

Литература

1. Черняк, В.С. О новых и старых идеях в радиолокации: ММО РЛС / В.С. Черняк // Успехи современной радиоэлектроники. – 2011. – № 2. – С. 5–19.
 2. Многолучевые радиолокаторы в составе охран-ных комплексов / под ред. И.К. Антонова. – М.: Радио-техника, 2017. – 210 с.

3. Sherman, S.M. Monopulse Principles and Tech- niques / S.M. Sherman, D.K. Barton. – Boston : Artech House, 2011. – 395 p.
 4. Bunday, B.D. Basic Optimization Methods / B.D. Bunday. – London: Hodder Arnold, 1984. – 136 p.
 5. Сизиков, В.С. Математические методы обра- ботки результатов измерений / В.С. Сизиков. – СПб. : Политехника, 2001. – 240 с.

УДК 621.3.049

**ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ТРЕХКООРДИНАТНЫЙ ФОТОПРИЕМНИК
 ВОРОбей Р.И.¹, Гусев О.К.¹, Колтунович Т.², Свистун А.И.¹, Тявловский К.Л.¹, Шадурская Л.И.¹**

¹Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

²Люблинский технический университет

Люблин, Польша

Позиционно-чувствительные фотодетекторы (ПЧФ) находят широкое применение в приборах измерения линейных и угловых перемещений [1]. Измерительные преобразователи на основе матричных фотоприёмников (ПЗС- или КМОП-матриц) имеют хорошие метрологические характеристики, однако не способны одновременно контролировать X , Y координаты и удаленность Z объекта измерения без дополнительных оптико-механических звеньев или использования мощных DSP процессоров. Решением этой проблемы в ряде случаев может быть использование одноэлементных полупроводниковых фотоприёмников [2].

Принцип действия такого фотоприёмника основан на использовании особенностей характеристик полупроводниковой структуры, которые обеспечивают зависимость параметров выходного сигнала от местоположения светового пятна относительно центра симметрии ПЧФ по трём координатам. Работа прибора основана на использовании при формировании измерительного сигнала латеральной фото-ЭДС для определения X и Y координат светового пятна, а для определения Z координаты сфокусированного светового пятна изображения объекта диффузионно-дрейфовых процессов в базе диодной или транзисторной структуры [3, 4]. Такая приборная структура имеет 5 контактов для снятия сигнал X и Y координат и 2 контакта для формирования сигнала о Z -координате светового пятна изображения объекта (рисунок 1).

Алгоритм работы трёх-координатного ПЧФ на первом этапе измерения X и Y координат светового пятна включает их совмещение методом электронной компенсации с началом координат, а на втором этапе – измерение Z координаты.

В качестве основы для изготовления макета ПЧФ использовалась эпитаксиальная структура

$$\frac{20 \text{ КЭФ } 1,8}{200 \text{ КЭС } 0,01}$$

На высокоомной стороне структуры формировался гетеропереход с использованием пиролитического осаждения оптически полупрозрачной пленки SnO_2 . Омические контакты создавались напылением алюминия с последующим вжиганием.

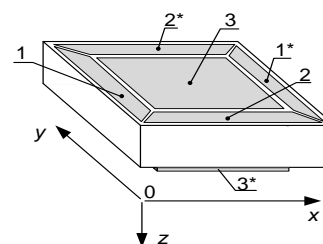


Рисунок 1 – Структура трёх-координатного позиционно-чувствительного фотодетектора

На рисунке 2 приведены экспериментальные координатно-чувствительные характеристики приборной гетероструктуры ПЧФ. Индексы напряжений фото-ЭДС соответствуют номерам контактов структуры на рисунке 1. Как видно, X , Y координатные зависимости измерительного сигнала линейны во всем диапазоне чувствительности ПЧФ. Изменение начала отсчета (смещение нулевого значения X , Y координат) может быть выполнено путем приложения дополнительного электрического смещения к соответствующим контактам структуры.

Экспериментальная структура кремниевого ПЧФ характеризовалась шумами на уровне 10 мкВ, поэтому при измерениях использовалось импульсное освещение структуры, а регистрация сигналов производилась на переменном токе.

На рисунках 3 и 4 приведены координатная для оси z и спектральные характеристики кремниевой структуры ПЧФ.

Координатная характеристика чувствительности ПЧФ структуры $nSnO_2-nSi-Al$ по оси z (рисунок 3) приведена как зависимость фото-ЭДС

между электродами 3–3* от расстояния между плоскостью фокусировки изображения объекта, сформированной объективом, и поверхностью слоя SnO_2 . Из экспериментальных характеристик ПЧФ следует, что характер изменения сигнала (крутизна характеристики и абсолютное значение фото-ЭДС) и полуширина координатных зависимостей определяются длиной волны и спектральным составом освещения (1 – $\lambda = 550$ нм; 2 – $\lambda = 720$ нм; 3 – «белый» свет от галогеновой лампы на рисунке 3).

