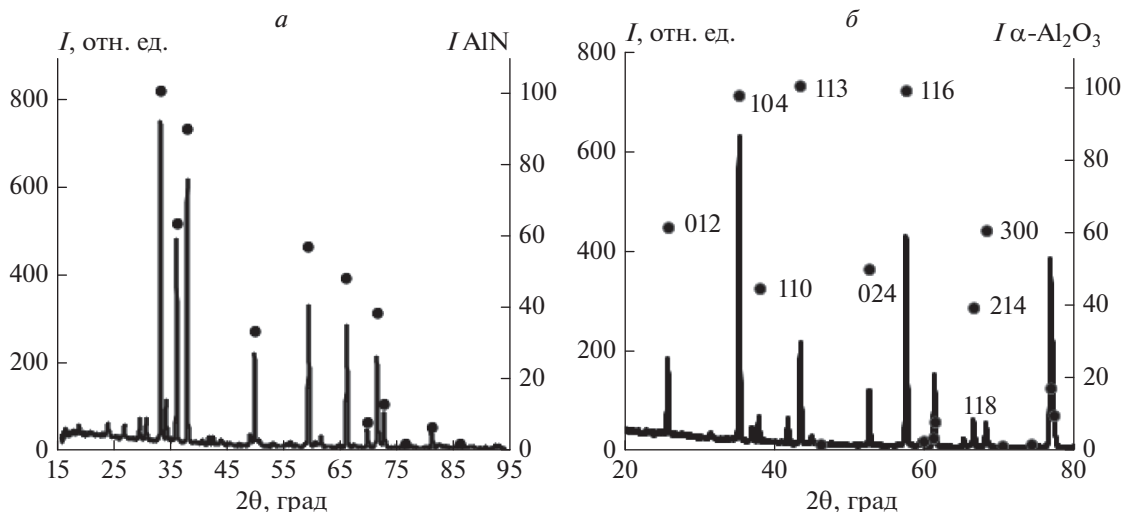


Рис. 1. Дифрактограммы керамических подложек: AlN (а); Al_2O_3 (б). Точками отмечены рефлексы монокристаллов AlN со структурой вюрцита (а) и $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (б).

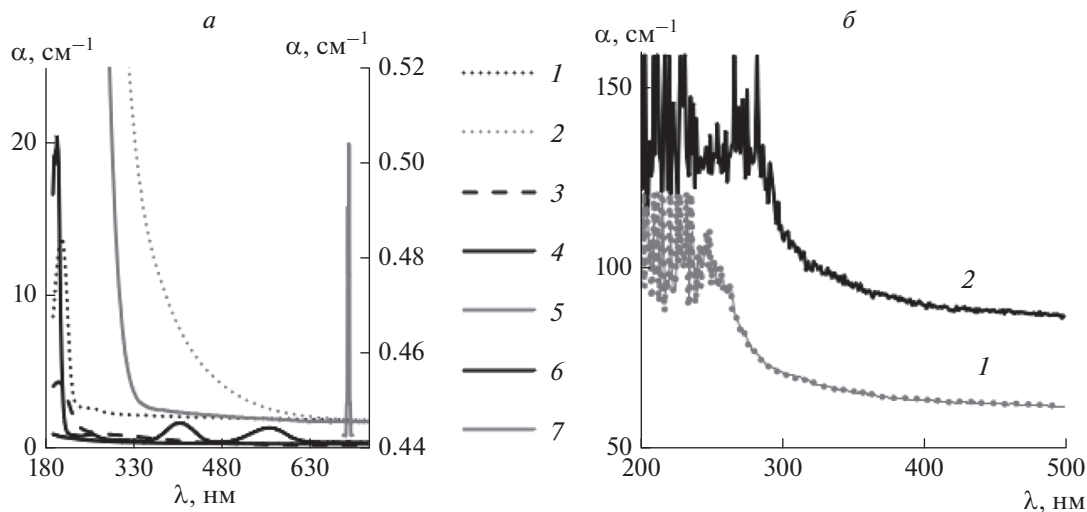


Рис. 2. Спектры поглощения: чистых и легированных монокристаллов оксидов алюминия, стекла и полированных детекторов ТЛД-К и ТЛД-500 (1 – ТЛД-500, 2 – ТЛД-К, 3 – $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Mg}$, 4 – $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}$, 5 – стекло, 6 – Al_2O_3 , 7 – $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}$, правая ось (а); керамических подложек AlN (1) и Al_2O_3 (2) (б).

