

удваивается и т.д. [4]. При изменении знака приращения размер шага квантования уменьшается. Таким образом, микроконтроллер управляющий размером шага квантования должен анализировать плотность сигнала знака приращений  $y(k)$ . На выходе ЦАП при изменении коэффициента усиления в зависимости от плотности сигнала знака приращений  $y(k)$  будет формироваться ступенчатое напряжение с адаптивно изменяющимся шагом квантования. При этом, время преобразования не будет превышать нескольких интервалов дискретизации, но придется мириться с эпизодически появляющейся ошибкой до четырёх значений МЗР.

Преобразователь с фотоприемником компенсационного типа и использование «преобразования с предсказанием» характеризуется малым временем преобразования (несколько интервалов дискретизации) и шумом дискретизации около  $\pm 2$  МЗР.

Описанный измерительный преобразователь может использоваться не только с

фотоприемниками, но и с другими сенсорами, использующими компенсационные способы формирования измерительного сигнала.

1. Vorobey, R.I. / R.I. Vorobey, O.K. Gusev, A.K. Tyavlovsky, K.L. Tyavlovsky, A.I. Svistun, L.I. Shadurskaya, N.V. Yarzhebtskaya, K. Kierczynski // Photoelectric semiconductor converters with a large dynamic range. // Przegląd elektrotechniczny, – Nr 5/2014, – Pp. 75–78.
2. Гусев, О.К. Методология и средства измерений параметров объектов с неопределенными состояниями / О.К. Гусев [и др.]; под общ. ред. О.К. Гусева. – Минск: БНТУ, 2010. – 582 с.
3. Гусев О. К., Тявловский К. Л., Воробей Р. И., Свистун А. И., Шадурская Л. И. Фотоприемники на основе собственных полупроводников для построения измерительных преобразователей. // Метрология и приборостроение. – 2017. – № 2. – С. 34–42.
4. Зюко, А.Г. Теория электрической связи. А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, В.И. Коржик, М.В. Назаров; под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 1998. – 432 с.

УДК 621.382

## ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПАРАТОР НА БАЗЕ ДВУХБАРЬЕРНОГО ФОТОПРИЕМНИКА С ДЛИННОЙ БАЗОЙ

Воробей Р.И.<sup>1</sup>, Гусев О.К.<sup>1</sup>, Жуковский П.<sup>2</sup>, Зданович С.В.<sup>1</sup>, Колтунович Т.<sup>2</sup>, Опеляк М.<sup>2</sup>, Свистун А.И.<sup>1</sup>, Тявловский К.Л.<sup>1</sup>, Шадурская Л.И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> Люблинский технический университет, Люблин, Польша

Оптические компараторы применяют для контроля изделий методом сравнения изображения изделия с эталонным изображением. Применяя светофильтры, ошибки разного знака можно характеризовать различными цветами, что обеспечивает повышение чувствительности, но не снижает утомляемости и не исключает субъективных оценок оператора [1]. В оптико-электронных компараторах сравниваются не собственно изображения, а сигналы, несущие информацию о наиболее важных свойствах изображения. В простейшем случае используются два фотоприёмника, сигналы с выхода которых поступают на входы обычного электронного компаратора для формирования признака равенства оптических сигналов в виде выходного электрического сигнала заданного уровня. Недостатком таких компараторов является низкое быстродействие и невозможность сравнения оптических сигналов по нескольким параметрам одновременно. Оптические компараторы, образованные связанными волноводными разветвлениями [2], характеризуются высоким быстродействием, но имеют сложную конструкцию, приводящую к оптическим потерям и также не позволяют сравнивать изображения по нескольким параметрам.

Некоторые многофункциональные одноэлементные фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) [3], например, поверхностно-барьерные структуры с двумя потенциальными барьерами, сформированные с противоположных сторон приборной структуры, и образующие два встречно включенных диода Шоттки разделенных длинной базой (рисунок 1,а), демонстрируют немонотонную зависимость (рисунок 1,б) выходного сигнала от длины волны  $\lambda$ , интенсивности света  $I$ , величины приложенного напряжения  $V$  и геометрического смещения  $\Delta z$ , спроецированного изображения от фронтальной к тыльной плоскости структуры [4]. Такая структура представляет собой по существу функциональный преобразователь, в котором взаимосвязь четырех параметров  $I$ ,  $\lambda$ ,  $V$ ,  $\Delta z$  дает возможность функционального выражения одной физической величины через другую (или совокупность нескольких величин) и использования прибора в качестве фотоприемника для сравнения интенсивностей излучения в разных спектральных диапазонах, детектора длины волны монохроматического излучения и др. приема и передачи информации, координатно-чувствительного элемента.