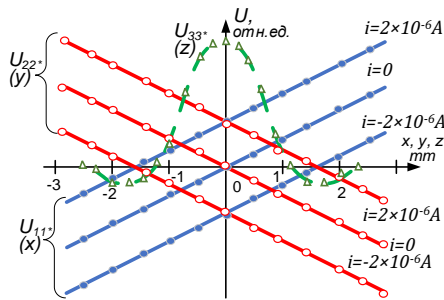


Рисунок 2 – Характеристики чувствительности Si трёх-координатного ПЧФ при $\lambda = 550$ нм

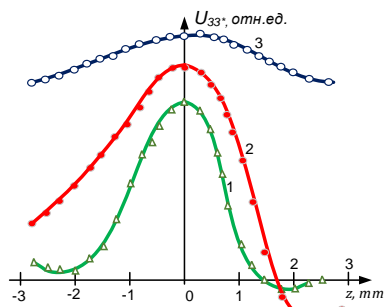


Рисунок 3 – Зависимости фото-ЭДС приборной гетеро структуры $nSnO_2-nSi-Al$ от положения плоскости сфокусированного изображения объекта относительно поверхности структуры (со стороны SnO_2): 1 – $\lambda = 550$ нм; 2 – $\lambda = 720$ нм; 3 – «белый» свет

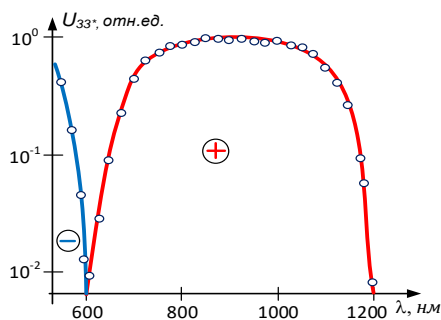


Рисунок 4 – Спектральная характеристика чувствительности кремниевого ПЧФ

Из рисунка 4 видно, что при энергии квантов света более 2,05 эВ ($\lambda \approx 600$ нм) знак фото-ЭДС изменяется на противоположный (полярность сигнала указана относительно слоя SnO_2).

Анализ характеристик полученной структуры по сравнению с характеристиками изотипных гетеропереходных структур, например, $SnO_2-nGe-Al$, позволяет предположить, что ее эквивалентная схема образована двумя встречно включёнными последовательно соединёнными диодами Шоттки. Очевидно, что на границе раздела $SnO_2 - Si$ имеется большая плотность поверхностных состояний, обусловленных несоответствием постоянных кристаллических решеток SnO_2 и Si и наличием собственных поверхностных электронных состояний (ПЭС) кремния. Высокая плотность ПЭС, в свою очередь, приводит к большой скорости поверхностной рекомбинации и малой величине сигнала, по сравнению со структурой с идеальной границей раздела. Малой величине сигнала (отношению сигнал/шум) способствует и малое время жизни носителей заряда в низкоомной области кремниевой структуры.

Сигнал фото-ЭДС приборной структуры кремниевого ПЧФ в области длин волн 600-1100 нм определяется поглощением света на межзонных переходах в кремнии, а инверсия сигнала фото-ЭДС при длинах волн менее 600 нм связана с поглощением света в слое SnO_2 .

Таким образом, исследованные характеристики приборной структуры показывают возможность её использования в качестве основы для построения одноэлементных трёхкоординатных позиционно-чувствительных фотоприёмников для контроля положения изображения источника оптического излучения видимого и ближнего ИК-диапазонов. Улучшение характеристик ПЧФ возможно за счет оптимизации характеристик материала базы приборной структуры и технологии формирования изотипного гетерослоя с целью увеличения времени жизни носителей заряда в базе и снижения плотности поверхностных состояний на границе раздела гетероперехода. Такие приборы могут найти применение в многофункциональных измерительных преобразователях [3–5] систем оптической диагностики.

Литература

- Масол И.В. Информационные нанотехнологии / И.В. Масол, В.И. Осинский, О.Т. Сергеев. – Киев: изд-во Макрос, 2011. – 560 с.
- Ермаков, О.Н. Прикладная оптоэлектроника / О.Н. Ермаков. – М.: Техносфера, 2004. – 416 с.
- Гусев О.К., Тявловский К.Л., Воробей Р.И., Свистун А.И., Шадурская Л. И. Фотоприёмники на основе собственных полупроводников для построения измерительных преобразователей. // Метрология и приборостроение. – 2017, № 2. – С.34 – 42.
- Воробей, Р.И. Измерительные преобразователи систем оптической диагностики с многофункциональными фотоприёмниками / Р.И. Воробей, О.К. Гусев, А.И. Свистун, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский, Л.И. Шадурская // Приборы и методы измерений, 2018. № 3. – С. 215-226.