Детекторные материалы также достаточно “грязные”. На поверхности детекторов ТЛД-К и ТЛД-500 имеется множество образований большей и меньшей плотности. Коагулянты меньшей плотности содержат большое количество углерода. Коагулянты большей плотности, металлической природы. Основная масса примесей сосредоточена не в регулярной решетке, а в коагулянтах.

Спектры поглощения

В спектрах поглощения детекторов и керамик наблюдается сильная экстинкция во всей види-

мой области спектра, обусловленная рассеянием на включениях микронного размера (рис. 2). Анионные дефекты в виде F^- – 6.2 эВ (~200 нм) и F^+ – 4.8 эВ (~260 нм) центров надежно фиксируются в спектре поглощения детектора ТЛД-500. Условно чистый кристалл $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ прозрачен. В примесных монокристаллах фиксируется поглощение примесных центров, наиболее ярко проявляется поглощение Cr^{3+} . Поглощение материала детектора ТЛД-К обусловлено его натрий-силикатной основой. Край поглощения ~4.1 эВ 300 нм (рис. 2а). Керамики также имеют сильное поглощение при длинах волн <4.4 эВ (280 нм) (рис. 2б).

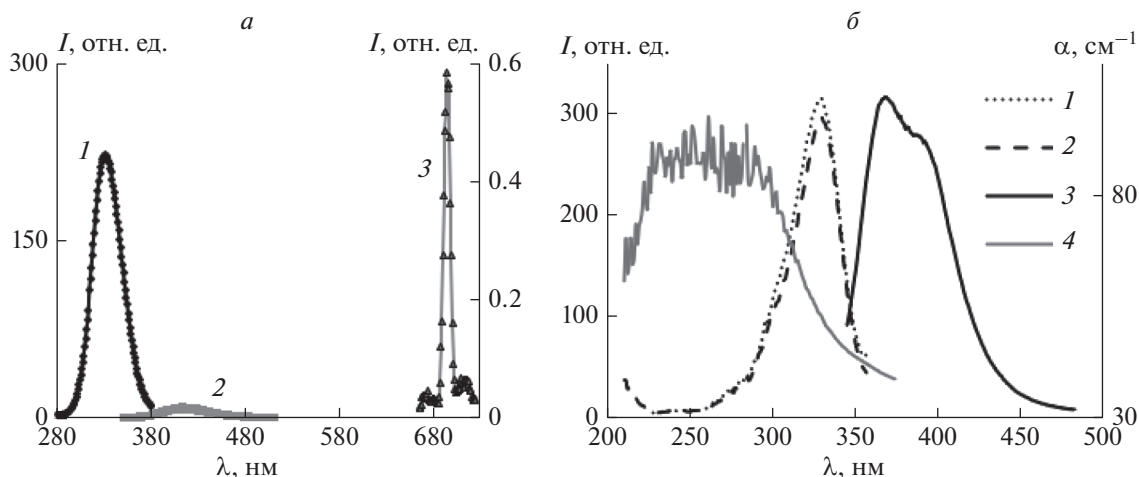


Рис. 3. Наблюдаемая люминесценция: детектора ТЛД-500 при фотовозбуждении микросекундными импульсами и оптимальных условиях регистрации (1 – F^+ центр, 2 – F центр, 3 – Cr) (а); спектры возбуждения люминесценции 370 (1), 390 нм (2) и люминесценция при возбуждении 330 нм (3) детектора ТЛД-К при задержке строба 0.95 мкс и длительности стробирования 4.95 мкс, спектр поглощения (4) (б).

