ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С СВЧ-СМЕЩЕНИЕМ

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

The major factors, influencing noise characteristics of semiconductor detectors of an ionising radiation are analysed in the report. The analytical expressions are resulted, allowing to execute calculation and optimisation of such detectors noise level. Advantages of the detectors, using microwave displacement, in relation to detectors with constant displacement are shown.

Введение

Полупроводниковые детекторы ионизирующего излучения (ПДИИ) в настоящее время широко используются для дозиметрии и спектрометрии различных радиационных источников. При этом существует проблема повышения энергетической разрешающей способности, воспроизводимости и стабильности параметров.

Имеющийся опыт создания инфракрасных полупроводниковых детекторов с СВЧ смещением [1,2] позволяет предположить целесообразность разработки и исследования СВЧ ПДИИ. В этом также убеждают результаты работ, проводимых в Вирджинском университете (Virginia Commonweals University, Richmond, Virginia, USA) [3].

Приемники ионизирующего излучения, предназначенные для спектроскопии, дозиметрии, мониторинге окружающей среды часто работают с низкими уровнями сигналов. В этом случае определяющим является высокая чувствительность датчика излучения на фоне минимального уровня шумов элементов усилительного тракта. Пороговая чувствительность датчика определяется уровнем его шумов (отношение сигнал/шум равно 1).

Целью данной работы является анализ основных факторов, влияющих на шумовые характеристики детекторов ионизирующего излучения, сравнение в этом плане ПДИИ с СВЧ и постоянным смещением, оптимизация параметров датчика и схемы ПДИИ.

1.Методика анализа шумов

Шумы принято измерять в виде эквивалентной мощности шумов ($P_ш$), напряжения шумов ($U_ш$), шумового тока ($I_ш$), а также эквивалентного шумового заряда (ENC) в зависимости от вида сигнала и детектирующей цепи

Эквивалентная мощность шумов ($P_ш$), напряжение шумов ($U_ш$), шумовой ток ($I_ш$) чаще применяются в качестве эквивалента пороговой чувствительности датчика, если входной сигнал является гармоническим, суммой гармоник, представлен некоторым спектральным распределением мощности, напряжения или тока. При случайном распределении входного сигнала (по амплитуде и/или по спектру), как правило применяют понятие эквивалентного шумового заряда (ENC).

Традиционная методика измерения характеристик ионизирующих излучений включает измерение сигнала датчика с постоянным смещением с помощью зарядочувствительного усилителя. Сигнал представлен в виде размера заряда на входе усилителя. В данной ситуации логично использовать для оценки пороговой чувствительности датчика значение ENC.

Методика измерения характеристик ионизирующих излучений на основе датчика с СВЧ-смещением предполагает измерение мощности СВЧ-отклика детекторным СВЧ-диодом. Для подавления амплитудных и и фазовых шумов СВЧ генератора применяют схему синхронного балансного детектора (рис.1). Мощность СВЧ-отклика пропорциональна количеству неравновесных носителей в датчике, а это количество связано с поглощенной дозой излучения. Сигнал на детекторе в этом случае является гармоническим с частотой СВЧ. Очевидно, что и шум датчика удобно представить в виде мощности $P_ш$.

Для удобства сравнения шумовых характеристик детекторов с СВЧ и постоянным смещением рассчитывалась эквивалентная мощность шумов ($P_ш$).

Обычно ПДИИ строятся на основе резистивного датчика. В качестве материала датчика был выбран теллурид кадмия (CdTe) p- типа, который имеет ряд преимуществ перед кремнием и германием и в последнее время привлекает особое внимание разработчиков ПДИИ.

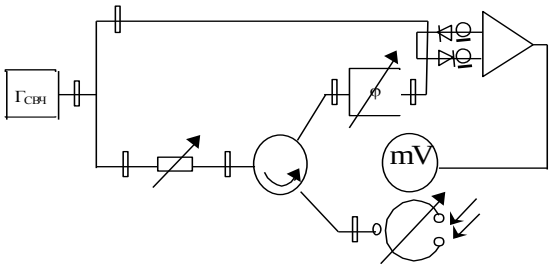

Рис. 1. Схема СВЧ детектора излучений.

