

ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ БЕЗЭЛЕКТРОДНЫХ РАДИАЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ С СВЧ СМЕЩЕНИЕМ

Гордиенко Ю. Е., Бородин Б. Г., Сорока А. С.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61009, Украина
тел.: +38 (057) 7021362, e-mail: meru@kture.kharkov.ua

Аннотация — Предложены конкретные пути разработки измерительных микроволновых резонансных систем с бесконтактным включением чувствительного к ионизирующему излучению сенсора, выполненного из широкозонного полупроводникового соединения типа CdTe (CdZnTe). Численное моделирование и оптимизация нескольких видов таких резонансных систем позволило обоснованно подойти к проектированию эффективных радиационных полупроводниковых датчиков с СВЧ смещением. Ожидается, что зависимость чувствительности рассматриваемых датчиков от мощности поглощаемой дозы излучения будет значительно ниже, чем в датчиках на постоянном смещении.

I. Введение

Ключевым звеном, определяющим информационные характеристики системы радиационного контроля, является детектор ионизирующих излучений. Для радиометрии ионизирующих излучений необходимо использовать пропорциональные детекторы. Приемлемыми эксплуатационными характеристиками обладают сцинтилляционные и полупроводниковые детекторы, работающие при комнатных температурах. Первым полупроводниковым материалом, на основе которого были изготовлены неохлаждаемые детекторы γ -излучения, является теллурид кадмия (CdTe). Это обусловлено большой шириной запрещенной зоны ($E_g = 1,47$ эВ), относительно высокой подвижностью электронов ($\mu_e = 1100$ см²/(В.с)) и дырок ($\mu_h = 100$ см²/(В.с)) при комнатной температуре, большим эффективным атомным номером ($Z_{эф} = 48,52$). В результате достаточно продолжительных исследований сформировалось новое направление в области создания систем радиационного контроля, основанное на применении широкозонных полупроводниковых соединений CdTe и Cd_{1-x}Zn_xTe, которое оказалось весьма перспективным [1, 2].

II. Безэлектродные детекторы

На основе указанных кристаллов разработаны планарные сенсоры с электродами, к которым прикладывается постоянное высокое напряжение. Они имеют небольшой объем, не требуют охлаждения жидким азотом и обеспечивают достаточно высокую эффективность регистрации γ -излучения. Энергетический диапазон детектируемого излучения лежит в интервале (0,02...3) МэВ. Диапазон рабочих температур от -40 до +50 С. Спектрометры γ -излучения на основе CdTe и CdZnTe обладают энергетическим разрешением порядка нескольких процентов.

Ионизирующее излучение, поглощаемое в объеме кристалла, генерирует электронно-дырочные пары, количество которых пропорционально выделенной энергии. Свободные заряды в течение времени жизни дрейфуют под действием приложенного электрического поля к электродам, где определенная их часть собирается для измерения внешним устройством. Неполный сбор образующегося при ионизации нескомпенсированного заряда обусловлен процессами рекомбинации и захвата носителей дефектами

кристалла. При этом чувствительность детекторов CdTe (CdZnTe) в указанном интервале измеряемых энергий изменяется в десятки раз [3], что представляет собой достаточно серьезную проблему, решению которой посвящено множество исследований в направлении оптимизации электродов и систем первичной обработки информации.

Эти проблемы в определенной мере могут быть сняты в конструкции безэлектродного CdTe (CdZnTe) детектора с СВЧ смещением, который подробно исследован в работах Террега, см., например, [4]. В этом детекторе чувствительный к ионизирующему излучению кристалл применен в объеме микроволнового резонатора как малое возмущающее тело, что ограничивает его использование на практике из-за низкой эффективности.

В работе [5] проведено систематическое сравнение электродных РПД и РПД с СВЧ смещением. В предложенной схеме РПД мерой поглощенной энергии от потока ионизирующего излучения является отклик резонансной системы — изменение добротности или параметров отраженного от резонатора сигнала. Показано, что при СВЧ смещении учет нескомпенсированных носителей не зависит от времени их жизни и геометрии рабочего объема РПД. Однако на точность идентификации поглощенной энергии существенно влияет неоднородность распределения электрического поля в объеме сенсора.

