

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ**

УДК 621.382.001.63

**ПОРОГОВЫЙ СЕНСОР ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

И.В. ГАСЕНКОВА\*, Л.М. ЛЫНЬКОВ, Н.И. МУХУРОВ\*, ЯСИН МОХСИН ВАХИОХ

*\*Институт физики НАН Беларуси  
Независимости, 68, Минск, 220072, Беларусь*

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

*Поступила в редакцию 15 октября 2013*

Приводится оригинальная конструкция сенсора ионизирующих излучений на основе диэлектрических подложек с периодической системой микроотверстий. Подложки выполнены из нанопористого анодного оксида алюминия. Микроотверстия сформированы фотолитографией с последующим травлением оксида и заполнены с помощью золь-гель метода чувствительными к ионизирующему излучению слоями из CdS.

*Ключевые слова:* сенсор ионизирующих излучений, конструкция, нанопористый анодный оксид алюминия, чувствительные слои из CdS.

**Введение**

Вопросы охраны окружающей среды вызывают повышенное внимание в связи с развитием промышленной и сельскохозяйственной деятельности человека. Среди них важнейшими являются: обнаружение радиоактивных материалов, проведение радиационного мониторинга местностей, таможенного контроля ядерных материалов, контроля радиационной обстановки в контролируемых зонах, где имеются источники радиоактивных излучений (атомные станции, предприятия атомной промышленности, научно-исследовательские институты, морские суда с атомными реакторами, пункты захоронения радиоактивных отходов и др.). Особенно проблема индикации малых уровней радиации обострилась в связи с авариями на японской АЭС, а также утилизацией отходов, содержащих радиоактивные материалы. Поэтому разработка и создание простого порогового сенсора ионизирующих излучений является актуальной задачей.

**Методы обнаружения и измерения**

В результате взаимодействия радиоактивного излучения со внешней средой происходит ионизация и возбуждение ее нейтральных атомов и молекул. Ионизирующее излучение – любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков. Эти процессы изменяют физико-химические свойства облучаемой среды. Для регистрации и измерения ионизирующих излучений используют ионизационный, химический, сцинтилляционный и люминесцентный методы.

Чувствительным элементом средства измерений, предназначенным для регистрации ионизирующего излучения, является сенсор (детектор) ионизирующих излучений [1, 2]. Действие детектора основано на явлениях, возникающих при прохождении ионизирующего излучения через вещество (рабочую среду детектора). По физической сущности

взаимодействия ионизирующих излучений с веществом выделяют следующие типы детекторов:

- ионизационный, основанный на способности излучений ионизировать среду, через которую они проходят;
- химический, основанный на образовании новых химических соединений как результате воздействия ионизирующих излучений на молекулы некоторых веществ;
- сцинтилляционный, регистрирующий фотоны света, излучаемые сцинтиллятором вследствие поглощения энергии ионизирующих излучений;
- люминесцентный, обусловленный возникновением свечения под влиянием какого-либо воздействия (фотолюминесценция, радиолюминесценция, хемилюминесценция, триболюминесценция, термолюминесценция и т. д.).

Сущность ионизационного метода заключается в том, что под воздействием ионизирующих излучений в среде (газовом объеме) происходит ионизация молекул, в результате чего электропроводность этой среды увеличивается. Если в нее поместить два электрода, к которым приложено постоянное напряжение, то между электродами возникает направленное движение ионов, т. е. протекает так называемый ионизационный ток, который может быть измерен. Такие устройства называют детекторами излучений. В качестве детекторов в дозиметрических приборах используются ионизационные камеры и газоразрядные счетчики различных типов. Ионизационный метод положен в основу работы таких дозиметрических приборов, как ДП-5А (Б,В), ДП-22В и ИД-1.

Сущность химического метода состоит в том, что молекулы некоторых веществ в результате воздействия ионизирующих излучений распадаются, образуя новые химические соединения. Количество вновь образованных химических веществ можно определить различными способами. Наиболее удобным для этого является способ, основанный на изменении плотности окраски реактива, с которым вновь образованное химическое соединение вступает в реакцию. На этом методе основан принцип работы химического дозиметра гамма- и нейтронного излучения ДП-70 МП.

Сцинтилляционный метод основывается на том, что некоторые вещества (например, сернистый цинк, йодистый натрий, вольфрамат кальция) светятся при воздействии на них ионизирующих излучений. Возникновение свечения является следствием возбуждения атомов под воздействием излучений: при возвращении в основное состояние атомы испускают фотоны видимого света различной яркости (сцинтилляции). Фотоны видимого света улавливаются специальным прибором – так называемым фотоэлектронным умножителем, способным регистрировать каждую вспышку. В основу работы индивидуального измерителя дозы ИД-11 положен сцинтилляционный метод обнаружения ионизирующих излучений.

При люминесцентном методе регистрации ионизирующих излучений детекторы поглощают и накапливают энергию ионизирующего излучения в молекулярных центрах люминесценции и способны высвечивать накопленную энергию при освещении ультрафиолетовым светом или при нагревании. Простейшими вариантами пороговых сенсоров являются люминесцентные, которые светятся в видимом диапазоне длин волн при наличии ионизирующего излучения. Один из вариантов – микроканальный преобразователь рентгеновского излучения в видимый свет, выполненный из оптически прозрачного материала и содержащий совокупность микроканалов [3]. Внутри стенок каналов или на их поверхности находится отражающий видимый свет слой заполненных рентгеночувствительным люминофором с увеличенной толщиной слоя, с одной стороны которого находится источник рентгеновского излучения, а с противоположной – приемное устройство в виде светочувствительной ПЗС или КМОП матрицы. Микроканальный преобразователь характеризуется низкой чувствительностью к ионизирующим излучениям, имеет ограниченный рабочий диапазон, достаточно большие массогабаритные характеристики и не является гибким.