2. Шумовые характеристики ПДИИ

При расчете шумовых характеристик фотоприемников обычно учитывают следующие виды шумов [4]: тепловой, генерационно-рекомбинационный, дробовый, шум типа 1/f.

Для резистивного датчика с постоянным смещением при расчете шумов необходимо, принимая во внимание вышеизложенное, учесть тепловой и генерационно-рекомбинационный шум.

Эквивалентная мощность шума

$$P_{\Sigma} = 4kT\Delta f + 4\frac{I_s^2 b^2 n\rho}{S^2 p^2}\cdot\frac{\theta\Delta f}{1+\omega^2\theta^2}. \qquad (1)$$

где k — постоянная Больцмана;

T—абсолютная температура образца;

Δf – полоса пропускания входного тракта;

I_s - средний ток смещения датчика;

b – отношение подвижностей электрона и дырки;

n,p – концентрации электронов и дырок;

ω – частота входного сигнала;

θ – среднее время жизни свободных носителей (в предположении, что оно одинаково для электронов и дырок).

Анализируя вышеприведенные шумовые факторы датчика в случае СВЧ-смещения, приходим к следующим выводам:

- тепловой шум датчика не влияет на выходные шумовые характеристики. Датчик связан с выходной цепью только через СВЧ-волну, мощность которой (СВЧ-отклик датчика) зависит от мощности генератора, поглощенной материалом датчика. Поглощенная мощность зависит от концентрации свободных носителей, но не от их скорости. Таким образом, датчик не имеет непосредственных электрических контактов с выходной цепью, на которых могло бы появиться напряжение, обусловленное тепловым шумом;
- ГР-шум обусловлен флуктуациями концентрации носителей, поэтому он будет присутствовать в СВЧ-отклике датчика;
- дробовый шум в резистивных датчиках не проявляется [4];
- низкочастотный 1/f-шум в нашем случае можно не учитывать. Размер этого шума связан с контактными и поверхностными явлениями, зависящими от технологии изготовления, и может быть уменьшен соответствующей обработкой поверхности. Полезный сигнал датчика, кроме того, является импульсным, что позволяет отфильтровать низкочастотные помехи.

Мощность СВЧ-смещения P_s, поглощаемая датчиком, создает в нем ток $I_s^2 = P_s / R$ (R – сопротивление датчика). Если исходить из предположения, что этот ток эквивалентен току смещения датчика с постоянным смещением, тогда ГР- шум датчика с СВЧ-смещением

$$P_{\Sigma U} = 4P_s \frac{b^2 N \theta \Delta f}{P^2(1+\omega^2\theta^2)}. \quad (2)$$

где N – полное число свободных электронов в объеме датчика;

P - полное число дырок в объеме датчика;

Мощность шумов на выходе приемно-усилительного тракта детектора включает, кроме шумов самого датчика также шумы СВЧ-тракта $P_{ШТ}$, шумы детектора $P_{ШД}$, шумы усилителя сигнала, снимаемого с детектора $P_{ШУ}$, шумы, возникающие за счет нестабильности частоты СВЧ-генератора $P_{ШГ}$.

$$P_{Ш} = P_{\sum U} + P_{ШТ} + P_{ШД} + P_{ШУ} + P_{ШГ}. \quad (3)$$

Шумы СВЧ-тракта определяются качеством его элементов и могут быть сведены к значениям, значительно меньшим, чем шум датчика.

1. А. Рогальский. ИК детекторы. Пер. с англ.. под ред.. А.В. Войцеховского. Новосибирск: Наука, 2003. 487 с.
2. Гордиенко Ю.Е., Свидерская Л.И. Определение характеристик фоторезисторного приемника излучения с СВЧ смещением. - В сб.: Радиотехника, 1976, вып.. 37, с. 88-93.
3. Gary Tepper, Jon Losee. A contactless, microwave-based radiation detector. Nuclear Instruments and Methods, 2001, A, 458, p. 472-477.
4. Фотоприемники видимого и ИК диапазонов. Пер. с англ [Текст] /Р.Дж.Киес, П.В.Крузе, Э.Г.Патли и др.; Под ред. Р.Дж.Киеса. – М.: Радио и связь, 1985. -328 с.