РПД СВЧ удастся преодолеть ряд ограничений, присущих РПД на постоянном смещении, упростить конструкцию, повысить надежность и эффективность детектора. Однако, увеличение рабочего объема сенсора — чувствительного к излучению кристалла и необходимого для реализации высокой эффективности, встречает определенные трудности на СВЧ, поскольку объемные и волноводно-диэлектрические резонаторы не обеспечивают приемлемой однородности распределения электрического поля в объеме сенсора.

Одним из вариантов резонатора, обеспечивающего достаточно высокую степень однородности электрического поля в объеме сенсора и достаточно высокую добротность, является цилиндрический резонатор с колебанием квази- E_{01q} , который анализируется в данной работе. Более приемлемым представляется тороидальный резонатор, в емкостном зазоре которого установлен чувствительный к ионизирующему излучению сенсор, где имеет место максимальная интенсивность электрического поля с высокой степенью однородности. Электродинамический анализ такой системы с учетом потерь в стенках резонатора и вносимых излучением потерь в материале сенсора может быть выполнен аналитически на основе решения характеристического уравнения относительно собственных комплексных частот.

При численном моделировании колебаний тороидального резонатора, выполненного в среде специализированного программного пакета электродинамического моделирования HFSS, результат может быть

получен в наглядном виде. На рис. 1 показано распределение амплитуды электрического поля $|\vec{E}|$ в трех диаметральных сечениях в области расположения сенсора: (а) в плоскости окна; (б) в среднем сечении; (в) в плоскости торца стержня. Видно, что интенсивность электрического поля $|\vec{E}|^2$ на периферии сенсора отличается от интенсивности в центральной части не более чем на $\pm 2\%$.

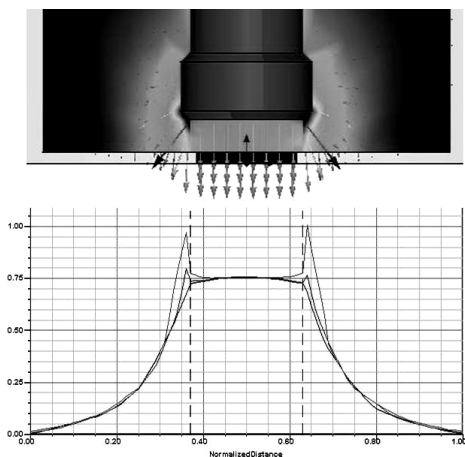


Рис. 1. Векторная картина и распределение амплитуды электрического поля в сечениях сенсора.

Fig. 1. Vector picture and distribution of amplitude of electrical field in sections of sensor

Геометрические размеры тороидального резонатора на частоте 1 ГГц выбраны исходя из имеющихся промышленных образцов CdTe. Применена «таблетка» диаметром 10 мм толщиной 3 мм ($\epsilon=12$, темновое значение удельного сопротивления на постоянном токе $3,1 \cdot 10^8$ Ом·м). Радиационно индуцированная электропроводность сенсора при средних и достаточно больших мощностях дозы γ -излучения может превосходить равновесную (темновую) на несколько порядков [2]. При этом величина собственной добротности такого резонатора по результатам моделирования изменяется от $Q=3400$ при $tg\delta = 10^{-5}$ до $Q=120$ при $tg\delta = 10^{-2}$, где $tg\delta$ — угол потерь материала сенсора, зависящий от мощности поглощенной дозы ионизирующего излучения. Учитывая высокую степень однородности электрического поля в сенсоре (рис. 1), зависимость изменения добротности при облучении от изменения электропроводности материала сенсора можно выразить простым соотношением:

$$Q_{обл.}^{-1} - Q_{тем.}^{-1} = \frac{\Delta\sigma}{\sigma_{тем.}} \cdot \frac{tg\delta_{тем.}}{1 + K^{-1}},$$

где $\Delta\sigma = \langle \sigma_{обл.} \rangle - \sigma_{тем.}$ — разность усредненного по объему облученного сенсора значения коэффициента электропроводности и темнового значения коэффициента электропроводности;

$$K = \left(\epsilon \cdot E_{z0}^2 V_c \right) / \int_{V-V_c} |\vec{E}|^2 dV$$

— коэффициент включения сенсора в объем резонатора.

