

УДК 621.382.001.63

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЛОЖЕК ДЛЯ СЕНСОРА РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*И.В. ГАСЕНКОВА, Г.А. ВЛАСОВА, *Э.Э. КОЛЕСНИК, ЯСИН МОХСИН ВАХИОХ

**Институт физики НАН Беларуси
пр. Независимости, 68, Минск, 220072, Беларусь*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

Поступила в редакцию 10 декабря 2012

Описываются конструктивно-технологические особенности формирования подложек с периодической системой микроотверстий для построения сенсоров радиоактивного излучения. Приводится последовательность операций по созданию таких подложек на основе анодного оксида алюминия.

Ключевые слова: сенсор радиоактивного излучения, диэлектрические подложки, конструкция, технология, анодный оксид алюминия.

Введение

Проблема индикации рентгеновского излучения возникла после того, как было установлено его негативное влияние на живой организм. Актуальность этой проблемы обозначилась после проведения анализа результатов мониторинга последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Проведенный анализ подтвердил связь многих заболеваний (в первую очередь раковых) у людей с накопленными в течение десятилетий дозами низкоинтенсивного рентгеновского излучения. В наше время проблема индикации малых уровней радиации обострилась в связи с авариями на японской АЭС, а также утилизацией отходов, содержащих радиоактивные материалы.

Существуют разнообразные приборы радиационного контроля, однако проблема создания простого порогового высокочувствительного сенсора – индикатора радиоактивного излучения актуальна в настоящее время.

В работе приводится вариант построения миниатюрного порогового сенсора радиоактивного излучения с использованием подложки из анодного оксида алюминия (АОА) с периодической системой микроотверстий, заполненных чувствительным к рентгеновскому излучению соединением.

Приборы радиационного контроля

К радиационным индикаторам может быть отнесен любой прибор, информирующий человека об ионизирующей радиации. С их помощью человек обретает способность реагировать на эту невидимую и не осязаемую опасность заблаговременно, на большом удалении и при малых концентрациях.

Приборы радиационного контроля можно разделить на три типа: радиационные индикаторы, включающие в спектр воспринимаемую человеком ионизирующую радиацию; пороговые дозиметры – способные работать в автоматизированных системах; измеряющие дозиметры того или иного назначения.

В современных дозиметрах в качестве регистрирующего вещества используются сцинтилляторы, которые испускают свет при поглощении ионизирующего излучения. Однако известные простейшие конструкции отличаются невысокой чувствительностью, узким диапазоном регистрируемого излучения, высокой ценой.

Известно большое число методов регистрации ионизирующих излучений и устройств для регистрации заряженных частиц, основанных на различных физических принципах [1,2].

Так, например, известен выполненный в виде экрана микроканальный преобразователь рентгеновского излучения в видимый свет [3], содержащий совокупность микроканалов, выполненных из оптически прозрачного материала, например, стекла или пластика. Внутри стенок каналов или на их поверхности находится слой, отражающий видимый свет, заполненный слоем рентгеночувствительного люминофора увеличенной толщины, с одной стороны которого находится источник рентгеновского излучения, а с противоположной – приемное устройство в виде светочувствительной ПЗС или КМОП матрицы, оптически связанное с выходом указанной совокупности микроканалов. Микроканальный преобразователь не обладает достаточной чувствительностью к ионизирующим излучениям, имеет ограниченный рабочий диапазон, достаточно большие массогабаритные характеристики и не является гибким.