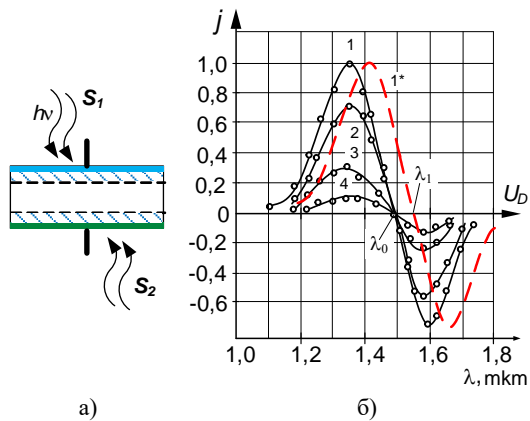


Рисунок 1 – Структура одноэлементного двухбарьерного ФЭП (а) и спектральные характеристики фототока короткого замыкания преобразователя ( $Ni-nGe(Cu)-Ni$ ) для различных плотностей мощности оптического излучения: 1 –  $J = 10$  мкВт/см<sup>2</sup>, 2 –  $J = 5$  мкВт/см<sup>2</sup>, 3 –  $J = 3$  мкВт/см<sup>2</sup>, 4 –  $J = 1,5$  мкВт/см<sup>2</sup> (б)

При освещении с одной стороны двухбарьерный ФЭП характеризуется линейной передаточной характеристикой интенсивности света  $I$  и нелинейной характеристикой чувствительности к длине волны [4] вследствие поглощения света по глубине структуры, отражения от передней и тыльной сторон структуры и т.д. Однако при освещении ФЭП с двух сторон оптическим сигналом  $S_1$  анализируемого изображения и сигналом  $S_2$  опорного изображения нелинейности передаточных характеристик взаимно компенсируются и выходной сигнал  $J$  будет равен нулю при равенстве оптических сигналов  $S_1$ ,  $S_2$  по обоим параметрам: интенсивности и длины волны света.

Если выводы на противоположных сторонах ФЭП выполнить не в виде полупрозрачных электродов на всей поверхности структуры, а в виде совокупности электродов 1–4 и 5–6, размещенных по контуру структуры (рисунок 2), то такой ФЭП будет чувствителен также к форме и положению элементов изображения относительно центра структуры [3]. Координатно-чувствительный ФЭП будет формировать нулевой выходной электрический сигнал, как ФЭП со сплошными электродами, при равенстве  $I$ ,  $\lambda$  и  $Z$ , где  $Z$  – параметры формы и местоположения изображения на чувствительной поверхности ФЭП.

Изменение смещения на парах электродов 1–2 и 3–4 до достижения условия равенства нулю выходного тока, позволит определить возможные смещения изображений, формирующих сигналы  $S_1$ ,  $S_2$  по координатам  $X$ ,  $Y$ . Изменение смещения между электродами 1–4 и 5–8 также до достижения условия равенства нулю выходного тока, позволит определить изменения максимумов в спектре излучения изображений 1 и 2 ( $\lambda_0$  и  $\lambda_1$  на рисунке 1, б).

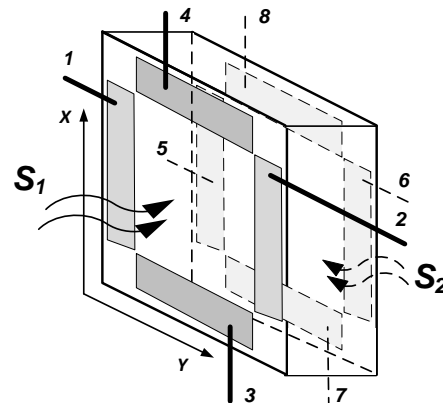


Рисунок 2 – Оптико-электронный компаратор на базе одноэлементного двухбарьерного координатно-чувствительного ФЭП

Дополнительно параметрами преобразования оптико-электронного компаратора, если в качестве основы ФЭП используется собственный полупроводник слабо легированный глубокой примесью, формирующей несколько уровней с различными зарядовыми состояниями, можно управлять, используя внешнее оптическое излучение [5]. Изменяя интенсивность излучения из области собственного поглощения можно управлять концентрацией примеси в различных зарядовых состояниях с разными уровнями энергии ионизации. В зависимости от плотности мощности оптического сигнала (дополнительного, или основного, сигналов  $S_1$ ,  $S_2$ ) реализуются различные зарядовые состояния многозарядной примеси. Основой применения управляемых структур является изменение времени жизни и подвижности неравновесных носителей заряда в результате их перераспределения по уровням рекомбинации и прилипания многозарядной примеси. Например, одноэлементная структура с расширенным и переключаемым диапазоном энергетической характеристики работает следующим образом: при изменении мощности оптического излучения происходит изменение концентрации зарядовых состояний примеси с разными энергиями ионизации и автоматическое переключение между уровнями по мере их заполнения, соответственно мощности оптического излучения. Результатом является расширение динамического диапазона чувствительности ФЭП и реализация автоматического переключения передаточной характеристики фоточувствительности. Изменение интенсивности управляющей подсветки позволяет изменять относительную чувствительность фотоприемного устройства к излучению в диапазоне длин волн  $\lambda_1 \dots \lambda_n$  из области примесного поглощения (от 1,5 до 12 мкм).