7. Vorobey, R.I. Photoelectric semiconductor converters with a large dynamic range / R.I. Vorobey, O.K. Gusev, A.K. Tyavlovsky, K.L. Tyavlovsky, A.I. Svistun,

L.I. Shadurskaya, N.V. Yarzhebbitskaya, K. Kierczynski // Przegląd elektrotechniczny, – Nr 5. 2014, – Pp. 5-78.

УДК 004.942

РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ОБЪЕКТОВ ПРИ МАЛЫХ ОТНОШЕНИЯХ СИГНАЛА К ШУМАМ

Артемяев В.М., Наумов А.О.

Государственное научное учреждение «Институт прикладной физики НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь

Введение. Обработка радиотехнических измерений с целью обнаружения сигналов объектов и измерения их координат осуществляется на основе теории статистических решений [1]. Одним из способов решения задачи при малых значениях отношения сигнала к шумам (ОСШ) является использование способа сопровождения перед обнаружением (track before detect), когда текущие измерения координат способствует обнаружению за счет накопления необходимой информации вдоль траектории сопровождения [2]. В имеющихся публикациях по решению таких задач рассматриваются случаи обработки лишь непрерывных сигналов. При этом в основе метода решения лежит теория фильтра частиц [3] на основе апостериорного статистического подхода. Случай обработки бинарных сигналов в имеющихся публикациях не рассматривается, в то время как он играет определенную роль в практике радиотехнических измерений. Содержание данной работы касается рассмотрения возможностей решения задачи при бинарных сигналах в условиях малых значений ОСШ и отсутствии априорной статистической информации.

Формулировка задачи. Измерения в радиолокации осуществляются путем сканирования пространства по координатам дальности, радиальной скорости и угловым координатам. Первоначально сканирование проводится в пределах априорно выбранного диапазона измеряемого параметра с интервалом τ_0 . Сканирование повторяется периодически с периодом $T_0 \gg \tau_0$ и за это время значения параметров могут изменяться. Выходной сигнал приемника в пределах интервала τ_0 обрабатывается пороговым устройством, преобразующим непрерывный сигнал в бинарный. При малых ОСШ появляются шумовые сигналы, которые при бинарном представлении будут неотличимы от полезного. Выходом из этой ситуации может быть использование принципа эвристической самоорганизации процесса решения путем одновременной обработки всех имеющихся сигналов, и последующей селекции результата, максимально удовлетворяющего признакам объекта [4].

При интервале разрешения сигналов значительно меньшем интервала сканирования би-

нарные сигналы можно рассматривать как последовательность случайных точек на оси координат (рис. 1).

На этом рисунке горизонтальная ось является осью относительного непрерывного времени t . Дискретные моменты времени $k=0, 1, 2, \dots$ являются началом интервалов сканирования τ_0 . Значения координат x статистически независимых случайных точек откладываются на вертикальной оси в диапазоне от x_{\min} до x_{\max} . Изменение координат объекта показано штриховой линией. В местах ее пересечения вертикальными линиями отмечено положение точек объекта x_{ok} . Поскольку вероятность превышения порога бинаризации сигналом объекта меньше 1, то имеют место пропуски точек объекта, которые определяются как замирания полезного сигнала.

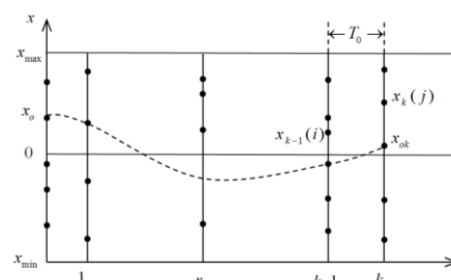


Рисунок 1 – Положения случайных точечных сигналов

Сущность метода обнаружения состоит в формировании всех возможных траекторий, проходящих через точки. По мере роста числа измерений осуществляется последовательный отбор траекторий, максимально соответствующих траектории объекта вплоть до единственной, появление которой является фактом обнаружения. В качестве признака отличия точек полезного сигнала от шумовых используется свойство коррелированности положений точек объекта по сравнению со статистической независимостью положений точек шумов. Решение задачи основано на нахождении весов каждой из траекторий на основе которых принимается решение об обнаружении.

Уравнения весов траекторий. Каждая случайная точка j определяется посредством координат в q -мерном пространстве и задается в виде вектора