Спектры люминесценции оксидов

Спектры рентгено-, фото- и термолюминесценции анион-дефектного α - Al_2O_3 хорошо изучены [3, 5, 6], в них доминирует люминесценция анионных вакансий в разных зарядовых состояниях. Это длительная люминесценция триплетно возбужденного F центра ($I_{max} \sim 3.02$ эВ (410 нм), $\tau \sim 36$ мс) и свечение, связанное с внутрицентровым переходом синглетно возбужденного F^+ центра ($I_{max} \sim 3.76$ эВ (330 нм), $\tau \sim$ несколько нс). В поглощении и возбуждении F центра надежно выявлена полоса в области 6.3–5.9 эВ (197–210 нм) (рис. 2а). Полосы с максимумами 5.9 (210 нм), 5.4 (230 нм) и 4.77 эВ (260 нм) приписывают возбуждению F^+ центра [5, 6]. В рентгенолюминесценции присутствует быстрая излучательная рекомбинацией электронов с $F^+ \sim 3.26$ эВ (380 нм). Она наблюдается и в люминесценции условно чистых кристаллов (слабая) и после их облучения нейтронами. Очень близкая по характеристикам люминесценция присуща и чистым монокристаллам кварца. Синглетный возбужденный уровень F центра находится вблизи дна зоны проводимости, что обеспечивает возможность ионизации центра, созданию экситона на дефекте, обеспечивающего возбуждение триплетного состояния с последующей внутрицентральной длительной люминесценцией.

Уровни возбужденных состояний (триплетно-возбужденного F центра и синглетно-возбужденного F^+ центра) по нашим оценкам совпадают, что обеспечивает конверсию F^+F^+ . Аналогичная ситуация, вероятно осуществляется и с конверсией $F^+V_0^{++}$.

Примеси при высокотемпературном синтезе в восстановительной среде могут выступать в роли компенсаторов для формирования стабильных при комнатной температуре дефектов, а ряд примесей с переменной валентностью (Cr, Ti, Mn, Y, возможно Sr, Ce и др. PЗ), проявляться в люминесценции оксидов. В анион дефектном ТЛД-500 надежно идентифицирована люминесценция, связанная с примесью $Cr^{3+} \sim 1.79$ эВ (693 нм), длительность ~ 3.5 мс. На рис. 3а приведена люминесценция F, F^+ и Cr^{3+} центров в ТЛД-500, наблюдаемая в разных временных окнах при фотовозбуждении микросекундными импульсами. Разные временные окна исследования люминесценции позволяют выделить довольно большое число люминесцирующих примесных центров, которые могут проявиться в формировании ТЛ сигнала. Так в хроматографическом порошке корунда и корундовой керамике кроме хрома появляется люминесценция, связанная с примесью марганца и, возможно, титана и железа. Типичной для объемных аниондефектных кристаллов люминесценции F и F^+ центров в порошковом материале и керамике не зафиксировано [10].

Спектр поглощения, быстрой люминесценции ТЛД-К и ее возбуждения приведен на рис. 3б. Это перекрывающиеся полосы люминесценции с максимумами ~ 370 и 390 нм, возбуждаемые при 330 нм. Длинноволновая длительная люминесценция в детекторе ТЛД-К предположительно связана с Ti, Mn, возможно Sr и Ce [11].

Анионные вакансии в разных зарядовых состояниях и примеси с переменной валентностью в дозиметрическом SiO_2 , как и в Al_2O_3 , на наш взгляд играют основополагающую роль в формировании термолюминесцентного сигнала. Цен-