Недавно японские ученые создали дешевый детектор радиоактивного излучения [4], представляющего собой подложку на основе полиэфирных смол с внедренными частицами фотолюминесцирующего соединения и коммерческим названием продукта Scintirex. Приходящее излучение заставляет электроны сцинтиллятора возбуждаться и переизлучать фотоны. Этот свет собирается на фотоприемнике, преобразуется в импульс тока, усиливается и записывается регистрирующей системой. Компания Teijin Chemicals Limited планирует начать их производство и продажу по цене в десять раз меньшей, чем стоимость детекторов радиоактивного излучения других типов. За счет модифицирования молекулярной структуры вещества материал Scintirex по таким характеристикам, как люминесценция, индекс преломления и плотность превзошел другие сцинтилляторы. Кроме того, Scintirex пластичен. Однако детектор радиоактивного излучения Scintirex обладает низкой чувствительностью, имеет узкий рабочий диапазон регистрации ионизирующих излучений, не стабилен при изменении характеристик окружающей среды, прежде всего температуры, интенсивности солнечного излучения и повышенных уровнях ионизирующих излучений. В результате точность измерения ионизирующих излучений и долговременная стабильность снижаются. Такие индикаторы не могут быть многократными и долговечными, т. к. материал чувствительного элемента (пластик) под действием рентгеновского излучения разрушается.

Поэтому представляется перспективной разработка конструктивно-технологического варианта высокочувствительного индикатора рентгеновского излучения на основе нанопористых подложек из анодного оксида алюминия с инкапсулированными в него слоями чувствительного к гамма-квантам соединения, например, сернистого кадмия. Более высокие характеристики такой конструкции предопределяются радиационной стойкостью подложек из анодного оксида алюминия на уровне алюмооксидной керамики, а также использованием эффекта наноструктурирования чувствительных слоев для проектирования 2D- и 3D-микроструктур детектора.

Для повышения чувствительности, стабильности и расширения рабочего диапазона при минимальных массогабаритных характеристиках предложен конструктивный вариант сенсора ионизирующих излучений с увеличенным объемом композита из фотолюминесцирующих соединений, чувствительных к ионизирующим излучениям, определяемых их наноструктурированием, толщиной диэлектрической подложки и площадью периодической системы микроотверстий в ней [5].

Конструктивная особенность сенсора радиоактивного излучения

Сенсор радиоактивного излучения содержит диэлектрическую подложку из анодного оксида алюминия, в которой выполнены микроотверстия, параллельные друг другу и заполненные частицами фотолюминесцирующего компонента. На одной из поверхностей диэлектрической подложки перпендикулярно микроотверстиям размещен фотоприемник. За счет наноструктурирования частиц (размеры в диапазоне от единиц до сотен нанометров), содержания

в композите соединений, чувствительных к ионизирующим излучениям в широком диапазоне энергий, достигается расширение рабочего диапазона и повышение чувствительности сенсора радиоактивного излучения. Экспериментально определено, что при размерах частиц фотолюминесцирующего компонента более чем в 3 раза меньших, чем диаметры микроотверстий, достигаются высокая плотность заполнения микро- наноотверстий, большая площадь поверхности взаимодействия ионизирующих излучений с частицами фотолюминесцирующего компонента и, как следствие, более высокая чувствительность к радиоактивным излучениям.

Диэлектрические подложки изготовлены методом электрохимического окисления алюминия и формирования анодного оксида алюминия (Al_2O_3) с периодической системой наноотверстий, диаметр которых может регулироваться технологическими приемами от 10 нанометров до сотен микрометров. Заполнение микроотверстий частицами фотолюминесцирующего компонента проводится с помощью золь-гель метода при избыточном давлении или разрежении. Кроме того, при толщинах до 50 мкм подложка из анодного оксида алюминия достаточно гибкая.

Сенсор радиоактивного излучения работает следующим образом. При наличии ионизирующих излучений энергия входящего потока возбуждает частицы фотолюминесцирующего компонента, которые переизлучают фотоны в видимой области спектра. Это излучение может регистрироваться фотоприемником, преобразуется в импульс тока, усиливается и записывается регистрирующей системой.

Изготовление конструкции из алюмооксидной керамики с периодической системой микроотверстий, заполненных наноразмерными частицами фотолюминесцирующего компонента, содержащего соединения, чувствительные к ионизирующим излучениям в широком диапазоне энергий, позволяет повысить чувствительность и стабильность и расширить рабочий диапазон при минимальных массогабаритных характеристиках. При определенных уровнях излучений, высоких чувствительности и фотолюминесценции возможно визуальное наблюдение свечения при наличии ионизирующих излучений.