Второй вариант конструкции детектора радиоактивного излучения включает подложку из полиэфирных смол с внедренными частицами фотолюминесцирующего соединения [4]. Приходящее излучение возбуждает электроны сцинтиллятора, который затем переизлучает фотоны. В фотоприемнике происходит преобразование излучения в импульс тока, усиление его и, при необходимости, запись регистрирующей аппаратурой. За счет модифицирования

молекулярной структуры вещества такой материал, получивший название Scintirex по таким характеристикам, как люминесценция, индекс преломления, плотность и пластичность превосходит другие сцинтилляторы. Однако детектор радиоактивного излучения Scintirex не достаточно чувствителен, имеет узкий рабочий диапазон регистрации ионизирующих излучений. Кроме того, он весьма чувствителен к изменению характеристик окружающей среды: температура, уровень солнечного и ионизирующего излучений, что снижает точность измерения ионизирующих излучений и долговременную стабильность параметров. Так как материал несущей подложки (пластик) под действием рентгеновского излучения разрушается, такие индикаторы не могут быть многократными и долговечными.

Поэтому представляется перспективной разработка конструктивного 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.

### Конструктивный вариант сенсора ионизирующих излучений

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

Сенсор ионизирующих излучений содержит диэлектрическую подложку 1 из анодного оксида алюминия, в которой выполнены микро- и нанотверстия 2, параллельные друг другу и заполненные частицами фотолюминесцирующего компонента 3. На одной из поверхностей диэлектрической подложки перпендикулярно микро- и нанотверстиям размещен фотоприемник 4. За счет наноструктурирования частиц (размеры в диапазоне от единиц до сотен нм), содержания в композите соединений, чувствительных к ионизирующим излучениям в широком диапазоне энергий, достигается расширение рабочего диапазона и повышение чувствительности сенсора ионизирующих излучений. Экспериментально определено, что при размерах частиц фотолюминесцирующего компонента в 3 и более раза меньших, чем диаметры микро- и нанотверстий, достигаются высокая плотность заполнения микро- и нанотверстий, большая площадь поверхности взаимодействия ионизирующих излучений с частицами фотолюминесцирующего компонента и, как следствие, более высокая чувствительность к ионизирующим излучениям.

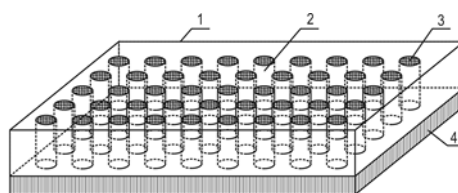


Рис. 1. Сенсор ионизирующих излучений: 1 – диэлектрическая подложка, 2 – микроотверстия, 3 – частицы люминесцирующего компонента, 4 – фотоприемник

Диэлектрические подложки изготовлены методом электрохимического окисления алюминия и формирования анодного оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ) с периодической системой нанотверстий, диаметр которых может регулироваться технологическими режимами от 10 до 200 нм, а с помощью фотолитографии и вплоть до сотен микрометров. Заполнение микро- и нанотверстий 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 пластична. В качестве фотолюминесцирующего компонента нами использовалось соединение CdS, которое под действием ионизирующих излучений может излучать в «желто-зеленом» диапазоне длин волн.

Сенсор ионизирующих излучений работает следующим образом. При наличии ионизирующих излучений входящий поток заставляет частицы фотолюминесцирующего компонента возбуждаться и переизлучать фотоны в видимой области спектра. Это излучение

регистрируется фотоприемником, преобразуется в импульс тока, усиливается и записывается регистрирующей системой.

### **Заключение**

Описаны методы регистрации и некоторые конструкции пороговых сенсоров ионизирующих излучений. Предложен оригинальный вариант конструкции порогового сенсора ионизирующих излучений. Выполнение конструкции из алюмооксидной керамики с периодической системой микро- и нанотверстий, заполненных наноразмерными частицами фотолюминесцирующего компонента, содержащего соединение CdS, чувствительного к ионизирующим излучениям в широком диапазоне энергий, позволяет повысить чувствительность и стабильность и расширить рабочий диапазон при минимальных массогабаритных характеристиках.

## **THRESHOLD SENSOR CONTROL OF IONIZING RADIATIONS**

I.V. GASENKOVA, L.M. LYNKOV, N.I. MUKHUROV, YASIN MOHSIN VAHIOH

### **Abstract**

The original design of a sensor control of ionizing radiations is resulted on the basis of dielectric substrates with periodic system of micro apertures. Substrates are executed from nanoporous anodic alumina. Micro apertures are generated by a photolithography with the subsequent etching oxide and filled with the help sol-gel of a method sensitive to ionizing radiation by layers from CdS.

### **Список литературы**

1. *Комочков М.М.* Дозиметрия ионизирующих излучений. Дубна, 2006.
2. *Бекман И.Н.* Измерение ионизирующих излучений. Курс лекций. Москва, 2006.
3. *Аксенов Д.С., Алергант М.С., Каплан С.Л., Чуркин А.В.* Микроканальный преобразователь рентгеновского излучения / Патент РФ № 88164.
4. *H. Nakamura, S. Takahashi, Yo. Shirakawa et. al.* / Euro Physics Letters. 29 June. 2011.
5. *Лыньков Л.М., Мухуров Н.И., Прудник А.М., Вахиох М.Я.* Детектор ионизирующих излучений / Патент РБ № 8898.