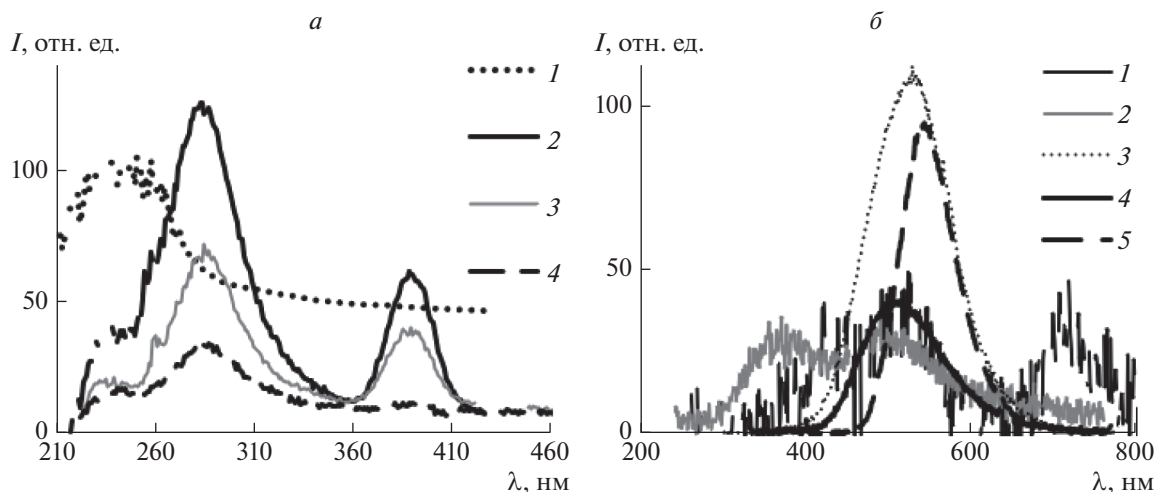


Рис. 4. Спектры поглощения, возбуждения и люминесценции керамики AlN: поглощение (I) и возбуждение люминесценции разных длин волн 510 (2), 520 (3), 480 нм (4) (а); люминесценция, возбуждаемая светом разных длин волн (1 – 210, 2 – 230, 3 – 300, 4 – 323, 5 – 390 нм) (б).

тры, образованные кислородными вакансиями, являются определяющими в формировании оптических и люминесцентных свойств целого ряда оксидов (Al_2O_3 , SiO_2 , BeO , MgO , ZnO и др).

Люминесценция нитрида алюминия

В керамике AlN наблюдается быстрая, но довольно слабая люминесценция (330 нм). Она возбуждается на краю поглощения и может быть обусловлена присутствием фазы оксида алюминия в нитриде (рис. 4). В быстрой люминесценции, по-видимому, проявляются вакансии анионной подрешетки и кислородные центры [12, 13]. В спектре интенсивной длительной люминесценции AlN при длительности стробирования 1000 мкс при разных возбуждениях выделяется область 2.6–2.2 эВ (480–560 нм) (рис. 4б). Спектры возбуждения люминесценции в этой области приведены на рис. 4а. На наш взгляд люминесценция может быть обусловлена, присутствием марганца.

Следует отметить высокий выход и перспективную, для создания белых светодиодов, область фотолюминесценции AlN.

Термолюминесценция

Термолюминесценция (ТЛ) детекторов ТЛД-К и ТЛД-500 очень похожи. Основные дозиметрические пики находятся при $\sim 165^\circ\text{C}$ в ТЛД-К и $\sim 175^\circ\text{C}$ в ТЛД-500. Полуширины пиков сравнимы. Чувствительности материалов на единицу массы отличаются \sim в 5 раз в пользу детектора ТЛД-500. Анион-дефектный $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ кроме чувствительности к ионизирующему излучению

(ИИ) обладает сильной чувствительностью к свету, что не желательно для дозиметрии ИИ.

В слабом ТЛ сигнале керамического Al_2O_3 наблюдаются три, сравнимых по интенсивности, максимума при 175, 250 и 350°C . Чувствительность к ИИ в 250 раз ниже монокристаллического аниондефектного корунда. Чувствительность к УФ свету сопоставима с чувствительностью к свету детектора ТЛД-К, что обусловлено сильным поглощением в УФ области. Наличие нескольких пиков на кривой ТЛ, не очень высокая чувствительность к свету и ИИ может характеризовать материал как не обладающий перспективами в качестве ТЛ детектора, но перспективный в качестве подложки для создания детекторов для регистрации слабо проникающего ИИ. Преимуществом является обеспечение электронного равновесия, т.к. эффективный атомный номер $Z_{\text{эф}}$ соответствует $Z_{\text{эф}}$ материалов микроэлектроники и детекторному материалу.

Очень интересной оказалась ТЛ образцов детекторов из AlN керамики [14, 15]. Они обладают чрезвычайно высокой чувствительностью как к воздействию УФ света, так и воздействию радиации. Пик ТЛ очень широкий со смещением максимума от 200 до 300°C , в зависимости от времени регистрации после облучения. Сразу после облучения чувствительность выше, чем чувствительность детекторного материала ТЛД-500 в 6–7 раз, однако уже в течение дней после облучения она падает в 7–10 раз, т.е. наблюдается значительный фединг ТЛ сигнала. При этом за счет высвечивания низкотемпературной части кривой наблюдается значительный сдвиг максимума ТЛ в высокотемпературную область (рис. 5). При работе с одинаковой выдержкой после облучения ТЛ AlN