Особенности формирования подложек из анодного оксида алюминия для сенсора радиоактивного излучения

Наиболее удобными подложками для индикаторов рентгеновского излучения являются пористые структуры на основе оксида алюминия, формируемые электрохимическим окислением (анодированием) алюминия в кислотных электролитах. Схема операции данного технологического процесса представлена на рис. 1. Анодируемым материалом является алюминий марки А99 в виде ленты толщиной 0,08...0,1 мм. Перед электрохимическим окислением алюминий проходит предварительную обработку: химическое полирование в растворе: H_3PO_4 – 780 мл; H_2SO_4 – 150 мл; HNO_3 – 70–100 мл; $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ – 5 г. Полирование проводится в течение 1 мин. в предварительно подогретом до 95 °С растворе. После полирования алюминий тщательно промывается в дистиллированной воде, высушивается и прокатывается в ленту толщиной 0,07 – 0,1 мм. Валки прокатного стана должны иметь класс чистоты поверхности не ниже 13, при прокатке используется смазка на основе минерального масла («веретенка») и керосина в соотношении 1:1. Затем алюминиевая лента отмывается от следов прокаточной смазки в растворителях (бензин, ацетон) и окончательно очищается в изопропиловом спирте в ультразвуковой ванне. Подготовленная таким образом лента разрезается на заготовки, размер которых определяется возможностями фотолитографического оборудования и ванн для электрохимического окисления.

После прокатки и разделения ленты на заготовки последние не плоскостны. Для придания заготовкам плоскостности они подвергаются рихтовке в устройстве, состоящем из рихтовочных плит, обращенные друг к другу поверхности которых отполированы до 13 класса чистоты, нагревателей и устройства сжатия плит усилием до 150 кг/см². Важная особенность рихтовочных плит состоит в том, что коэффициент их термического расширения примерно в 2,5 раза меньше, чем у алюминия. Заготовка алюминия укладывается между рихтовочными плитами предварительно нагретыми до 150–250 °С, и плиты сжимаются между собой. Вследствие различного коэффициента термического расширения при охлаждении в зажатом состоянии заготовка алюминия подвергается пластической деформации равномерно по всем направлениям и заготовка приобретает плоскую форму. Если поверхность заготовки не удовлетворяет по чистоте поверхности, она может быть подвергнута полировке.

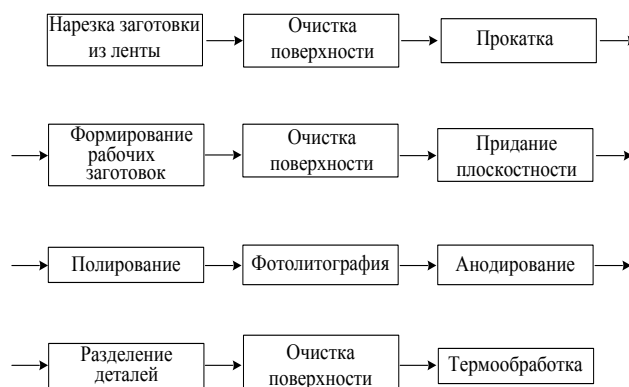


Рис. 1. Схема процесса формирования подложек анодного оксида алюминия для сенсора радиационного излучения

Способ получения подложек анодного оксида заключается в локальном окислении алюминия. Участки, соответствующие щелям, отверстиям подложки, экранируются от контакта с электролитом защитным изоляционным слоем. В качестве такового используется фоторезист.

Рисунок защитного слоя, формирующего конфигурацию будущей подложки, и контурная разделяющая полоска выполняются фотолитографическими методами. Заготовка с рисунками будущих подложек подвергается электрохимическому окислению в гальваностатическом режиме при условиях: температура электролита 10–15 °С. Время анодирования устанавливается при этих условиях из расчета ~1 мкм слоя оксида за 1 мин.

При достижении требуемой толщины слоя оксида удаляется фоторезист и непрореагировавший алюминий вытравливается в травителе на основе соляной кислоты и хлорной меди. Данный раствор практически не реагирует с образовавшимся слоем оксида алюминия. Вытравливание алюминия приводит к разделению подложек на автономные элементы.