В зависимости от требуемых диапазонов чувствительности оптико-электронного компаратора по мощности и спектральному составу

сравниваемых оптических сигналов, ФЭП может быть выполнен на базе различных полупроводниковых материалов и с различной технологией формирования приборных структур. При этом реализация различных характеристик преобразования предложенного оптико-электронного компаратора производится с использованием одноэлементной полупроводниковой структуры без необходимости использования дополнительных оптических элементов.

1. Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика (изд.2-е, доп.) – М.: Машиностроение, 2003 – 657 с.
2. Соколов С.В. Оптический компаратор Пат. РФ № 2020551 Кл. G06E3 – 1994
3. Гусев, О.К. Методология и средства измерений параметров объектов с неопределенными

состояниями / О.К. Гусев [и др.]; под общ. ред. О.К. Гусева. – Минск: БНТУ, 2010. – 582 с.

4. Гусев О. К., Тявловский К. Л., Воробей Р. И., Свистун А. И., Шадурская Л. И. Фотоприемники на основе собственных полупроводников для построения измерительных преобразователей. // Метрология и приборостроение. – 2017, № 2. – С. 34–42
5. Фотоприемное устройство, управляемое подсветкой: патент № 15840 РБ, МПК Н 01L 31/16 / О.К. Гусев, Р.И. Воробей, А.И. Свистун, А.К. Тявловский, К.Л. Тявловский, Л.И. Шадурская, Н.В. Яржембицкая; заявл. 03. 30. 2010; зарегистр. 26. 01. 2012
6. Vorobey, R.I. / R.I. Vorobey, O.K. Gusev, A.K. Tyavlovsky, K.L. Tyavlovsky, A.I. Svistun, L.I. Shadurskaya, N.V. Yarzhebbitskaya, K. Kierczynski // Photoelectric semiconductor converters with a large dynamic range. // Przegląd elektrotechniczny, – No 5/2014, – Pp. 75–78.

УДК 614.1/519.25

## КОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ СПЕКТРА С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

**Иванов В.И., Иванов Н.И., Лазарчик А.Н.**

*НИИ ядерных проблем БГУ*

*Минск, Республика Беларусь*

Разработанные компьютерные комплексы представляют собой многофункциональную программно – аппаратную платформу для автоматизированного анализа различных изображений с использованием микроскопов, рисунок 1 и компьютерных двухкоординатных сканеров, рисунок 2 для оцифровки и обработки различных снимков и изображений материальных структур на пленках, стеклах и чипах.

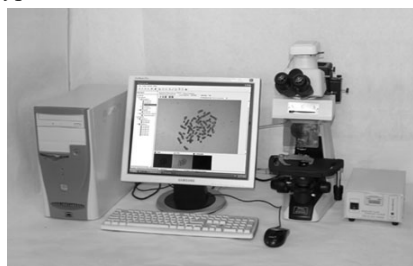


Рисунок 1 – Аппаратная конфигурация комплекса с микроскопом



Рисунок 2 - Двухкоординатный компьютеризированный сканер комплекса

Программно – математическое обеспечение комплексов имеет русскоязычный интерфейс и обеспечивает выполнение следующих функций:

- Электронную сканирующую микросъемку и ввод цифровых изображений, включая микро-изображения гистологических и цитогенетических биопрепаратов, а также препаратов с флуохромно меченными ДНК – маркерами. Шаг сканирования 0,2 мкм; поле сканирования 25 x 85мм. Оцифровка изображений осуществляется цветными высоко-разрешающими цифровыми камерами (3,5–18 мегапиксел) в истинных и псевдоцветах в различных областях спектра видимого и ультрафиолетового диапазонов.

- Ввод и обработку ряда разноспектральных изображений с автоматической и ручной коррекцией сдвига исходных изображений.

- Три метода суммирования разноспектральных изображений для получения результирующего изображения: простое суммирование, суммирование фрагментов и наложение фрагментов в результирующем изображении.

- Возможность независимого изменения параметров всех разноспектральных изображений: яркости, контраста, четкости и т.д.

- Выбор произвольного цвета для псевдоокраски исходных черно - белых изображений.

- Возможность просмотра и редактирования как результирующего, так и любого исходного изображения.

- Автоматическую сегментацию изображения с выделением изолированных объектов,