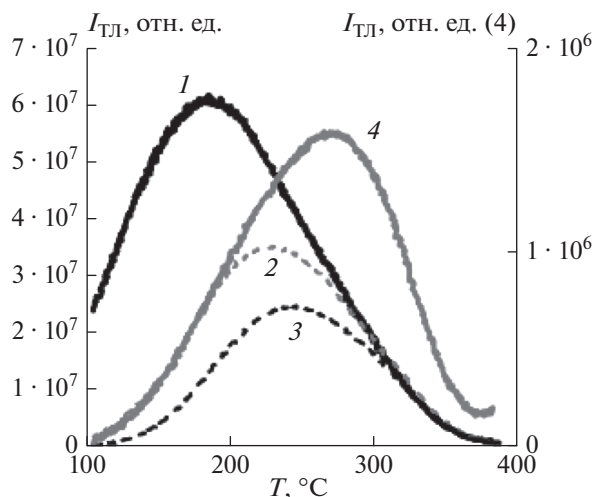


Рис. 5. Термостимулированная люминесценция детекторов из керамики AlN после облучения светом (1, 2, 3) и ИИ (4), 1 — измерение в течение 10 мин после облучения, 2 — через день, 3 — через 3 дня, 4 — через неделю.

керамики хорошо воспроизводима. Линейность ТЛ отклика на дозу облучения выполняется до доз 500 Гр и возможно выше (требует дополнительных исследований). При изменении скорости нагрева изменение интенсивности ТЛ пропорциональное скорости нагрева в диапазоне скоростей 1–10°С/с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Серийно выпускаемый керамический материал AlN является перспективным для дозиметрии как ионизирующих, так и фото воздействий. В обоих случаях после облучения наблюдается значительный фединг сигнала ТЛ и сдвиг максимума ТЛ. Однако воспроизводимость сигнала после облучения, измеряемая при одинаковом временном зазоре после облучения, позволяет осуществлять градуировку детектора с учетом фединга. При измерении в течение минут после облучения чувствительность к облучению, как светом, так и ИИ превосходит чувствительность материала детектора ТЛД-500 в 5 раз, ТЛД-К в 25 раз, а ТЛД-100 (LiF) в 80 раз. За неделю после облучения происходит десятикратное падение сигнала ТСЛ за счет высвечивания низкотемпературной части пика, удельная чувствительности к радиации становится ниже чувствительности ТЛД-500, однако превосходит чувствительность ТЛД-К и ТЛД-100. Несомненный интерес представляет обнаруженный нами эффект металлизации поверхности, под действием лазерной обработки материала. Этот эффект может быть использован в качестве метки при контроле слабо проникающего излучения, когда важно фиксировать сторону облучения.

Люминесцентные характеристики нитрида алюминия подразумевают нетривиальный механизм его фото- и термолюминесценции с наличием в объекте зоны ловушек с близкими энергиями активации. Высока вероятность того, что люминесцирует сложный молекулярный центр, обладающий колебательной структурой, с длительной релаксацией к стабильному состоянию. Таким центром, на наш взгляд, может быть центр типа MnO_4^- , проявляющийся в фотолюминесценции.

Высокая чувствительность, хорошая воспроизводимость в партии детекторов, изготовленных из одной серийной подложки, возможность многократного использования при стандартном отжиге, линейность дозового отклика в широком диапазоне доз делает материал стандартных керамических подложек AlN весьма перспективным для дозиметрии излучений. Наличие сильного фединга накладывает определенные ограничения на использование материала. Он не может быть применен для накопительного контроля фоновой радиации, но при соответствующей градуировке является отличным высокочувствительным детектором для быстрой оценки дозы облучения сразу после облучения. Высокая интенсивность и большая полуширина пика при измерении в течение минут после облучения обеспечивают высокий выход люминесценции ~10%, что является рекордным для ТЛ (выходы ТЛ наиболее чувствительных детекторов не превышают 1%). Высокий выход ФЛ в микросекундном диапазоне в области 480–560 нм делает материал перспективным для изготовления светодиодов.

В качестве материалов для изготовления детекторов размером десятка микрон для регистрации высокоинтенсивных слабо проникающих излучений более перспективен материал на основе SiO_2 , используемый для изготовления детекторов ТЛД-К, в специальных экспериментах возможно применение керамики AlN. В качестве подложки для них может быть использована корундовая керамика.

Вопрос о том, какие дефекты размораживаются в основном дозиметрическом пике ТЛ детекторов и обеспечивают уникальную термоактивность рассмотренных материалов до сих пор является предметом исследований [16–18]. Несомненна роль примесей (Li, Na, K, H, Mg) как компенсаторов заряда, изоморфно вошедших в кристалл примесей, например Al в стекло и др. При нагреве ионы компенсаторы приобретают подвижность, и теряют связь с центром. Вероятно, именно размораживание скомпенсированных центров при 450 К приводит к появлению свободных электронов и дырок, комбинация которых обеспечивает возбуждение и перезарядку стабильных при этой температуре F-центров, приводя к их внутрицентральной люминесценции.

