

УДК 621.319.2

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Сычик В. А., Глухманчук В. В., Уласюк М. М.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Синтезировано устройство контроля ионизирующих излучений на базе полупроводниковой структуры, содержащей полупроводниковое основание, соединенные каналом области стока и истока, на которой размещен слой широкозонного высокоомного полупроводника обратной проводимости. Затвор триединой структуры выполнен p - n гетеропереходом. Устройство обладает высокой чувствительностью к ионизирующим излучениям и низким значением питающего напряжения.

Ключевые слова: измерительный преобразователь, ионизирующее излучение, полевая триодная структура, широкозонный полупроводник, омические контакты.

IONIZING RADIATION CONTROL DEVICE

Sychyk V., Gluhmanchuk V., Ulasiuk M.

Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. A device for monitoring ionizing radiation has been synthesized based on a semiconductor structure containing a semiconductor base, drain and source regions connected by a channel, on which a layer of wide-band high-resistance semiconductor with reverse conductivity is placed. The gate of the triune structure is made by a p - n heterojunction. The device has high sensitivity to ionizing radiation and a low value of supply voltage.

Key words: measuring transducer, ionizing radiation, field triode structure, wide-gap semiconductor, ohmic contacts.

Адрес для переписки: Сычик В. А., пр. Рокоссовского, 49–18, г. Минск 220095, Республика Беларусь
e-mail: bntu@bntu.by

Устройство относится к полупроводниковым детекторам и может быть использовано для измерений характеристик ионизирующих излучений. Цель разработки – повышение чувствительности и улучшение эксплуатационных характеристик. Полупроводниковый преобразователь состоит из полевой триодной системы, содержащий полупроводниковое основание, области истока и стока, соединенных каналом n -типа проводимости, на которой размещен слой высокоомного широкозонного полупроводника обратного типа проводимости. На слое полупроводника сформирована сильнолегированная область p^+ -типа с нанесенными омическими контактами. Затвор триодной структуры выполнен p - n переходом. Преобразователь также содержит защитный слой, выполненный из аморфного диэлектрика триодной структуры. Чувствительность преобразователя $2,8 \cdot 10^{-6}$ р/с, питающее напряжение – 5 В.

Устройство относится к приборам для физических измерений, в частности к полупроводниковым детекторам ионизирующих излучений, и может быть использовано для измерения параметров потоков ионизационных излучений.

На рисунке 1 изображена конструкция преобразователя.

Для оценки интенсивности ионизирующих излучений используются устройства контроля с твердотельными преобразователями ионизирующих излучений [1, 2].

Нами создано устройство контроля ионизирующих излучений, в котором для преобразования ионизирующих излучений используется гетеропереходная полевая триодная структура.

Структура полупроводникового светочувствительного элемента (ПСДЭ) изображена на рисунке 1.

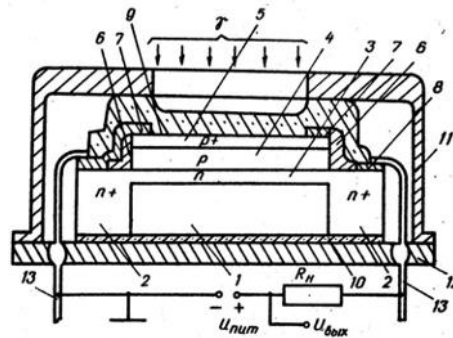


Рисунок 1 – Конструкция преобразователя

Конструктивно устройство контроля ионизирующих излучений состоит из полевой триодной структуры, содержащей полупроводниковое основание 1, например, p -типа, области истока и стока 2, соединенные каналом 3 n -типа проводимости, на котором размещен слой высокоомного широкозонного полупроводника 4 обратного типа проводимости, например, p -типа, причем канал 3 и слой полупроводника образуют гетеропереход. На слое полупроводника 4 p -типа сформирована сильнолегированная область 5 p^+ -типа из того же материала. На торцах p -слоя размещены защитные слои диэлектриков 6. На область p^+ -типа нанесен омический контакт 7 в виде слоя металла. Полупроводник 4 с областью 5 и омическим контактом 7 представляют затвор к полевой триодной структуре, причем слой металла является одновременно

омическим контактом к истоку полевой триодной структуры. Устройство контроля ионизирующих излучений также содержит омический контакт 8 из слоя металла к стоку, защитный слой 9 полупроводниковой триодной структуры, слой диэлектрика 10 на основании 1, защитный металлический корпус 11, в основании 12 которого размещены внешние омические выводы 13 от истока и стока 2 триодной структуры.