Таким образом, существует однозначная (пропорциональная) зависимость между измерительной информацией и фактором возмущения при поглоще-

нии дозы излучения. При этом, очевидно, реакция резонансной системы не зависит от места локализации трека повышенной концентрации носителей заряда в объеме сенсора.

III. Заключение

В работе предложены конкретные пути реализации микроволновых измерительных резонансных систем с бесконтактным включением чувствительного к ионизирующему излучению сенсора, выполненного из широкозонного полупроводникового соединения CdTe (CdZnTe). Проведенное численное моделирование и оптимизация нескольких таких видов резонансных систем позволило обоснованно подойти к проектированию экспериментальных конструкций радиационных полупроводниковых датчиков с СВЧ смещением.

IV. Список литературы

- [1] Довбня Л. Н., Довбня А. Н., Захарченко А. А., Кутный В. Е., Кутный Д. В., Прохорец И. М., Рыбка А. В., Шляхов И. Н. Применение полупроводниковых детекторов для учета и контроля РАО // Вопросы атомной науки и техники. — 2002, №3. Сер.: Физика радиац. повреждений и радиацион. материаловедение (81). с. 142 — 146.
- [2] Кутный В. Е., Рыбка А. В., Кутный Д. В., Шляхов И. Н. Разработка дозиметрических и спектрометрических блоков регистрации γ -излучения на основе полупроводниковых соединений CdTe (CdZnTe) для АЭС Украины // Вопросы атомной науки и техники. — 2003. Сер.: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники (13). с. 167 — 171.
- [3] Захарченко А. А., Наконечный Д. В., Шляхов И. Н., Рыбка А. В., Кутный В. Е., Хажмурадов М. А. Моделирование энергетической зависимости чувствительности CdTe (CdZnTe) детекторов гамма-излучения // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2007, №1. с. 28 — 31.
- [4] Tepper G., Losee J. A. contactless, microwave-based radiation detector. Nuclear Instruments and Methods, 2001, A, 458, pp. 472 — 477.
- [5] Гордиенко Ю. Е., Бородин Б. Г. Полупроводниковые детекторы ионизирующего излучения с СВЧ смещением // Тр. 18 Междунар. Крымск. конфер. «СВЧ техн. и телекоммун. технологии» КрыМиКо-2008. Т. 1. Севастополь: 2008. с. 114 — 115.

DESIGN OF NONELECTRODE MICROWAVE-BIASED RADIATION DETECTORS

Gordienko Y. E., Borodin B. G., Soroka A. S.
 Kharkiv National University of Radioelectronics
 Lenin avenue 14, Kharkiv, 61009, Ukraine
 Ph.: +38(057)7021362, e-mail: mepu@kture.kharkov.ua

Abstract — actual ways of development of measuring microwave resonant systems with contactless inclusion of a sensor sensitive to ionizing radiation fulfilled from wide-gap compound semiconductor such as CdTe (CdZnTe) are offered. The numerical modeling and optimization of several kinds of such resonant systems has allowed approaching to a constructional design of effective radiating semiconductor microwave-biased sensors. It is expected, that the sensitivity of sensors being under consideration will not depend on capacity of absorbed doze of radiation.

The most satisfactory detecting device is toroidal resonator, in capacitance backlash of which the sensor sensitive to radiation is installed, where the maximal intensity of electrical field with a high degree of uniformity takes place.