Концентрация активных центров в этом процессе практически не меняется. Отжиг ~ до 700 К возвращает систему в первоначальное (до облучения) метастабильное состояние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луцкич Ч.Б., Луцкич А.Ч. Распад электронных возбуждений с образованием дефектов в твердых телах. М.: Наука, 1989. 264 с.
2. Алукер Э.Д., Гаврилов В.В., Дейч Р.Г., Чернов С.А. Быстропротекающие радиационно-стимулированные процессы в щелочно-галоидных кристаллах. Рига: Зинатне, 1987. 183 с.
3. Akselrod M.S., Kortov V.S., Kravetsky D.J., Gotlib V.I. // Radiat. Prot. Dosim. 1990. V. 32. No. 1. P. 15.
4. Алукер Н.Л., Алукер Э.Д. Рабочее вещество для термолюминесцентного дозиметра ионизирующих излучений. Патент РФ № 2108598, кл. G01T1/11, C09K11/08. 1998.
5. Кортов В.С., Сюрдо А.И., Шарафутдинов Ф.Ф. // ЖТФ. 1997. Т. 67. № 7. С. 72; Kortov V.S., Syurdo A.I., Sharafutdinov F.F. // Tech. Phys. 1997. V. 42. No. 7. P. 783.
6. Kortov V.S., Pustovarov V.A., Shtang T.V. // Radiat. Meas. 2016. V. 85. P. 51.
7. Алукер Н.Л., Суздальцева Я.М., Herrmann M., Дупленова А.С. // Приборы и техн. экспер. 2016. № 5. С. 115; Aluker N.L., Suzdaltseva J.M., Herrmann M., Dulepova A.S. // Instrum. Exp. Tech. 2016. V. 59. No. 5. P. 733.
8. Алукер Н.Л., Артамонов А.С., Herrmann M.E. // Приборы и техн. экспер. 2021. № 3. С. 98; Aluker N.L., Artamonov A.S., Herrmann M.E. // Instrum. Exp. Tech. 2021. V. 64. No. 3. P. 437.
9. Xu Y.N., Ching W.Y. // Phys. Rev. B. 1993. V. 48. No. 7. P. 4335.
10. Кортов В.С., Нукифоров С.В. // Наносист. Наноматер. Нанотехнол. 2011. Т. 9. № 1. С. 41.
11. Zhang G., Cui Q., Liu G. // Opt. Mater. 2016. V. 53. P. 214.
12. Bi Z.X., Zheng Y.D., Zhang R. et al. // J. Mater. Sci. Mater. Electron. 2004. V. 15. No. 5. P. 317.
13. Tanaka S., Hu Q., Grishmanov V., Yoneoka T. // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B. 1998. V. 141. No. 1–4. P. 547.
14. Trinkler L., Bøtter-Jensen L., Christensen P., Berzina B. // Radiat. Meas. 2001. V. 33. No. 5. P. 731.
15. Trinkler L., Berzina B., Kasjan D., Chen L.-Ch. // Radiat. Meas. 2008. V. 43. No. 2–6. P. 231.
16. Kotomin E.A., Kuzovkov V.N., Popov A.I., Vila R. // Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B. 2016. V. 374. P. 107.
17. Farouk S., Gad A., Al-Azab H. et al. // Radiat. Phys. Chem. 2021. V. 181. Art. No. 109333.
18. Tillner N., Frankerl C., Nippert F. et al. // Phys. Stat. Sol. B. 2020. V. 257. No. 12. Art. No. 2000278.

Radiation detectors based on aluminum nitride, and aluminum and silicon oxides

N. L. Aluker^{a, *}, A. S. Artamonov^b

^a Kemerovo State University, Kemerovo, 650000 Russia

^b National Research Nuclear University MEPHI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, 115409 Russia

*e-mail: naluker@gmail.com

The optical-physical characteristics of oxide materials and aluminum nitride have been investigated, allowing a targeted approach to the development of criteria for assessing the dosimetric prospects of materials. It is proposed to use serial oxide thermoluminescent detectors and ceramic materials based on AlN and Al₂O₃ in the dosimetry of low-penetrating high-intensity radiation.