Полупроводниковая полевая триодная структура, представляющая чувствительной полупроводниковый элемент преобразователя, выполнена из полупроводника, обладающего высокой подвижностью и временем жизни носителей, т. е. высокой их диффузионной длиной L_d , например, из германия с шириной запрещенной зоны $E_g = 0,66$ эВ. Полупроводниковое основание. Концентрация примеси в областях истока и стока составляет $10^{10} - 10^{21}$ см⁻³, в области канала $10^{16} - 10^{18}$ см⁻³. Толщина встроенного канала аналогична толщине триодной МДП-структура и составляет 1–10 мкм.

Для получения высокой чувствительности необходимо, чтобы в область канала 3 инжектировали генерированные в p -слое полупроводника 4 воздействующими частицами высоких энергий электроны. Поэтому p -слой выполнен из широкозонного высокоомного полупроводника, например GaAs, обладающий идентичными с материалами основания 1 постоянной решетки и температурным коэффициентом линейного расширения. Он образует с каналом 3 n -типа гетеропереход, который обладает преимущественной инжекцией через переход в канал неравновесных носителей – электронов. Высокая подвижность носителей и время их жизни обеспечивает эффективное накопление носителей в слое высокоомного широкозонного p -полупроводника 4 и их диффузию к p - n переходу с высоким коэффициентом переноса. Для полного поглощения ионизирующих излучений (γ -квантов) толщина слоя p -полупроводника 4 составляет, 15–50 мкм и определяется интенсивностью и энергией ионизирующих излучений. Концентрация основных носителей p -полупроводника 4 составляет $10^{14} - 10^{15}$ см⁻³.

Методом диффузии либо ионной имплантации на высокоомном полупроводнике 4 сформирована сильнолегированная область 5 p^+ -типа из того же материала GaAs, обладающая малым удельным сопротивлением 3–6 Ом·см (концентрация акцепторной примеси (Zn, Cd) составляет $10^{18} - 10^{20}$ см⁻³), толщина области 5 составляет 0,5–2 мкм. Область 5 p^+ -типа обладает малым переходным сопротивлением со сформированным на ней в виде металлической полосы по периметру омическим контактом 7 толщиной 1–3 мкм. В результате потенциал по всей поверхности p^+ -области 5 распределен равномерно. Омический контакт 7 к области 5 p^+ одновременно

нанесен на область истока и стока 2, являясь ее омическим контактом, т. е. исток соединен с затвором электрически. К области истока и стока 2 сформирован омический контакт 8. Омический контакт 7 истока и омический контакт 8 стока отделены от высокоомного полупроводника 4 слоями диэлектрика 6, толщина которого составляет 1–3 мкм. Площадь, занимаемая омическим контактом 7 затвора, составляет 1–3 % площади p^+ -области 5.

На затворе триодной структуры, т.е. области 5 p^+ -типа с омическим контактом сформирован защитный слой 9, который выполнен из аморфного диэлектрика, например GeO, SiO, и защищает триодную структуру от тяжелых частиц, при этом обладая хорошим пропусканием для γ -квантов и рентгеновских лучей. Толщина защитного слоя 9, зависит от энергии, типа и плотности потока тяжелых частиц и составляет 0,8–25 мкм. Снизу на полупроводниковом основании 1 размещен слой диэлектрика 10, позволяющий жестко устанавливать полупроводниковую триодную структуру на основание 12 защитного металлического корпуса 11. Слой диэлектрика изготавливается из материала, обладающего высокими изоляционными свойствами, например, SiO₂, толщиной 10–50 мкм. Омические контакты 7 истока и 8 стока электрически соединены (путем сварки или пайки) проводниками с внешними омическими выводами 13 устройства. Корпус 11 герметично экранирует полупроводниковую триодную структуру от внешних воздействий (влаги, электрических помех). Контролируемые ионизационные излучения воздействуют на полупроводниковую триодную структуру через проем (окошко) в корпусе.