Полученный после электрохимического окисления АОА является аморфным. При нагреве он кристаллизуется, проходя ряд полиморфных превращений. При этом изменяются и геометрические размеры подложки. Применительно к использованию подложек для сенсоров выбрана метастабильная γ -фаза Al_2O_3 , которая образуется отжигом аморфного оксида при температуре 950 °С. Эта модификация поликристаллического Al_2O_3 обладает удовлетворительными механическими свойствами и практически не изменяет своей структуры при нагреве до 850 °С с выдержкой при этой температуре в течение десятков тысяч часов.

Непосредственно изготовленные экспериментальные образцы подложек АОА с системой отверстий 5,0 мкм и расстоянием между ними 2,0 мкм, представлены на рис. 2.

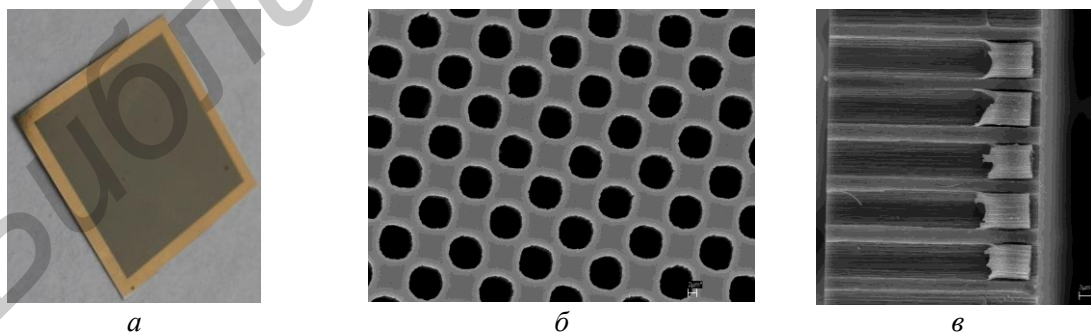


Рис. 2. Экспериментальные образцы подложек анодного оксида алюминия: общий вид (а); с системой отверстий 5,0 мкм и расстоянием между ними 2,0 мкм (б); скол с частичным заполнением CdSe (в)

Экспериментальные образцы подложек АОА представляют собой квадратную структуру с размером $10 \times 10 \text{ мм}^2$. По всей площади методом фотолитографии сформирована периодическая система отверстий с диаметрами 5,0 мкм и расстоянием между ними 2,0 мкм. Модифицированным золь-гель методом проведено осаждение наноструктурированного CdSe в микро-

отверстия. Предварительное тестирование образцов продемонстрировало фотолюминесценцию при воздействии радиоактивным излучением.

Заключение

Проведен сравнительный анализ различных приборов радиационного контроля. Определены недостатки известных простейших детекторов радиоактивного излучения. Предложен вариант конструкции порогового сенсора радиоактивного излучения на основе подложек из анодного оксида алюминия с периодической системой микроотверстий, заполненных наноразмерными частицами фотолюминесцирующего компонента. Описана последовательность технологических операций по созданию подложек из анодного оксида алюминия.

FEATURES OF SUBSTRATES FORMATION FOR X-RAY RADIATION SENSOR

I.V. GASENKOVA, G.A. VLASOVA, E.E. KOLESNIK, YASIN MOHSIN VANION

Abstract

The design and technological features of the formation of substrates with a periodic system of microsensors for the construction of radiation is described. Series of operations to create such substrates by anodic alumina are shown.

Список литературы

1. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. В 2-х т. Т.1. Физика атомного ядра. М., 1974.
2. Калашиникова В.И., Козодаев М.С. Детекторы элементарных частиц. Учебное пособие для вузов. М., Наука, 1966.
3. Патент РФ № 88164. Микроканальный преобразователь рентгеновского излучения / Аксенов Д.С., Алергант М.С., Каплан С.Л., Чуркин А.В.
4. Nakamura H., Takahashi S., Shirakawa Yo. et. al. / Euro Physics Letters. 29 June 2011.
5. Патент РБ №8898. Детектор ионизирующих излучений / Лыньков Л.М., Мухуров Н.И., Прудник А.М., Вахиох М.Я.