При воздействии частиц высокой энергии (α , β -частиц) либо γ -квантов и рентгеновских лучей через проем в корпусе 11 на рабочую поверхность устройства контроля ионизирующих излучений поток Φ_0 ионизирующего излучения проникает через защитный слой 9, где наиболее сильно ослабляется энергия α -и-частиц, и достигает область p^+ -типа затвора полупроводниковой полевой триодной структуры. В высокоомном широкозонном полупроводнике 4 с низкой концентрацией носителей (Pr, Pp) появляется избыточная концентрация электронов $n^{(+)}$ от действия потока ионизирующих излучений, обусловленная как непосредственной ионизацией частицами высоких энергий, так и вторичной ионизацией возникающих высокоэнергетических электронов. Результирующая концентрация электронов $n^{(+)}$ в полупроводнике 4 определяется из зависимости

$$n^{(+)} = \Phi \Delta E / E_a + n_{dr} [1 - \exp(-(E - E_1) / r E_R)] = n_{dr} + n_{df}, \quad (1)$$

где n_{dr} – концентрация избыточных электронов, обусловленная действием на полевую структуру ионизирующих излучений; n_{df} – концентрация

избыточных электронов, обусловленная вторичной электронной ионизацией; ΔE – кинетическая энергия частиц ионизирующего излучения; E_o – средняя энергия ионизации в полупроводнике; E – энергия вторичного электрона; E_i – минимальная пороговая энергия ионизации, отсчитываемая от края валентной зоны; r – число генерируемых фононов за один акт ионизации; E_R – энергия фононов.

Генерируемые в области p - n гетероперехода и в слое толщиной $d = Ln$, где Ln – диффузионная длина электронов, электронно-дырочные пары эффективно разделяются p - n переходом и в область канала поступает поток электронов с концентрацией n_{dr} . Вследствие наличия эффекта вторичной ионизации возникает градиент концентрации избыточных-электронов в полупроводнике 4, что обуславливает дополнительный диффузионный поток электронов в область канала. Диффузионный поток дырок в область канала ограничивается энергетическим барьером валентной зоны в области p - n перехода. Результирующий поток электронов $N(t)$ в область канала 3 полупроводниковой полевой триодной структуры запишется в виде выражения

$$N(t) = S [n_{dr}(w_o + Ln) + Dndndf/dx], \quad (2)$$

где W_o – толщина канала; S – площадь канала 3; q – величина заряда электрона; Dn – коэффициент диффузии и время жизни электронов; $dndf/dx$ – градиент концентрации электронов в полупроводнике 4. Изменение выходного тока триодной полевой структуры составит

$$\Delta I_c = \Delta I_{dr} + \Delta I_{dif}, \quad (3)$$

где ΔI_{dr} и ΔI_{dif} – составляющие выходного тока от ионизирующего излучателя и от вторичной электронной изоляции соответственно.

Как следует из выражения (3) выходной ток резко возрастает с повышением интенсивности

потока и энергии заряженных частиц, при этом полевая триодная структура устройства ионизирующих излучений' работает в обогащенном режиме. При подключении к электродам устройства прямо-полярного питающего напряжения, величина которого $U_a = 3-10$ В. в нагрузочном элементе РН выделяется напряжение сигнала $U_{вых}$. пропорциональное величине выходного тока I_c и его изменению, обусловленному действием ионизационных излучений: $U_{вых} = I_c R_H$.

Экспериментальный образец устройства контроля ионизирующих излучений обладает следующими параметрами: чувствительность $\varphi = 2,8 \cdot 10^{-6}$ Р, рабочий диапазон контролируемых доз излучений $10^{-6}-10^{-3}$ Р, питающее напряжение $U_a = 5$ В.

Таким образом, благодаря тому, что в предложенном полупроводниковом преобразователе ионизирующих излучений чувствительный полупроводниковый элемент выполнен полевой триодной структурой со встроенным каналом, защитный слой чувствительного элемента выполнен из аморфного диэлектрика, а полупроводниковая область затвора сформирована p - p -структурой из широкозонного высокоомного полупроводника, причем канал n -типа и p -область затвора представляет гетеропереход, более чем в 5 раз возрастает чувствительность с $2,5 \cdot 10^{-5}$ р/с до $2,8 \cdot 10^{-6}$ Р/с и более, в 10 раз снижается питающее напряжение со 100 В до 5 В.

Литература

1. Сычик, В. А. Измерительные преобразователи излучений на основе полупроводниковых приборных структур. Мн.: Выш. школа, 1991, 180 с.
2. Сычик, В. А. Твердотельные преобразователи ионизирующих излучений на основе полупроводниковых структур / В. А. Сычик, Н. Н. Уласюк // Проблемы создания информационных технологий. – Вып. 13. – Мн., 2006. – С. 113–119.